

BPH术后前列腺偶发癌的危险因素与预测模型研究现状

李顺鹏, 李志鹏*

昆明医科大学第二附属医院泌尿外科, 云南 昆明

收稿日期: 2026年1月27日; 录用日期: 2026年2月22日; 发布日期: 2026年3月2日

摘要

良性前列腺增生(BPH)是老年男性常见的泌尿系统良性疾病。不过, 有5.64%~23.30%的患者在行BPH术后会检测出前列腺癌, 也就是所谓的前列腺偶发癌(iPCa)。iPCa有着极高的异质性, 包含了从惰性癌到具有临床意义的前列腺癌(csPCa)这样一个广泛的谱系范畴。所以, 在此之前精准地去预测iPCa的风险, 对于优化手术相关的决策以及达成个体化的治疗目标而言, 是极为关键的。本文系统地梳理了近十年间有关iPCa危险因素的研究所取得的进展成果, 并且对依据这些研究成果而构建起来的各种预测模型进行简要的阐述。旨在为iPCa治疗管理体系的构建提供理论依据。

关键词

良性前列腺增生, 前列腺偶发癌, 危险因素, 预测模型, 卷积神经网络

Current Research Status of Risk Factors and Predictive Models for Incidental Prostatic Carcinoma after Benign Prostatic Hyperplasia Surgery

Shunpeng Li, Zhipeng Li*

Department of Urology, The Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming Yunnan

Received: January 27, 2026; accepted: February 22, 2026; published: March 2, 2026

*通讯作者。

文章引用: 李顺鹏, 李志鹏. BPH 术后前列腺偶发癌的危险因素与预测模型研究现状[J]. 临床医学进展, 2026, 16(3): 416-428. DOI: 10.12677/acm.2026.163806

Abstract

Benign prostatic hyperplasia (BPH) is a common benign disease of the urinary system in elderly men. However, 5.64%~23.30% of patients will be diagnosed with prostate cancer after undergoing BPH surgery, which is known as incidental prostate cancer (iPCa). iPCa exhibits high heterogeneity, encompassing a wide spectrum ranging from indolent cancer to clinically significant prostate cancer (csPCa). Therefore, accurately predicting the risk of iPCa is crucial for optimizing surgery-related decisions and achieving individualized treatment goals. This article systematically reviews the progress made in research on the risk factors of iPCa over the past decade and briefly describes various predictive models constructed based on these research findings. The aim is to provide a theoretical basis for the construction of an iPCa treatment management system.

Keywords

Benign Prostatic Hyperplasia, Incidental Prostate Cancer, Risk Factors, Prediction Model, Convolutional Neural Network

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

良性前列腺增生(Benign Prostatic Hyperplasia, BPH)乃是中老年男性群体出现下尿路症状(Lower Urinary Tract Symptoms, LUTS)以及膀胱出口梗阻的关键致病原因[1]-[3]。当患者不愿意接受药物治疗,或者经过药物干预之后效果欠佳,又或者是出现了并发症之时,一般就需要借助外科手术来加以干预了[4]。经尿道前列腺切除术(Transurethral Resection of the Prostate, TURP)属于标准的治疗术式,它和近些年来发展势头颇为迅猛的激光前列腺剜除术一道,共同构成了 BPH 手术的主要术式[5]。然而病理学家在原本预期为良性增生的标本当中,往往会出乎意料地发现有一定比例的前列腺癌,也就是所谓的前列腺偶发癌[6]。前列腺偶发癌(Incidental Prostate Cancer, iPCa)指的是在术前通过直肠指检、PSA 检测以及影像学检查均未察觉到任何异常情况,唯有等到对术后标本展开病检的时候才能够发现的前列腺癌(prostate cancer, PCa) [7] [8]。传统而言,IPCa 的发现完全是“事后”且被动的一种模式,要依靠术后病理报告来确定。所以,在术前能够主动并且准确地预测 iPCa,尤其是 csPCa 的风险,已经成为了泌尿外科临床实践中极为迫切的需求,同时也是达成 BPH 患者精准外科管理的一个关键环节所在。本文着重于对有关 BPH 术后 iPCa 危险因素以及预测模型的研究进展展开系统性的回顾梳理,全面综述现有的各类证据情况,希望能够借此给临床实际操作以及后续的相关研究给予一定的参考依据。

2. BPH 术后前列腺偶发癌的流行病学与临床意义

2.1. 发生率及其影响因素

2.1.1. 研究人群与时代背景

在广泛开展前列腺特异性抗原(PSA)筛查工作的地区以及所处的时代当中,有不少潜伏的癌症能够在更为早期的阶段借助筛查手段被察觉到,如此一来便使得纯粹凭借“偶然”途径发现的比例有所降低。

不过即便是在常规实施 PSA 检查这样一种大背景之下, iPCa 依旧不可以被忽视掉。有一项依据美国国家数据库展开的分析表明, 在美国 BPH 手术之后, iPCa 的发病率是小于 3%的[9], 而在我国, BPH 手术后 iPCa 的发病率呈现出 5.63%至 9.0%的区间范围, 这其中或许和我国 PSA 筛查普及工作的起步时间相对较晚以及在不同区域之间的分布情况并不均匀有着颇为紧密的关系[10]。

2.1.2. 手术方式

自上世纪中叶开始, TURP 逐步变成手术治疗前列腺增生的标准术式, 不过传统的 TURP 属于部分切除, 而像 HoLEP 这类剜除术是完整去除移行带腺体, 能够获取更多组织用于病理检查, 所以不同手术方式下前列腺偶发癌的检出率可能会有区别, 之前的研究显示, 在术前诊断为 BPH 且接受 TURP 的患者当中 iPCa 的检出率为 5%至 14% [11][12]; 而在接受 HoLEP 的患者当中 iPCa 的检出率为 5.64%至 23.3% [13]。在一项包含 23 项研究、总共涉及 94873 人的荟萃分析里, Guo 等人发现接受 TURP、HoLEP 以及 OP (开放式前列腺切除术)这三种术式之后 iPCa 的检出率分别是 10%、9%和 11% [14]。

2.1.3. 病理检查规范

病理科医生在处理组织标本时, 其对于切片数量的把控、切片深度的把握以及在诊断过程中所保持的警惕程度, 这些因素会实实在在地对 iPCa 的检出率产生直接影响。一般来说, 更为细致彻底的病理检查往往会与更高的检出率相对应。与此外科医生在手术中切除的前列腺, 在其位置、重量等方面的情况, 同样有可能对后续的病理检测结果起到一定的影响作用。要知道, TURP 术后的组织大多属于前列腺的内腺部分, 而这一区域恰恰是前列腺增生比较容易出现的部位。前列腺的外腺部分才是真正容易发生前列腺癌的部位。要想发现外腺中的癌灶, 那么在对组织进行取材的时候就需要格外重视, 务必做到充分取材。为了防止出现漏诊癌症的情况, 往往需要反复且多次地开展取材以及切片等相关工作[15]。

2.2. 临床病理特征与预后影响

在过往的认知里, iPCa 的临床重要性全然由其病理特征来决定。相关研究说明, 在所有的 iPCa 病例当中, 大概有 30%属于 csPCa [16], 这些患者其预后以及管理策略和经由穿刺活检诊断出来的局限性前列腺癌颇为相似。不少长期随访研究已经证实, 对于符合特定条件的 iPCa 患者(特别是 csPCa), 在接受了根治性前列腺切除手术之后, 他们的肿瘤特异性生存率以及无复发生存率和术前已经被确诊为局限性癌的患者相差无几[17]。与之相对, 低风险 iPCa (ISUP 1 级)的自然病程发展速度极为缓慢。Leni 等人的一个大型队列研究清晰地显示, 针对这类患者, 采用主动监测的策略是安全且行得通的, 其 10 年的前列腺癌特异性死亡率是极其低的[18]。所以, 术前去鉴别患者未来的病理究竟属于高风险类别还是低风险类别, 这不但会对治疗决策产生影响, 而且也会直接作用于患者的心理预期以及生活质量方面。

3. BPH 术后前列腺偶发癌的危险因素

识别独立、可靠的预测因素是构建有效模型的基础。近十年的研究已从单一临床因素发展到多模态、多组学的综合评估。

3.1. 人口统计学与基础临床因素

年龄: 前列腺癌和年龄之间存在着极为密切的关系, 其发生的概率会随着年龄的增长而呈现出不断上升的趋势, 这或许与衰老的过程有着一定的关联, 毕竟年龄在某种程度上能够体现出致癌因素累积所持续的时间长度。已经有不少的研究都确认了年龄是 BPH 术后 iPCa 的独立预测因素[19]-[24]。在一项纳入 417 例被诊断为 BPH 的患者展开的研究当中, Porto 及其团队成员经过研究后得出结论, 认为年龄并

不是 iPCa 的危险因素[25], Guo 等人的荟萃分析中也认为年龄与 iPCa 的发生无显著相关性[14]。

BMI: 当下国内外都有相关研究确认, 较高的 BMI 和 iPCa 风险的提升呈现出正相关的关系。就目前所知, 肥胖或许会推动前列腺癌的发展[26], 其中的机制有可能涵盖因胰岛素/胰岛素样生长因子-1 轴失调而引发的代谢方面的异常情况、肥胖男性睾酮水平出现下降以及肿瘤周边肥大的脂肪细胞通过旁分泌方式产生的影响[27]-[29]。不过, Guo 等人却觉得 BMI 和 iPCa 之间并不存在明显的关联[14], 但在 2025 年的一项荟萃分析中, Wang 和他的同事再次证实了较高的 BMI 与 iPCa 风险增加显著相关[30]。

前列腺体积: 有研究表明较小的前列腺体积(PV)与患 iPCa 的风险显著相关[6][21][23], 或较大的 PV 与 iPCa 的风险呈负相关, 即较大的 PV 对前列腺癌的发生起保护作用[31]。AL-Khalil 等人证实了, PV 与前列腺癌的发病率及侵袭性存在相关关系, 即 PV 越大, 穿刺后确诊前列腺癌概率越低, 且在证实为前列腺癌的患者中 Gleason 评分也越低[32]。正如上文所述较高的 BMI 与风险增加显著相关, 然而, BMI 较高的患者往往可能对应着较大的 PV, Barone 等人的报道也证实了这一观点[33], 这可能为 BMI 联合 PV 预测 BPH 术后 iPCa 的预测提供了新的思路。当然, PV 的大小并非只与 BMI 相关, 前列腺的大小往往更取决于体内雄激素的水平。Porto 和他的同事则报道了相反的观点, 他们认为 PV 的大小与 iPCa 的发生无显著相关性[25], Wang 等纳入 15 项符合研究条件的荟萃分析同样证实了 PV 的大小与 iPCa 之间无显著相关性。目前, PV 与 iPCa 的相关性仍存在争议, 尚且依赖于更多更全面的研究[30]。

合并症: 依据当下的相关研究来看, 合并症和 iPCa 二者之间的关联暂时还没有清晰明确的说法。有一些研究说明合并糖尿病和前列腺癌存在着负相关的状况[34][35]。不过, Leitzmann 等人所做的研究却提出, 对于那些 BMI 低于 25 kg/m² 的糖尿病患者而言, 他们患上高侵袭性前列腺癌的风险是有所增高的[36]。同样也有研究表明, 高血压、糖尿病、高脂血症等均与 iPCa 无显著相关性[25][30]或不能独立预测 iPCa [37]。

3.2. 血生物标志物

3.2.1. 总前列腺特异性抗原

早在 1987 年 Stamey TA 等人便系统证实了 PSA 为前列腺癌敏感血清标志物[38]。然而, PSA 是否与 iPCa 之间是否存在相关性仍存在争议, 目前已有较多研究报告了 PSA 是否与 iPCa 之间存在显著相关性[12][21][39]-[41]。与之相反的是, Porto 等人则证明了术前 PSA 水平与 iPCa 无关[25]。随着 BPH 术前 PSA 筛查的普及, iPCa 的检出率显著下降, 此外, 诊断为 BPH 的患者中往往存在严重的尿潴留情况, 而尿潴留往往可能伴随泌尿系统的干扰, 且急性尿潴留的患者通常会采用导尿管行导尿治疗, 而长期留置导尿管同样加重了泌尿系统感染的风险, 尿潴留、泌尿系统感染及留置尿管均可能导致患者基线 PSA 水平升高, 上述因素是可能影响术前 PSA 预测 iPCa 发生准确性的原因。为了减少其他因素的干扰, 有关专家提出了前列腺特异性抗原密度(PSAD)这一新概念, 所谓 PSAD 是指血清总 PSA 与 PV 的比值。较高的 PSAD 表示每单位体积的前列腺组织释放更多的 PSA, 这可能提示正常的前列腺腺泡结构受到了破坏, 而前列腺恶性肿瘤的侵袭往往会破坏上述组织或结构。因此, 较高的 PSAD 可能是 iPCa, 尤其是 csPCa 的独立预测因素。在一项纳入 2452 名患者的多中心研究中, Anract J 等人证明了 PSAD 是 iPCa 独立预测因素, 其截距指标为于 PSAD > 0.1 ng/ml/cm³ [19]。此外, 一些研究同样报道了 PSAD 是 iPCa 独立预测因素[21][30]。相反, Banno 等人的研究则认为 PSAD 与 iPCa 无显著相关性[42]。

3.2.2. 前列腺特异性抗原前体

前列腺特异性抗原前体(precursor of prostate specific antigen, proPSA)是与 PSA 相关的血清生物标志物, 有多种存在形式, 其中 p2PSA 最稳定, 目前常用的指标为%p2PSA 与前列腺健康指数[43]。

%p2PSA: 是指 p2PSA 水平与游离 PSA 水平的比值[43], 孙奎霞等人在一项纳入 322 例 PCa 患者的研究中, 分析发现%p2PSA 与 PSA、fPSA 等传统指标相比, 在预测高级别 PCa 时具有更高的价值[44]。Filella 等人对 354 份前列腺活检结果进行了分析, 结果显示用%p2PSA 作为标志物的 AUC 值为 0.723 [45]。由此可见,%p2PSA 作为新型生物标志物提高了 PCa 的诊断准确率, 展现出其预测 PCa 尤其是 csPCa 的潜力。

前列腺健康指数(Prostate health index, PHI)则是一项基于 p2PSA、fPSA、tPSA 的血液检测复合指标, 其计算公式为: $PHI = (p2PSA/fPSA) \times tPSA$ [46]。Agnello 等人发现利用 PHI 进行 PCa 诊断具有良好的效能[47]。为了减少外部因素的干扰, Stephan 等人结合 PV 提出了前列腺健康指数密度(Prostate Health Index Density, PHID)的概念, 并通过研究 552 名前腺癌患者与 505 名非前腺癌患者发现 PHID 对前腺癌的诊断效果优于 PHI [48]。鉴于 PHI 与 PHID 在诊断前腺癌方面的优势, 其在很大程度上降低了前列腺穿刺活检的比率, 但对于前列腺穿刺活检阴性, 而行 BPH 术后病理却显示前腺癌的患者, PHI 及 PHID 则可能会是 iPCa 的危险因素或预测因子, 当然, 这需要更多的前瞻性研究来论证。

3.2.3. 早期前列腺癌抗原

早期前列腺癌抗原(early prostate cancer antigen, EPCA)是一种与 PCa 相关的蛋白, 在前腺癌变过程中会产生有别于正常细胞的特征性差异[43]。在一项纳入 449 名诊断为 BPH 患者和 112 名健康男性的研究中, Zhao 等人发现在阈值为 10 ng/ml 时, 血清 EPCA 蛋白对健康男性具有 100%的特异性; 而在区分 iPCa 患者与非 iPCa 患者时, 其特异性达 98%, 灵敏度为 100%。单变量和多变量 Cox 回归分析进一步证明了术前血清 EPCA 的独立预测表现(风险比: 4.23, 95% CI: 3.62~6.46, $P < 0.001$) [49]。

3.3. 其他因素

3.3.1. 5 α -还原酶抑制剂(5 α RIs)治疗情况

5 α RIs 是一类通过抑制体内 5 α -还原酶活性, 阻止睾酮转化为活性更强的二氢睾酮(DHT)的药物, 临床上常用于治疗良性前列腺增生[50]。目前, 使用 5 α RIs 是否可以降低 iPCa 的患病风险仍存在争议, 在一项纳入 18,880 名患者, 随机分配为 5 α RIs 组和安慰剂对照组并随访 18 年的研究充分证明了使用 5 α RIs 可以降低 PCa 的患病风险[51], Cheng 等人[52]的研究及 Wang 等人[30]的荟萃分析也同样证实了术前未使用 5 α RIs 治疗与 iPCa 的发生显著相关。而 Porcaro 等人则认为二者之间无相关性[53]。

3.3.2. 切除前列腺组织重量

在我们的理解当中, 切除前列腺的重量倘若较大, 这或许会增大病理科医生检测肿瘤的难度, 那么切除前列腺的重量和 iPCa 之间到底有没有显著的相关性呢? 在一项针对 49,206 名接受 TURP 手术患者的回顾性研究里, Liu 等人发现, 在切除前列腺重量比较小的患者当中, 检测出的 iPCa 比例更高[54]。Mohamed 等人所开展的研究同样得出了与此相同的结论[21]。Misrai 等人的研究则认为二者之间无显著关联[55]。

3.3.3. 直肠指检和经直肠超声

直肠指检(Digital Rectal Examination, DRE)属于前列腺相关疾病初筛的关键方法之一, 当其结果出现异常情况时, 通常有可能意味着可能存在 PCa。存在不少相关报道都表明, DRE 结果异常和 iPCa 之间存在着颇为显著的相关性[20] [56], 所以说, 在 BPH 手术之前要是发现 DRE 结果有异常, 那就应当仔细评估前列腺癌的患病风险, 并且进一步去完善 MRI 或者开展前列腺穿刺活检。同样的道理, 经直肠超声(Transrectal Ultrasound, TURS)如果出现异常结果, 同样需要给予足够的重视, Kim 所做的人的研究显示, TURS 的异常结果是能够独立预测 iPCa 的[57]。

3.4. 争议与共识

现有证据在 iPCa 危险因素方面已形成部分共识: 年龄增加、PSA 相关指标升高(尤其是对前列腺体积校正后的 PSAD), 以及术前 DRE/TRUS 提示异常者, 更倾向于与 iPCa 乃至 csPCa 风险增加相关[19]-[24][56][57]。但对年龄、BMI、前列腺体积(PV)、PSA 绝对值、5 α -还原酶抑制剂(5 α RI)用药史及切除组织重量等因素, 不同研究结论存在分歧[14][25][30][51]-[55]。这种不一致很可能源于混杂因素(confounders)与检出偏倚的叠加: (1) PV 对 PSA 的结构性干扰及校正策略差异。BPH 导致腺体增大可抬高 PSA, 若仅使用 PSA 绝对值而未纳入 PV 或采用 PSAD 等校正指标, 则“PSA 升高”可能更多反映腺体负荷而非肿瘤信号; 同时尿潴留、泌尿系感染及留置导尿等因素可短期升高 PSA, 而 5 α RI 可降低 PSA 并影响 PV, 若未在统计模型中进行药物与时间窗校正, 易造成风险估计偏倚并解释 PSA/PSAD 研究间差异[30][51]-[53]。(2) 手术方式与切除范围对检出率的影响。TURP 多为部分切除而 HoLEP 等切除术可获得更多移行带组织, 加之切除组织重量、取材覆盖范围与病理切片规范(切片数量/深度)不同, 会直接改变“可供检出”的癌灶暴露程度, 使手术方式或切除重量既可能反映真实生物学风险, 也可能仅是检出强度的替代指标[9][11]-[15][21][54][55]; 而荟萃分析提示不同术式总体检出率相近亦提示上述因素可能被人构成与病理流程所部分抵消[14]。(3) 研究设计与终点定义差异。不同地区/时代的 PSA 筛查与术前评估强度会改变进入手术队列的基线风险[9][10], 且若未区分“所有 iPCa”与“csPCa”(约占 iPCa 的 30%)[16], 同一因素在不同结局上的效应可能并不一致。因此, 后续研究与模型构建宜优先采用 PV 校正后的 PSA 指标(如 PSAD), 明确 PSA 检测时点及 5 α RI 等药物校正, 并将手术方式、切除重量/切除比例及病理取材规范作为关键协变量进行分层或敏感性分析, 以降低混杂与检出偏倚并提升可比性与可推广性[14][19][30]。

4. 预测模型的构建

基于上述所提及的那些危险因素, 研究者们着手构建起了各式各样的预测模型, 这些模型从较为简单的类型逐步发展到了更为复杂的程度, 其主要目的就在于要对个体患者罹患 iPCa 的风险予以量化处理。

4.1. 传统统计学模型: 逻辑回归与列线图

这种模型形式在当前的临床应用当中是最为广泛的, 其接受度也是相当高的。借助单变量以及多变量逻辑回归的方式来筛选出独立的预测因素, 而后将其以列线图的形式直观地展现出来。

4.1.1. 基于经典临床参数

Anract J 等人在 2024 年着手开发了一项预测模型, 此模型是基于年龄以及 PSAD 来构建的。在这项涉及多中心且总共纳入了 2452 名研究者的相关研究当中, 运用该模型所预测出的 BPH 术后 iPCa 的曲线下面积大概为 0.64 左右。可以看出, 其预测效能是比较低的。为了能够提升预测效能, 该团队还进一步开展了 CHAID 决策树分析, 目的在于确定 iPCa 的最佳截断点。经过分析后发现, 当患者的 PSAD 大于 0.1 ng/ml/cm³, 并且年龄超过 72 岁的时候, 那么这些患者患 iPCa 的风险将会从 15.1%增加至 35.4% [19]。

4.1.2. 整合 mp-MRI 参数

在 2020 年的时候, Zhang Y 等人着手开发并且对其加以验证, 最终形成了一种预测模型, 这个模型是依托多参数 MRI 来对 iPCa 和 csPCa 加以区分的。在这项研究当中, 一共纳入了 159 名患者, 他们把放射电学组特征以及 DWI 扩散系数(也就是 ADC)值综合起来去构建列线图, 而所构建出的列线图展现出了不错的预测效能, 其 AUC 在训练组是 0.95, 在内部验证组是 0.93, 而在外部验证组则是 0.84 [58]。到

了 2022 年, Morote J 等人在巴塞罗那也开展了相关工作, 他们开发并且验证了一个列线图, 这个列线图是基于多参数 MRI, 同时还年龄、PV、PSA 水平、DRE 结果、家族史以及是否重复活检等诸多因素都考虑进去构建而成的, 该模型同样呈现出良好的预测效能, 其 AUC 在训练组为 0.897, 在外部验证组为 0.858 [59]。

4.2. 机器学习与人工智能模型

4.2.1. 影像组学模型

从 mp-MRI 图像里高效能地提取出数量众多的定量特征, 这些定量特征包含了纹理、形状以及小波特征等等多种类型。接着运用机器学习算法, 像是随机森林或者支持向量机这类算法来构建相应的模型。在有一项涵盖了 1368 名研究者的多中心研究当中, Qiao 等人[60]依据双参数 MRI 成像也就是 bpMRI 构建起了机器学习模型, 以此来评定它在 PCa 以及 csPCa 诊断方面所具有的价值。这个模型是凭借支持向量机还有随机森林这两种机器学习算法构建而成的, 并且还在内部测试队列以及外部测试队列里面分别展开了验证工作, 最后还与已经被证实有着出色诊断效能的机器学习模型也就是调整后的 PI-RADS 做了比较。其最终呈现出的结果表明, 基于 bpMRI 的机器学习模型在诊断方面的表现和调整后的 PI-RADS 是差不多的, 并且在诊断 PCa 以及 csPCa 这两方面都具备着不错的泛化能力。Ayyıldız H 等人也构建了类似的机器学习模型, 其结果同样显示出该模型对于 PCa 以及 csPCa 的诊断有着良好的效能[61]。上述以及许多没有提及到的模型在区分低级别前列腺癌也就是 Gleason 评分等于 6 的情况以及 csPCa 的时候均展现了良好的效能, 由此能够看出, 其在 iPCa 的预测当中有着不容小觑的潜力。

4.2.2. 深度学习模型

利用卷积神经网络(CNN)这类深度学习架构, 可直接针对原始医学图像展开端到端的学习以及预测工作, 并且不必依靠人工来提取特征。就目前而言, 在国内国外借助 CNN 所构建的 iPCa 预测模型大概有 10 种(具体可见表 1), 其效能主要是依据精确率(Precision)、召回率(Recall)、准确率(Accuracy)还有 F1 分数等方面来进行评估的。

Table 1. Comparison of iPCa prediction model performance

表 1. iPCa 预测模型性能对比

方法	精确率	召回率	准确率	F1 分数
ResNet-50 [62]	99.32	71.01	91.88	82.82
DenseNet-121 [63]	99.33	71.98	92.14	83.47
SENet-50 [64]	88.14	82.61	92.14	85.29
RefineNet [65]	85.91	91.30	93.48	88.52
CoReL [66]	89.81	89.37	94.27	89.59
LinearSVM [67]	88.79	91.30	95.18	90.03
ELNet [68]	88.37	91.79	94.41	90.05
MultiPlanar [69]	91.30	91.74	96.80	91.52
TRUSformer [70]	93.18	91.30	96.43	92.23
iPCa-Net [71]	96.94	91.79	96.94	94.29

5. 预测模型在临床路径中的定位与转化应用

预测模型的临床价值不应仅停留在“预测 BPH 术后是否发现 iPCa”, 更关键的是将其嵌入 BPH 手

术前的决策节点, 实现对 csPCa 的术前排查与风险分层, 从而减少“先手术解除梗阻、后因肿瘤再补做根治治疗”的路径反复。基于当代真实世界证据, BPH 手术后 iPCa 总体检出率在部分国家数据库已降至约 2.2%, 且术前行 MRI 或前列腺穿刺与 iPCa 检出风险降低相关, 提示“术前评估强度”本身会显著改变 iPCa 的发生率, 也为模型作为“检查升级触发器(triage tool)”提供了现实基础[9]。另一方面, 即便在“mpMRI 时代”, 仍有中心队列报道 BPH 手术后 iPCa 检出率仍可达两位数, 且仍存在一定比例 csPCa, 说明单一检查策略难以完全消除漏诊风险, 亟需以多变量模型/AI 进行更精细的术前分层[72]。

5.1. 模型在术前评估流程中的位置：从“统一检查”到“分层触发”

建议将预测模型部署在 BPH 手术适应证明确之后、决定是否进一步影像/穿刺之前的节点。并从三个层面进行考虑：① 基础临床层面(年龄、DRE/TRUS、PSA 及其衍生指标、用药史如 5 α RI 等)；② 结构校正层面(PV 与 PSAD, 必要时区分移行带/全腺体积以减少 BPH 对 PSA 的结构性干扰)；③ 影像强化层面(mpMRI 的 PI-RADS、ADC 或放射组学/深度学习特征)。当前国际诊断路径强调 mpMRI 与 PSAD 在“是否进入穿刺”的分层作用：当 mpMRI 阳性时倾向于行靶向 + 系统穿刺；当 mpMRI 阴性时则需结合临床怀疑程度(PSA/PSAD、DRE 等)决定是否可在共享决策下暂缓穿刺[73]。因此, 模型也应尽量对齐临床决策终点(优先考虑 csPCa 概率或“需要穿刺的净获益阈值”), 并在开发阶段用决策曲线分析(DCA)确定可操作的概率阈值。

5.2. 对“模型高风险”患者：术前是否建议先行靶向穿刺？

对模型提示 csPCa 高风险者, 原则上建议术前先做 mpMRI, 必要时靶向±系统穿刺, 在解除梗阻前完成分层与治疗规划[73]。术前 MRI/穿刺可提前识别并分流部分潜伏癌；BPH 可致 PSA 升高, mpMRI 阴性但 PSAD 仍高者应警惕漏诊。2025 研究在“需梗阻手术、PSA 异常而 mpMRI 阴性”人群显示 PSAD 为唯一独立预测因素, 建议仅对 PSAD ≥ 0.30 ng/ml/cm³ 行穿刺以提高净获益、减少并发症, 提示阈值应为梗阻手术人群单独校准[74]。是否先穿刺后手术取决于梗阻紧急度；对于必须尽快解除梗阻且短期难以完成穿刺者可告知后先手术并规范取材, 术后如示 iPCa 应根据危险分层采取相关治疗措施, 若模型提示高风险且最终确诊需根治治疗, 提前识别同样有益：既往 BPH 手术可能增加后续根治性前列腺切除术(RP)的操作难度并影响功能结局, 但证据不一。系统综述显示 TURP 后行机器人 RP 在经验团队中肿瘤学结局相近, 但围手术细节与功能恢复仍可能受影响[75]；而 HoLEP 的部分荟萃分析提示其对后续 RP 的部分围手术与功能结局(如尿控恢复)可能不利, 需术前充分权衡并与患者共享决策[76]。

5.3. AI 模型可解释性与临床落地：从“能算”到“可信、可管、可复现”

随着影像组学与深度学习模型进入 iPCa/csPCa 预测研究, 临床落地的核心障碍之一是可解释性与质量治理。实践中可将解释性分为两类：(1) 系统层解释：明确训练/验证数据来源、适用人群(是否为“手术指征 BPH 人群”)、外部验证与校准表现、不同亚组(不同 PV、不同术式、不同病理取材规范)性能, 以及模型不确定性与失效边界。2024 年发布的 TRIPOD-AI 与 PROBAST-AI 扩展声明均强调 AI 预测模型应透明报告数据、建模与验证细节, 并系统评估偏倚与适用性, 这是未来发表与转化的基础门槛[77][78]。(2) 个体层解释：对单个患者给出“为什么判为高风险”的证据链。例如对结构化变量使用 SHAP 等方法展示年龄、PSAD、PV、DRE 等对风险的边际贡献；对影像深度学习模型可提供注意力/显著性热图(如 Grad-CAM)以提示模型关注区域。然而, 解释方法并不必然提升临床可用性：有研究显示, 部分常见 XAI 可视化在真实阅片者评估中质量/可用性评分并不理想, 提示解释性应围绕临床任务设计, 而非仅提供“看起来可解释”的热图[79]。来自医疗利益相关者的系统综述也指出：不同角色对解释性的需求不

同, 临床专家往往更需要“可选的、在疑难病例中可调取的解释”, 并希望同时看到不确定性与模型适用边界, 以形成正确的心理模型与人机协作方式[80]。在监管与实施层面, AI 用于临床决策支持(尤其涉及穿刺触发与治疗路径分流)还需满足持续监测与变更管理要求: 包括数据漂移监控、版本控制、再训练触发条件与真实世界性能复核。国际医学器械监管组织(IMDRF)近年对 ML 医疗器械的关键术语与全生命周期管理持续更新, 为 AI 模型从研究走向临床提供了监管语境下的共同语言与框架[80]。因此, 未来研究除追求 AUC 提升外, 更应强调: 前瞻性、多中心外部验证; 以临床净获益(DCA)定义阈值; 与临床路径(mpMRI、穿刺策略、术式选择、病理流程)协同设计, 并开展可解释性与人机协作的可用性研究, 推动从“模型”走向“可实施的风险管理工具”。

6. 结论

BPH 手术之后, 对于前列腺偶发癌的管理方式, 正发生着颇为深刻的转变。从前是依靠术后病理报告来“偶然发现”, 如今则变成依据术前多种维度信息综合整理而来的“主动预测以及风险分层”模式。在近些年开展的相关研究当中, 已经确定了一个以年龄、PSA、PSAD 等基础指标作为核心, 并且还借助多参数磁共振 PI-RADS 评分以及新型分子标志物所构成的危险因素体系。在这个体系之上, 预测模型的构建方式也发生了变化, 从传统意义上的逻辑回归列线图, 迅速发展到了融合影像学以及深度学习的人工智能模型, 其预测效能也在持续提高。未来的研究方向应开展前瞻性的验证以及实用性的试验、开发具备可解释性和动态特性的 AI 模型、探索多组学整合预测、加强实施科学以及成果转化方面的研究, 并推动患者参与到决策当中并实现共享决策。

参考文献

- [1] Madersbacher, S., Alivizatos, G., Nordling, J., Sanz, C.R., Emberton, M. and de la Rosette, J.J.M.C.H. (2004) EAU 2004 Guidelines on Assessment, Therapy and Follow-Up of Men with Lower Urinary Tract Symptoms Suggestive of Benign Prostatic Obstruction (BPH Guidelines). *European Urology*, **46**, 547-554. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2004.07.016>
- [2] 耿强. 黄菝胶囊在良性前列腺增生临床应用中国专家共识[J]. 中华男科学杂志, 2018, 24(10): 945-948.
- [3] 胡雷, 傅全胜, 陈栋, 等. 选择性 α -受体阻滞剂治疗良性前列腺增生症下尿路症状对男性射精功能影响的 Meta 分析[J]. 中山大学学报(医学科学版), 2014, 35(6): 941-949.
- [4] 江鱼. 江鱼教授在《中国男科学杂志》创刊 20 周年刊庆及“中国医师协会男科医师培训中心”成立大会暨男科学学术研讨会上的致辞[J]. 中国男科学杂志, 2006(6): 1.
- [5] Cornu, J., Ahyai, S., Bachmann, A., de la Rosette, J., Gilling, P., Gratzke, C., et al. (2015) A Systematic Review and Meta-Analysis of Functional Outcomes and Complications Following Transurethral Procedures for Lower Urinary Tract Symptoms Resulting from Benign Prostatic Obstruction: An Update. *European Urology*, **67**, 1066-1096. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2014.06.017>
- [6] Guo, Z., He, J., Pan, J., Huang, L., Cao, J., Bai, Z., et al. (2022) Prevalence and Risk Factors for Incidental Prostate Cancer in Patients after Transurethral Resection of the Prostate with Negative Results on Prostate Biopsy: A Retrospective Study. *Investigative and Clinical Urology*, **63**, Article 201. <https://doi.org/10.4111/icu.20210415>
- [7] Yang, X., Monn, M.F., Liu, L., Liu, Y., Su, J., Lyu, T., et al. (2015) Incidental Prostate Cancer in Asian Men: High Prevalence of Incidental Prostatic Adenocarcinoma in Chinese Patients Undergoing Radical Cystoprostatectomy for Treatment of Bladder Cancer and Selection of Candidates for Prostate-Sparing Cystectomy. *The Prostate*, **75**, 845-854. <https://doi.org/10.1002/pros.22966>
- [8] 胡克武, 陈从波, 王黎, 等. 膀胱癌根治术后患者前列腺偶发癌临床特征分析[J]. 现代肿瘤医学, 2022, 30(16): 3004-3007.
- [9] Bologna, E., Licari, L.C., Franco, A., Ditunno, F., Manfredi, C., De Nunzio, C., et al. (2024) Incidental Prostate Cancer in Patients Treated for Benign Prostatic Hyperplasia: Analysis from a Contemporary National Dataset. *Diagnostics*, **14**, Article 677. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14070677>
- [10] 李定潮, 等. 良性前列腺增生手术标本中偶发前列腺癌的患病率及危险因素分析[J]. 中华泌尿外科杂志, 2025, 46(3): 177-182.

- [11] Zigeuner, R.E., Lipsky, K., Riedler, I., Auprich, M., Schips, L., Salfellner, M., *et al.* (2003) Did the Rate of Incidental Prostate Cancer Change in the Era of PSA Testing? A Retrospective Study of 1127 Patients. *Urology*, **62**, 451-455. [https://doi.org/10.1016/s0090-4295\(03\)00459-x](https://doi.org/10.1016/s0090-4295(03)00459-x)
- [12] Yoo, C., Oh, C.Y., Kim, S.J., Kim, S.I., Kim, Y.S., Park, J.Y., *et al.* (2012) Preoperative Clinical Factors for Diagnosis of Incidental Prostate Cancer in the Era of Tissue-Ablative Surgery for Benign Prostatic Hyperplasia: A Korean Multi-Center Review. *Korean Journal of Urology*, **53**, 391-395. <https://doi.org/10.4111/kju.2012.53.6.391>
- [13] Yilmaz, M., Toprak, T., Suarez-Ibarrola, R., Sigle, A., Gratzke, C. and Miernik, A. (2021) Incidental Prostate Cancer after Holmium Laser Enucleation of the Prostate—A Narrative Review. *Andrologia*, **54**, e14332. <https://doi.org/10.1111/and.14332>
- [14] Guo, Z., He, J., Huang, L., Wang, Z., Hu, P., Wang, S., *et al.* (2022) Prevalence and Risk Factors of Incidental Prostate Cancer in Certain Surgeries for Benign Prostatic Hyperplasia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Braz j Urol*, **48**, 915-929. <https://doi.org/10.1590/s1677-5538.ibju.2021.0653>
- [15] 贞世娟. 经尿道前列腺电切标本的病理观察及分析[J]. 中国临床研究, 2013, 26(7): 706-707.
- [16] 李定潮, 姚畅, 陈子豪, 等. 国内根治性膀胱切除术后偶发性前列腺癌发病率及临床特点 meta 分析[J]. 临床泌尿外科杂志, 2025, 40(5): 435-442.
- [17] 高超, 杨文增, 崔振宇, 等. 前列腺偶发癌根治性前列腺切除术后的疗效随访[J]. 中华泌尿外科杂志, 2017, 38(9): 702-706.
- [18] Leni, R., Vertosick, E.A., van den Bergh, R.C.N., Soeterik, T.F.W., Heetman, J.G., van Melick, H.H.E., *et al.* (2024) Oncologic Outcomes of Incidental versus Biopsy-Diagnosed Grade Group 1 Prostate Cancer: A Multi-Institutional Study. *European Urology Open Science*, **68**, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.euros.2024.08.004>
- [19] Anract, J., Klein, C., Pinar, U., Rouprêt, M., Barry Delongchamps, N. and Robert, G. (2025) Incidental Prostate Cancer in Patients Undergoing Surgery for Benign Prostatic Hyperplasia: A Predictive Model. *European Urology Oncology*, **8**, 145-151. <https://doi.org/10.1016/j.euo.2024.08.009>
- [20] Antunes, A.A., Freire, G.d.C., Aiello Filho, D., Cury, J. and Srougi, M. (2006) Analysis of the Risk Factors for Incidental Carcinoma of the Prostate in Patients with Benign Prostatic Hyperplasia. *Clinics*, **61**, 545-550. <https://doi.org/10.1590/s1807-59322006000600010>
- [21] Mohamed, A.H., Abdullahi, I.M., Warsame, F.F. and Mohamud, H.A. (2022) Incidence and Associated Factors for Incidental Prostate Cancer among Patients Who Underwent Surgery for Benign Prostatic Hyperplasia: First Report from Somalia. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, **149**, 4041-4046. <https://doi.org/10.1007/s00432-022-04319-0>
- [22] Elkoushy, M.A., Elshal, A.M. and Elhilali, M.M. (2015) Incidental Prostate Cancer Diagnosis during Holmium Laser Enucleation: Assessment of Predictors, Survival, and Disease Progression. *Urology*, **86**, 552-557. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2015.06.002>
- [23] Bhojani, N., Boris, R.S., Monn, M.F., Mandeville, J.A. and Lingeman, J.E. (2015) Coexisting Prostate Cancer Found at the Time of Holmium Laser Enucleation of the Prostate for Benign Prostatic Hyperplasia: Predicting Its Presence and Grade in Analyzed Tissue. *Journal of Endourology*, **29**, 41-46. <https://doi.org/10.1089/end.2014.0359>
- [24] Herlemann, A., Wegner, K., Roosen, A., Buchner, A., Weinhold, P., Bachmann, A., *et al.* (2017) “Finding the Needle in a Haystack”: Oncologic Evaluation of Patients Treated for LUTS with Holmium Laser Enucleation of the Prostate (HoLEP) versus Transurethral Resection of the Prostate (TURP). *World Journal of Urology*, **35**, 1777-1782. <https://doi.org/10.1007/s00345-017-2048-y>
- [25] Porto, J.G., Blachman-Braun, R., Ajami, T., Zarli, M., Chen, R., Furtado, T.P., *et al.* (2023) Incidental Prostate Cancer after Holmium Laser Enucleation of the Prostate: Critical Analysis of Independent Risk Factors and Impact on Surgical Outcomes. *BJUI Compass*, **5**, 374-381. <https://doi.org/10.1002/bco2.306>
- [26] Bandini, M., Gandaglia, G. and Briganti, A. (2017) Obesity and Prostate Cancer. *Current Opinion in Urology*, **27**, 415-421. <https://doi.org/10.1097/mou.0000000000000424>
- [27] Gallagher, E.J. and LeRoith, D. (2010) The Proliferating Role of Insulin and Insulin-Like Growth Factors in Cancer. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, **21**, 610-618. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2010.06.007>
- [28] Lane, B.R., Stephenson, A.J., Magi-Galluzzi, C., Lakin, M.M. and Klein, E.A. (2008) Low Testosterone and Risk of Biochemical Recurrence and Poorly Differentiated Prostate Cancer at Radical Prostatectomy. *Urology*, **72**, 1240-1245. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2008.06.001>
- [29] Tang, K., Liu, J., Jovanovic, L., An, J., Hill, M.M., Vela, I., *et al.* (2015) Adipocytes Promote Prostate Cancer Stem Cell Self-Renewal through Amplification of the Cholecystokinin Autocrine Loop. *Oncotarget*, **7**, 4939-4948. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.6643>
- [30] Wang, Y., Li, X., Yang, H., Yin, C., Wu, Y. and Chen, X. (2025) Predictive Factors of Incidental Prostate Cancer in

- Patients Undergoing Surgery for Presumed Benign Prostatic Hyperplasia: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Oncology*, **15**, Article ID: 1561675. <https://doi.org/10.3389/fonc.2025.1561675>
- [31] Moolupuri, A., Camacho, J. and de Riese, W.T. (2021) Association between Prostate Size and the Incidence of Prostate Cancer: A Meta-Analysis and Review for Urologists and Clinicians. *International Urology and Nephrology*, **53**, 1955-1961. <https://doi.org/10.1007/s11255-021-02892-w>
- [32] Al-Khalil, S., Ibilbor, C., Cammack, J. and de Riese, W. (2016) Association of Prostate Volume with Incidence and Aggressiveness of Prostate Cancer. *Research and Reports in Urology*, **8**, 201-205. <https://doi.org/10.2147/rru.s117963>
- [33] Barone, B., Amicuzi, U., Massanova, M., Napolitano, L., Reccia, P., Mirto, B.F., et al. (2024) The Correlation between Body Mass Index and Prostate Volume: A Retrospective Analysis of Pre and Postoperative Measurements in Prostate Cancer Patients. *The Prostate*, **85**, 433-442. <https://doi.org/10.1002/pros.24845>
- [34] Rao, K.S.S., Kaptoge, S., Thompson, A., Di Angelantonio, E., Gao, P., Sarwar, N., et al. (2011) Diabetes Mellitus, Fasting Glucose, and Risk of Cause-Specific Death. *New England Journal of Medicine*, **364**, 829-841. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1008862>
- [35] Gong, Z., Neuhauser, M.L., Goodman, P.J., Albanes, D., Chi, C., Hsing, A.W., et al. (2006) Obesity, Diabetes, and Risk of Prostate Cancer: Results from the Prostate Cancer Prevention Trial. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, **15**, 1977-1983. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.epi-06-0477>
- [36] Leitzmann, M.F., Ahn, J., Albanes, D., Hsing, A.W., Schatzkin, A., Chang, S., et al. (2008) Diabetes Mellitus and Prostate Cancer Risk in the Prostate, Lung, Colorectal, and Ovarian Cancer Screening Trial. *Cancer Causes & Control*, **19**, 1267-1276. <https://doi.org/10.1007/s10552-008-9198-6>
- [37] Ohwaki, K., Endo, F., Shimbo, M., Fujisaki, A. and Hattori, K. (2017) Comorbidities as Predictors of Incidental Prostate Cancer after Holmium Laser Enucleation of the Prostate: Diabetes and High-Risk Cancer. *The Aging Male*, **20**, 257-260. <https://doi.org/10.1080/13685538.2017.1301417>
- [38] Stamey, T.A., Yang, N., Hay, A.R., McNeal, J.E., Freiha, F.S. and Redwine, E. (1987) Prostate-Specific Antigen as a Serum Marker for Adenocarcinoma of the Prostate. *New England Journal of Medicine*, **317**, 909-916. <https://doi.org/10.1056/nejm198710083171501>
- [39] Bendari, A., Bendari, A., Zhong, X., Geetha, S.D., Al-Refai, R., Sham, S., et al. (2024) Hemoglobin-Albumin-Lymphocyte-Platelet (HALP) Score as a Predictive Value of Incidental Prostate Cancer for Patients Going for Transurethral Resection of the Prostate (TURP): A Single-Center Study. *Cureus*, **16**, e57736. <https://doi.org/10.7759/cureus.57736>
- [40] Yang, C.H., Lin, Y.S., Weng, W.C., Hsu, C.Y., Tung, M.C. and Ou, Y.C. (2022) Incidental Prostate Cancer from Prostate with Benign Biopsies: A Predictive and Survival Analysis from Cohort Study. *International Journal of General Medicine*, **15**, 2807-2816. <https://doi.org/10.2147/ijgm.s357368>
- [41] Gunda, D., Kido, I., Kilonzo, S., Nkandala, I., Igenge, J. and Mpondo, B. (2018) Prevalence and Associated Factors of Incidentally Diagnosed Prostatic Carcinoma among Patients Who Had Transurethral Prostatectomy in Tanzania: A Retrospective Study. *Ethiopian Journal of Health Sciences*, **28**, 11-18. <https://doi.org/10.4314/ejhs.v28i1.3>
- [42] Banno, T., Nakamura, K., Kaneda, Y., Ozaki, A., Kouchi, Y., Ohira, T., et al. (2022) Detection Rate and Variables Associated with Incidental Prostate Cancer by Holmium Laser Enucleation of the Prostate. *International Journal of Urology*, **29**, 860-865. <https://doi.org/10.1111/iju.14917>
- [43] 初子斌, 徐焯, 殷自强, 曹敬峰, 金成宇, 陈晓阳, 杨昭. 前列腺癌生物标志物研究进展[J]. 生物工程学报, 2024, 40(11): 3951-3973.
- [44] 孙奎霞, 闫存玲, 李志艳, 刘平, 张伟, 何群. 前列腺特异性抗原同源异构体 2 及其衍生指标在预测前列腺癌病理分级中的价值[J]. 北京大学学报(医学版), 2020, 52(2): 234-239.
- [45] Filella, X., Foj, L., Augé, J.M., Molina, R. and Alcover, J. (2014) Clinical Utility of %p2PSA and Prostate Health Index in the Detection of Prostate Cancer. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, **52**, 1347-1355. <https://doi.org/10.1515/cclm-2014-0027>
- [46] Catalona, W.J., Partin, A.W., Sanda, M.G., Wei, J.T., Klee, G.G., Bangma, C.H., et al. (2011) A Multicenter Study of [-2]Pro-Prostate Specific Antigen Combined with Prostate Specific Antigen and Free Prostate Specific Antigen for Prostate Cancer Detection in the 2.0 to 10.0 ng/ml Prostate Specific Antigen Range. *Journal of Urology*, **185**, 1650-1655. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2010.12.032>
- [47] Agnello, L., Vidali, M., Giglio, R.V., Gambino, C.M., Ciaccio, A.M., Lo Sasso, B., et al. (2022) Prostate Health Index (PHI) as a Reliable Biomarker for Prostate Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)*, **60**, 1261-1277. <https://doi.org/10.1515/cclm-2022-0354>
- [48] Stephan, C., Jung, K., Lein, M., Rochow, H., Friedersdorff, F. and Maxeiner, A. (2021) PHI Density Prospectively Improves Prostate Cancer Detection. *World Journal of Urology*, **39**, 3273-3279. <https://doi.org/10.1007/s00345-020-03585-2>

- [49] Zhao, Z., Zeng, G. and Zhong, W. (2010) Serum Early Prostate Cancer Antigen (EPCA) as a Significant Predictor of Incidental Prostate Cancer in Patients Undergoing Transurethral Resection of the Prostate for Benign Prostatic Hyperplasia. *The Prostate*, **70**, 1788-1798. <https://doi.org/10.1002/pros.21215>
- [50] Salisbury, B.H., Leslie, S.W. and Tadi, P. (2025) *5 α -Reductase Inhibitors*. StatPearls Publishing.
- [51] Thompson, I.M., Goodman, P.J., Tangen, C.M., Parnes, H.L., Minasian, L.M., Godley, P.A., *et al.* (2013) Long-Term Survival of Participants in the Prostate Cancer Prevention Trial. *New England Journal of Medicine*, **369**, 603-610. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1215932>
- [52] Cheng, B.K., Castellani, D., Chan, I.S., Baker, A., Gauhar, V., Wroclawski, M.L., *et al.* (2021) Incidence, Predictive Factors and Oncological Outcomes of Incidental Prostate Cancer after Endoscopic Enucleation of the Prostate: A Systematic Review and Meta-Analysis. *World Journal of Urology*, **40**, 87-101. <https://doi.org/10.1007/s00345-021-03756-9>
- [53] Porcaro, A.B., Tafuri, A., Inverardi, D., Amigoni, N., Sebben, M., Pirozzi, M., *et al.* (2021) Incidental Prostate Cancer after Transurethral Resection of the Prostate: Analysis of Incidence and Risk Factors in 458 Patients. *Minerva Urology and Nephrology*, **73**, 471-480. <https://doi.org/10.23736/s2724-6051.19.03564-1>
- [54] Liu, F., Hua, K., Lin, J., Pang, S. and Yu, H. (2019) Prostate Resected Weight and Postoperative Prostate Cancer Incidence after Transurethral Resection of the Prostate. *Medicine*, **98**, e13897. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000013897>
- [55] Misraï, V., Kerever, S., Pasquie, M., Bordier, B., Guillotreau, J., Palasse, J., *et al.* (2018) Does Mechanical Morcellation of Large Glands Compromise Incidental Prostate Cancer Detection on Specimen Analysis? A Pathological Comparison with Open Simple Prostatectomy. *World Journal of Urology*, **37**, 1315-1320. <https://doi.org/10.1007/s00345-018-2532-z>
- [56] Kizilkan, Y., Eroglu, U., Senel, S., Yildizhan, M., Balci, M., Aykanat, I.C., *et al.* (2021) Evaluation of Factors Associated with the Detection of Incidental Prostate Cancer after Open Prostatectomy for Benign Prostatic Hyperplasia. *Andrologia*, **54**, e14261. <https://doi.org/10.1111/and.14261>
- [57] Kim, M., Song, S.H., Ku, J.H., Oh, S. and Paick, J. (2014) Prostate Cancer Detected after Holmium Laser Enucleation of Prostate (HoLEP): Significance of Transrectal Ultrasonography. *International Urology and Nephrology*, **46**, 2079-2085. <https://doi.org/10.1007/s11255-014-0777-z>
- [58] Zhang, Y., Chen, W., Yue, X., Shen, J., Gao, C., Pang, P., *et al.* (2020) Development of a Novel, Multi-Parametric, MRI-Based Radiomic Nomogram for Differentiating between Clinically Significant and Insignificant Prostate Cancer. *Frontiers in Oncology*, **10**, Article ID: 888. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.00888>
- [59] Morote, J., Borque-Fernando, A., Triquell, M., Celma, A., Regis, L., Escobar, M., *et al.* (2022) The Barcelona Predictive Model of Clinically Significant Prostate Cancer. *Cancers*, **14**, Article 1589. <https://doi.org/10.3390/cancers14061589>
- [60] Qiao, X.M., Hu, C.H., Hu, S., Hu, C.H., Wang, X.M., Shen, J.K., Ji, L.B., Song, Y. and Bao, J. (2023) The Value of Machine Learning Models Based on Biparametric MRI for Diagnosis of Prostate Cancer and Clinically Significant Prostate Cancer. *Chinese Medical Journal*, **103**, 1446-1454.
- [61] Ayyıldız, H., İnce, O., Korkut, E., Dağoğlu Kartal, M.G., Tunacı, A. and Ertürk, Ş.M. (2024) Machine Learning Models for Discriminating Clinically Significant from Clinically Insignificant Prostate Cancer Using Bi-Parametric Magnetic Resonance Imaging. *Diagnostic and Interventional Radiology*, **31**, 313-320. <https://doi.org/10.4274/dir.2024.242856>
- [62] He, K., Zhang, X., Ren, S. and Sun, J. (2016) Deep Residual Learning for Image Recognition. 2016 *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Las Vegas, 27-30 June 2016, 770-778. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2016.90>
- [63] Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L. and Weinberger, K.Q. (2017) Densely Connected Convolutional Networks. 2017 *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Honolulu, 21-26 July 2017, 2261-2269. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2017.243>
- [64] Hu, J., Shen, L. and Sun, G. (2018) Squeeze-and-Excitation Networks. 2018 *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Salt Lake City, 18-23 June 2018, 7132-7141. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2018.00745>
- [65] Lin, G., Liu, F., Milan, A., Shen, C. and Reid, I.D. (2020) RefineNet: Multi-Path Refinement Networks for Dense Prediction. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **42**, 1228-1242.
- [66] Pati, P., Foncubierta-Rodríguez, A., Goksel, O. and Gabrani, M. (2021) Reducing Annotation Effort in Digital Pathology: A Co-Representation Learning Framework for Classification Tasks. *Medical Image Analysis*, **67**, Article 101859. <https://doi.org/10.1016/j.media.2020.101859>
- [67] Varan, M., Azimjonov, J. and Maçal, B. (2023) Enhancing Prostate Cancer Classification by Leveraging Key Radiomics Features and Using the Fine-Tuned Linear SVM Algorithm. *IEEE Access*, **11**, 88025-88039. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3306515>
- [68] Wu, Z., Ge, R., Wen, M., Liu, G., Chen, Y., Zhang, P., *et al.* (2021) Elnet: automatic Classification and Segmentation for

- Esophageal Lesions Using Convolutional Neural Network. *Medical Image Analysis*, **67**, Article 101838. <https://doi.org/10.1016/j.media.2020.101838>
- [69] Quilez, A.F., Eftestøl, T., Kjosavik, S.R., Goodwin, M. and Oppedal, K. (2022) Multi-Planar T2W MRI for an Improved Prostate Cancer Lesion Classification. *19th IEEE International Symposium on Biomedical Imaging*, Kolkata, 28-31 March 2022, 28-31.
- [70] Gilany, M., Wilson, P., Perera-Ortega, A., Jamzad, A., To, M.N.N., Fooladgar, F., *et al.* (2023) Trusformer: Improving Prostate Cancer Detection from Micro-Ultrasound Using Attention and Self-Supervision. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, **18**, 1193-1200. <https://doi.org/10.1007/s11548-023-02949-4>
- [71] Wen, L., Wang, S., Pan, X. and Liu, Y. (2023) IPCA-Net: A CNN-Based Framework for Predicting Incidental Prostate Cancer Using Multiparametric MRI. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, **110**, Article 102309. <https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2023.102309>
- [72] Esperto, F., Cacciatore, L., Tedesco, F., Raso, G., Minore, A., Testa, A., *et al.* (2024) Prevalence and Potential Predictors of Incidental Prostate Cancer in Patients Undergoing Surgery for Benign Prostatic Obstruction: A Retrospective Study in the MRI Era. *World Journal of Urology*, **42**, Article No. 485. <https://doi.org/10.1007/s00345-024-05171-2>
- [73] Cornford, P., van den Bergh, R.C.N., Briers, E., Van den Broeck, T., Brunckhorst, O., Darragh, J., *et al.* (2024) EAU-EANM-ESTRO-ESUR-ISUP-SIOG Guidelines on Prostate Cancer—2024 Update. Part I: Screening, Diagnosis, and Local Treatment with Curative Intent. *European Urology*, **86**, 148-163. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2024.03.027>
- [74] Peng, Y., Wei, C., Li, Y., Zhao, F., Liu, Y., Jiang, T., *et al.* (2025) Optimal PSA Density Threshold for Prostate Biopsy in Benign Prostatic Obstruction Patients with Elevated PSA Levels but Negative MRI Findings. *BMC Urology*, **25**, Article No. 42. <https://doi.org/10.1186/s12894-025-01719-5>
- [75] Jaber, A.R., Moschovas, M.C., Noel, J., Stirt, D., Rogers, T., Saikali, S., *et al.* (2024) Does Previous Transurethral Resection of the Prostate Affect the Outcomes in Robotic Assisted Radical Prostatectomy? *World Journal of Urology*, **42**, Article No. 384. <https://doi.org/10.1007/s00345-024-05105-y>
- [76] Artiles Medina, A., Tagalos Muñoz, A., Domínguez Gutiérrez, A., Muriel García, A., Subiela, J.D., Álvarez Díaz, N., *et al.* (2025) Outcomes of Active Treatment for Localised Prostate Cancer after Holmium Laser Enucleation of the Prostate: A Systematic Review and Meta-Analysis. *European Urology Open Science*, **79**, 111-127. <https://doi.org/10.1016/j.euros.2025.07.011>
- [77] Collins, G.S., Moons, K.G.M., Dhiman, P., Riley, R.D., Beam, A.L., Van Calster, B., *et al.* (2024) TRIPOD+AI Statement: Updated Guidance for Reporting Clinical Prediction Models That Use Regression or Machine Learning Methods. *BMJ*, **385**, e078378. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-078378>
- [78] Collins, G.S., Dhiman, P., Andaur Navarro, C.L., Ma, J., Hooft, L., Reitsma, J.B., *et al.* (2021) Protocol for Development of a Reporting Guideline (TRIPOD-AI) and Risk of Bias Tool (PROBAST-AI) for Diagnostic and Prognostic Prediction Model Studies Based on Artificial Intelligence. *BMJ Open*, **11**, e048008. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-048008>
- [79] Gulum, M.A., Trombley, C.M., Ozen, M., Esen, E., Aksamoglu, M. and Kantardzic, M. (2024) Why Are Explainable AI Methods for Prostate Lesion Detection Rated Poorly by Radiologists? *Applied Sciences*, **14**, Article 4654. <https://doi.org/10.3390/app14114654>
- [80] Subramanian, H.V., Canfield, C. and Shank, D.B. (2024) Designing Explainable AI to Improve Human-Ai Team Performance: A Medical Stakeholder-Driven Scoping Review. *Artificial Intelligence in Medicine*, **149**, Article 102780. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2024.102780>