

多模态磁共振成像在前列腺癌包膜外侵犯的研究进展

钱卓宇¹, 全栩毅², 陈 诚², 段圣武^{2*}

¹吉首大学医学院, 湖南 吉首

²吉首大学株洲临床学院放射科, 湖南 株洲

收稿日期: 2025年10月28日; 录用日期: 2025年11月21日; 发布日期: 2025年12月2日

摘 要

前列腺癌是男性常见癌症之一, 前列腺癌是否侵犯包膜影响治疗方案选择, 准确的术前评估能优化临床决策, 影响患者术后生存质量。磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)是观察前列腺包膜、评估肿瘤局部分期的首选影像方法, 本文介绍了前列腺包膜解剖、前列腺MRI成像序列、包膜外侵犯风险分级及影像组学, 总结了磁共振在前列腺癌包膜外侵犯国内外研究进展与不足并进行展望。

关键词

前列腺癌, 前列腺癌包膜外侵犯, 磁共振成像, 影像组学

Research Progress on Multimodal Magnetic Resonance Imaging in Extracapsular Invasion of Prostate Cancer

Zhuoyu Qian¹, Xuyi Quan², Cheng Chen², Shengwu Duan^{2*}

¹School of Medicine, Jishou University, Jishou Hunan

²Department of Radiology, Zhuzhou Clinical College of Jishou University, Zhuzhou Hunan

Received: October 28, 2025; accepted: November 21, 2025; published: December 2, 2025

Abstract

Prostate cancer is one of the common cancers in men, and whether prostate cancer invades the

*通讯作者。

文章引用: 钱卓宇, 全栩毅, 陈诚, 段圣武. 多模态磁共振成像在前列腺癌包膜外侵犯的研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(12): 386-393. DOI: 10.12677/acm.2025.15123423

capsule affects the choice of treatment plan, and accurate preoperative evaluation can optimize clinical decision-making and affect the quality of life of patients after surgery. Magnetic resonance imaging (MRI) is the preferred imaging method for observing the prostate capsule and assessing the local stage of tumor, and this paper introduces the anatomy of the prostate capsule, the MRI imaging sequence of the prostate, the risk grading of extracapsular invasion and radiomics, and summarizes the research progress and shortcomings of magnetic resonance in the invasion of prostate cancer at home and abroad and looks forward to it.

Keywords

Prostate Cancer, Extracapsular Invasion of Prostate Cancer, Magnetic Resonance Imaging, Radiomics

Copyright © 2025 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

前列腺癌是男性群体中发病率较高的恶性肿瘤之一,根据 2022 年全球癌症统计数据,前列腺癌已成为当年全球男性新发病例数最多的癌症类型,在 118 个国家中其新增发病数位居男性恶性肿瘤首位,并且其发病年龄呈现年轻化趋势[1]。目前,局限性前列腺癌的主要治疗方式为根治性前列腺切除术(radical prostatectomy, RP),术后 5 年生存率可达 90%以上,术后常见并发症有性功能障碍和尿失禁等,显著影响患者的生活质量,而保留性神经(nerve-sparing, NS)的手术方式能够在一定程度上减少术后并发症的发生,并促进性功能的恢复[2]-[4]。前列腺癌包膜外侵犯(Extracapsular Extension, EPE)是指前列腺恶性肿瘤突破包膜并向邻近组织或器官扩散的病理过程,EPE 患者手术切缘阳性、发生生化复发和转移的概率相对增高[5],不建议对 EPE 患者实施 NS-RP 术,且需要根据 EPE 程度扩大手术切除范围、积极地清扫盆腔淋巴结。鉴于此,术前对 EPE 进行准确评估具有重要的临床意义。本文从前列腺包膜解剖、前列腺 MRI 成像序列、包膜外侵犯风险分级及影像组学等方面,对磁共振在前列腺癌包膜外侵犯国内外研究进展进行综述。

2. 前列腺包膜结构组织学

前列腺包膜肉眼观可以观察到纤维结缔组织成分,光滑而清楚,把前列腺腺体与周围脂肪组织和静脉丛分隔;镜下由外层浅薄胶原纤维和内层平滑肌构成,包膜的平滑肌层呈外环内纵的表现,并与前列腺间质在组织结构和连续性上有同一性[6]。前列腺包膜并非均匀分布,虽覆盖前列腺的大部分,但前列腺尖部前方无包膜,这一区域前纤维肌性间质与前列腺腺体组织分界欠清,当癌组织累及时难以评价是否超出前列腺边界。前列腺包膜成分的比例、排列不恒定,解剖定义不明确,与肝脏、脾脏等包膜存在差异,肝脾包膜是一层致密的纤维结缔组织结构,能从脏器完整解剖分离。血管神经束(neurovascular bundle, NVB)主要分布前列腺包膜背外侧区域[6] [7],是术前评估及手术操作时需要重点关注的结构。

3. 前列腺癌 MRI 成像序列

目前,关于前列腺疾病的诊断主要影像学方法有超声、计算机断层扫描(Computed Tomography, CT)及 MRI 等。超声是常见的筛查手段,优点是能提供实时成像且价格便宜,图像上前列腺癌表现为低回声结节,但前列腺增生、炎性病灶等也可表现为低信号区,超声诊断前列腺疾病良恶性特异性低,且常规

超声对于前列腺包膜显示有限,对于超声医师技术、病人配合度有一定的要求,主要包括经腹、经直肠两种方式,经直肠检查可引到穿刺活检,具有较高价值[8];CT对于前列腺组织的分辨率低,一般不应用于前列腺癌的诊断,部分前列腺癌在动态扫描早期可出现明显强化,对于疾病检出有一定的意义,而PET-CT的组合对于分期和远处转移可提供精确定位和功能显像的双层信息[9]。磁共振成像具有优越的软组织分辨率,结合其多方位、多参数成像的特点,在诊断前列腺癌、观察EPE等方面具有独特优势,是目前评估前列腺癌局部分期的首选方法[10]。除了T1WI、T2WI为代表解剖序列,越来越多功能成像序列出现并运用于前列腺的影像诊断,如扩散加权成像、动态对比增强磁共振成像、3D-SPACE等。

3.1. T1WI、T2WI

T1WI、T2WI能提供前列腺的形态学信息,外周带在T2WI呈高信号,前列腺癌呈低信号,并且约70%的前列腺癌发生于外周带,因此对前列腺癌的检出作用很大,但炎症、出血、钙化也可以表现为低信号,因此,对于前列腺病灶良恶性诊断特异性较低[11]。正常的前列腺包膜在T1WI、T2WI上表现为环绕前列腺边缘细薄而均匀的低信号影,厚度为1mm左右,当病灶累及的包膜出现信号改变或形态学异常时,提示前列腺病变可能有突破包膜向周围组织侵袭的风险;NVB在T1WI上显示最佳,表现为包膜周围类圆形、葡萄状或弧线状的低信号,与脂肪高信号形成鲜明对比[12]。

3.2. 磁共振动态增强(DCE-MRI)

前列腺癌病灶内血管数量增加,血管壁不成熟、渗透性高,因此在DCE-MRI可出现早期强化出现时间早、峰值相对增高、消退时间较短的特点,能与前列腺增生等良性疾病鉴别。DCE-MRI还能进行定量分析,可以通过容积转运常数(k_{trans})、运动速率常数(K_{ep})、血浆容积分数(V_p)和血管外细胞外容积分数(V_e)等定量参数提供病灶相关的血流动力学信息,为病灶定性提供更多参考,但各定量参数在发生于中央带及移行带的前列腺癌中的诊断价值仍然存在很多争议。而且新生血管不是前列腺癌所特有,因此DCE-MR需要结合其他序列及功能成像才能更好的鉴别前列腺病变[13]。DCE-MRI上ECE则表现为包膜外出现不对称、隆起的强化灶。

3.3. 磁共振扩散加权成像(Diffusion Weighted Imaging, DWI)

DWI通过测定水分子在组织间扩散受限程度反应病变微观结构变化,弥散权重即b值的选择具有重要意义,b值越高弥散权重越高,更好区分不同组织,但同时也会降低信噪比使图像质量变差。b值等于0时图像近似T2WI,不能显示病灶弥散受限情况,目前常规DWI检查b值范围约600~1000 s/mm²,此范围弥散权重较低,不能很好区分表现相似的增生结节和前列腺癌。随着研究的深入,华圳等[14]一项纳入72例的回顾性研究显示b值=2500 s/mm²诊断前列腺癌的准确度为97.22%,高于b=1500、1000 s/mm²的91.67%、77.78%;另外赵莹莹等[15]一项纳入64例的回顾性研究显示b值=2000 s/mm²发现前列腺癌的敏感性高于b值=1000 s/mm²,可见b值选择对于前列腺癌诊断有重要意义,超高b值下正常组织与前列腺癌对比愈显著。此外,测定病灶DWI图像中ADC值也可用于良、恶性的鉴别,在不同b值图像中前列腺癌小于前列腺良性病变的ADC值[16]。

3.4. 3D-SPACE

可变翻转角3D快速自旋回波磁共振成像具有更好的空间分辨率及高信噪比,其在前列腺疾病的应用具有良好表现,相较于常规T2WI更好显示前列腺包膜形态和信号的细节[17],邓喜青[18]等回顾性分析了33例前列腺癌患者的MRI资料研究3D-SPACE诊断EPE的价值,结果显示3D-SPACE法的准确性、敏感性为81.8%、73.3%,高于T2WI法的72.7%、60.0%,3D-SPACE在显示前列腺包膜与肿瘤分界方面,

相较于常规 T2WI 具有更显著的优势,对前列腺癌 EPE 的诊断准确性更高,可作为补充序列联合应用于前列腺癌分期评估。由此可见,技术优化与图像质量的提升是增强 MRI 对 EPE 诊断效能的重要途径。

4. MRI 风险评估分级方法

4.1. 前列腺影像报告与数据系统

前列腺影像报告与数据系统(Prostate Imaging Reporting and Data System, PI-RADS)是目前运用最广泛的前列腺结构化报告方法,PI-RADS 提出了基于 mp-MRI 的影像技术扫描标准和影像诊断分级,将前列腺病灶评为 1~5 分,高分显著提示存在前列腺癌的可能性,同时 PI-RADS 肯定了评价 EPE 的重要性,当病灶出现显著的包膜外延伸或有侵袭性生物学行为,应当将病灶评分提高至 PI-RADS 5 分[19]。2019 年更新的 PI-RADS v2.1 版本中描述了 6 个影像征象直接或间接提示 EPE,2023 年,Choi 等[20]的一项纳入了 17 研究、3062 例患者的荟萃分析结果提示该 6 个征象与 EPE 具有显著的相关性,诊断价值由高到低依次为病灶突破包膜或膀胱壁受侵、病灶-包膜接触面大于 10 mm、周围神经血管束不对称或受侵、直肠前列腺角消失、前列腺轮廓局限性突出、包膜不规则膨出。根据上述研究结果,影像医师可以关注价值较高的影像学征象并结合实际情况综合诊断,对于评估 EPE 风险有一定应用价值。但 PI-RADS 没有进一步对 EPE 征象进行量化评分,其诊断阈值不明确,多是基于定性影像描述诊断 EPE,影像医生的经验差异可能导致不一致的诊断结果。

4.2. Likert 量表评分

Likert 量表是一种应用于多种研究领域的等级量表,部分研究采用 Likert 量表结合 PI-RADS 中定义的影像征象对 EPE 的可能性进行评分,Onay 等[21]的研究对量表进行了细化和完善,将 5 种可能的 EPE 影像征象定为 1~5 分,评分标准为:1 分(无),在肿瘤和前列腺包膜之间观察到正常组织;2 分(可能没有),肿瘤紧贴前列腺包膜;3 分(不确定),肿瘤紧贴前列腺包膜并包膜形态欠规整;4 分(可能有)肿瘤紧贴的前列腺包膜形态凸起变形并信号模糊;5 分(有),可观测并测量的包膜外肿瘤。

4.3. ESUR 评分

2012 年欧洲泌尿生殖系统放射学会根据 PI-RADS 评分对于 EPE 定性描述提出了 ESUR 评分[22],Schieda 等[23]对评分更进一步补充和优化提出了改良版 ESUR 评分:1 分,无包膜外侵犯;2 分,肿瘤紧邻前列腺包膜但包膜形态及信号正常;3 分,包膜形态不规则;4 分,包膜缺损伴或不伴神经血管束增厚;5 分,出现显著包膜外肿瘤。

影像医生可以根据 Likert 量表评分或 ESUR 评分的相应影像征象对 EPE 进行风险等级评价,用量化评分代替前列腺 MRI 报告中“考虑”、“可能”、“不能排除”等主观术语,提高报告的可信度。Wibmer 等[24]的一项纳入 465 例患者的回顾性研究显示 Likert 量表评分诊断 EPE 的 AUC (area under the curve, AUC)为 0.852,相比非结构化报告能提高诊断准确性。尽管如此,Likert 量表评分与 ESUR 评分本质上依然是主观定性的评估方法,缺乏客观指标和定量数据,其结果非常依赖放射科医生诊断经验。

4.4. Mehralivand 分级

2019 年 Mehralivand 等[25]基于以往研究引入了病灶-包膜曲面接触长度,提出了一个联合定性评分和定量指标的 Mehralivand 分级,评分方法如下:0 级,无包膜接触或接触长度小于 15 mm;1 级,接触长度达 15 mm 或出现包膜形态改变;2 级,同时存在接触长度达 15 mm 和包膜形态改变;3 级,显著包膜突破。Mehralivand 分级简易化的评分设计便于临床教学及应用,引入定量指标有助于降低对经验判断

的依赖程度。有研究对比 Mehralivand 分级、ESUR 评分及 Likert 量表评分预测 EPE 的价值,发现均具有良好的诊断效能(AUC: 0.77~0.85),敏感性分别为 0.77、0.75、0.68,且 Mehralivand 分级与组织学 EPE 程度相关性最高, Mehralivand 分级结合临床指标比其它两种方法具有更良好的诊断性能和一致性[26]。

5. 影像组学

为更好实现量化指标诊断和分析病灶,荷兰学者 Lambin 等[27]在 2012 年提出了影像组学概念,影像组学的核心假设是提取能反映病灶异质性(如基因表达、突变状态等)的相关特征,从医学影像(如 CT、MRI 或 PET)中挖掘大量视觉无法识别的定量特征,经数据的分析处理后提取相关特征,最后通过分类或回归算法训练得到最终的预测模型,预测模型能应用于肿瘤检测、分期评估或预后分析,以辅助临床决策的制定[28]。近年来,随着影像组学方法成熟、在前列腺疾病中研究的深入,证实其能为 PCa 诊断与鉴别诊断、侵袭性评估及术后病理的预测提供有效参考信息[29]-[31]。

5.1. 基于不同 MRI 成像序列预测 EPE

XU 等[32]以 95 例 PCa 患者为对象,基于 mp-MRI 构建了一个影像组学模型,并收集患者 t-PSA 和 Gleason 分组,建立临床预测模型和联合临床模型,在验证组中,影像组学模型的 AUC 值分别为 0.865,诊断效果优于临床模型(AUC 为 0.658),与联合模型的 AUC 值接近(AUC 为 0.857)。国内许多针对 EPE 的研究基于 bp-MRI 展开,杨丽勤等[33]以 392 例 PCa 患者为对象,从 DWI、T2WI 中提取了 20 个组学特征,并参考 PSA 浓度、病灶位置、PI-RADS v2.1 评分及穿刺病理分级等 EPE 独立危险因素构建了临床模型及影像组学 + 临床联合模型,根据测试组结果,影像组学模型诊断 EPE 的 AUC 值为 0.882,高于临床模型及 Mehralivand 分级诊断效能,接近联合模型在训练组的 AUC 值 0.897。

5.2. 不同 ROI 勾画区域对预测 EPE 的研究

多数研究 ROI 的选择肿瘤病灶,通过直方图方法、基于纹理等处理后提取特征值,以期反映肿瘤的生物行为如肿瘤细胞密度、侵袭能力、是否突破包膜等。有学者另辟蹊径以瘤周组织为主要研究对象,Bai 等[34]提出瘤周影像学的概念,研究结果显示瘤周影像组学特征比瘤内特征更能反映肿瘤对包膜的侵犯情况;Shiradkar 等[35]发现前列腺周围脂肪成分改变与 PCa 侵袭性有关,可以从中提取有意义的影像组学特征以评估 EPE 情况,可能与高危 PCa 更易累及周围结构而改变瘤周生化环境有关,目前针对瘤周区域的影像组学研究仍较为有限,需开展更多研究以验证其结果的有效性。

5.3. 计算机辅助诊断的研究进展

随着计算机技术的不断发展,人工智能与医学领域的结合成为现阶段的研究热点。机器学习是人工智能的核心技术,其算法、工具和开发平台在病灶分割、影像特征筛选与处理、模型构建等阶段均发挥着重要作用[36],根据影像分割方法不同,影像组学可以分为传统机器学习(machine learning, ML)与深度学习(deep learning, DL)两个阶段[36]-[38]。Xu、杨丽勤等[32][33]的研究基于传统 ML 进行,其 ROI 主要依靠手动勾画,缺点是当样本量较大时,操作工作量大、耗时长。DL 是 ML 的一个分支,特点是应用了卷积神经网络模型,是研究 EPE 的新兴方向。目前基于 DL 预测 EPE 的模型较少,SIMON 等[39]对 634 名患者的前列腺 MRI 进行了前瞻性临床评估,集成现有 DL 模型,提取 RF 分类模型的面积和距离特征构建模型,达到了 67%的准确率,特异度和敏感度与放射科医师相当。DL 较于传统 ML 不再需要复杂的影像预处理,可自动在原始图像中特征选择、勾画 ROI,具有一定的效率优势,其缺点在于数据来源单一、多数条目是单一阅片人编辑,其解释性不及经过统计理论传统 ML 研究,对样本数量要求更高才能在一定程度上保证精度,且计算成本较高。

6. 总结与展望

MRI 是评估前列腺 Ca 是否侵犯包膜的重要无创检查方法, 高 b 值 DWI、3D-SPACE 等是观察前列腺 EPE 的有价值序列, 特别是 3D-SPACE 在观察解剖细节方面的优势能提高 EPE 的诊断准确度。Likert 量表评分、ESUR 评分及 Mehralivand 分级等风险评估方法有一定评价意义, 有助于实现对 EPE 描述的规范化与统一性, 便利了影像医师和临床医生交流, 使术前评估有效进行。Mehralivand 分级相较其他两种更简便, 测量定量指标一定程度减少主观因素影响, 在教学、实践工作中有一定推广价值。影像组学在评估 EPE 方面展现出良好的应用潜力, 但目前多数研究来自小样本的回顾性研究, 证实其模型的可靠性和普适性, 仍需进行大量外部验证和前瞻性的临床试验。未来关于前列腺癌 EPE 的研究方向, 一方面是联合运用高价值序列, 寻找更有意义的评估标准, 以提高判断 EPE 的准确度, 并不断改进更新 EPE 风险评估分级方法; 另一方面随着人工智能技术的不断发展及其在医疗领域的深度融合, 期待机器学习与深度学习在 CT 及 MRI 影像分析中的应用进一步拓展, 进而在前列腺肿瘤的检测、定位、侵袭性评估以及随访监测中发挥更为重要的作用。

参考文献

- [1] 张正, 张莉芳, 刘彦廷, 等. 《2022 全球癌症统计报告》解读[J]. 中国医院统计, 2024, 31(5): 393-400.
- [2] Mottet, N., van den Bergh, R.C.N., Briers, E., Van den Broeck, T., Cumberbatch, M.G., De Santis, M., et al. (2021) EAU-EANM-ESTRO-ESUR-SIOG Guidelines on Prostate Cancer—2020 Update. Part 1: Screening, Diagnosis, and Local Treatment with Curative Intent. *European Urology*, **79**, 243-262. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2020.09.042>
- [3] Lane, J.A., Donovan, J.L., Young, G.J., Davis, M., Walsh, E.I., Avery, K.N.L., et al. (2022) Functional and Quality of Life Outcomes of Localised Prostate Cancer Treatments (Prostate Testing for Cancer and Treatment [Protect] Study). *BJU International*, **130**, 370-380. <https://doi.org/10.1111/bju.15739>
- [4] Steineck, G., Bjartell, A., Hugosson, J., Axén, E., Carlsson, S., Stranne, J., et al. (2015) Degree of Preservation of the Neurovascular Bundles during Radical Prostatectomy and Urinary Continence 1 Year after Surgery. *European Urology*, **67**, 559-568. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2014.10.011>
- [5] Checcucci, E., Veccia, A., Fiori, C., Amparore, D., Manfredi, M., Di Dio, M., et al. (2019) Retzius-sparing Robot-assisted Radical Prostatectomy vs the Standard Approach: A Systematic Review and Analysis of Comparative Outcomes. *BJU International*, **125**, 8-16. <https://doi.org/10.1111/bju.14887>
- [6] 魏世平. 前列腺包膜和周围 NVB 的病理结构分析及临床意义[D]: [博士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2020.
- [7] Alsaid, B., Bessede, T., Diallo, D., Moszkowicz, D., Karam, I., Benoit, G., et al. (2011) Division of Autonomic Nerves within the Neurovascular Bundles Distally into Corpora Cavernosa and Corpus Spongiosum Components: Immunohistochemical Confirmation with Three-Dimensional Reconstruction. *European Urology*, **59**, 902-909. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2011.02.031>
- [8] 覃斌, 梁阳冰, 梁毅文, 等. 直肠超声引导下经会阴和直肠前列腺穿刺活检术诊断灰区前列腺癌的对比研究[J]. 中华男科学杂志, 2016, 22(5): 477-479.
- [9] Ali, I., Rezk, M., Hamouda, D., Talaat, O., Omar, Y., Abdel Tawab, M., et al. (2024) Clinical Value of 18F-PSMA-1007 PET/MRI in Primary Staging of Patients with Intermediate- To High-Risk Prostate Cancer. *British Journal of Radiology*, **97**, 622-631. <https://doi.org/10.1093/bjr/tqae021>
- [10] Stabile, A., Giganti, F., Rosenkrantz, A.B., Taneja, S.S., Villeirs, G., Gill, I.S., et al. (2019) Multiparametric MRI for prostate cancer diagnosis: current status and future directions. *Nature Reviews Urology*, **17**, 41-61. <https://doi.org/10.1038/s41585-019-0212-4>
- [11] Kurhanewicz, J., Vigneron, D., Carroll, P. and Coakley, F. (2008) Multiparametric Magnetic Resonance Imaging in Prostate Cancer: Present and Future. *Current Opinion in Urology*, **18**, 71-77. <https://doi.org/10.1097/mou.0b013e3282f19d01>
- [12] 王霄英. MRI 诊断前列腺癌侵犯神经血管束的价值[J]. 中华放射学杂志, 2000(12): 51-53.
- [13] 冷晓明, 韩晓蕊, 徐熾, 等. IVIM-DWI 和定量 DCE-MRI 鉴别前列腺癌和前列腺增生——灌注系数的相关性研究[J]. 影像诊断与介入放射学, 2016, 25(5): 390-395.
- [14] 华圳, 刘瑜婷. 不同 b 值 3.0T 磁共振弥散加权成像在前列腺癌鉴别诊断中的应用价值[J]. 影像研究与医学应用,

- 2023, 7(12): 98-100.
- [15] 赵莹莹, 张丹, 宋娜, 等. 超高 b 值 DWI 对外周带前列腺癌的诊断价值[J]. 磁共振成像, 2021, 12(12): 24-28.
- [16] 黄继伟, 李健斐, 王佳, 等. 3.0TMRI 多 b 值 DWI 与动态增强扫描对前列腺癌术前诊断价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2021, 19(10): 147-148, 166.
- [17] Caglic, I., Povalej Brzan, P., Warren, A.Y., Bratt, O., Shah, N. and Barrett, T. (2019) Defining the Incremental Value of 3D T2-Weighted Imaging in the Assessment of Prostate Cancer Extracapsular Extension. *European Radiology*, **29**, 5488-5497. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06070-6>
- [18] 邓喜青, 段圣武, 陈彩芳, 等. 3D-SPACE 序列在前列腺癌包膜侵犯的应用价值[J]. 医学影像学杂志, 2021, 31(10): 1727-1730.
- [19] Turkbey, B., Rosenkrantz, A.B., Haider, M.A., Padhani, A.R., Villeirs, G., Macura, K.J., *et al.* (2019) Prostate Imaging Reporting and Data System Version 2.1: 2019 Update of Prostate Imaging Reporting and Data System Version 2. *European Urology*, **76**, 340-351. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2019.02.033>
- [20] Choi, M.H., Kim, D.H., Lee, Y.J., Rha, S.E. and Lee, J.Y. (2023) Imaging Features of the PI-RADS for Predicting Extraprostatic Extension of Prostate Cancer: Systematic Review and Meta-Analysis. *Insights into Imaging*, **14**, Article No. 77. <https://insightsimaging.springeropen.com/articles/10.1186/s13244-023-01422-9>
- [21] Onay, A., Ertas, G., Vural, M., Colak, E., Esen, T. and Bakir, B. (2020) The Role of T2-Weighted Images in Assessing the Grade of Extraprostatic Extension of the Prostate Carcinoma. *Abdominal Radiology*, **45**, 3293-3300. <https://doi.org/10.1007/s00261-020-02419-4>
- [22] Barentsz, J.O., Richenberg, J., Clements, R., Choyke, P., Verma, S., Villeirs, G., *et al.* (2012) ESUR Prostate MR Guidelines 2012. *European Radiology*, **22**, 746-757. <https://doi.org/10.1007/s00330-011-2377-y>
- [23] Schieda, N., Quon, J.S., Lim, C., El-Khodary, M., Shabana, W., Singh, V., *et al.* (2015) Evaluation of the European Society of Urogenital Radiology (ESUR) PI-RADS Scoring System for Assessment of Extra-Prostatic Extension in Prostatic Carcinoma. *European Journal of Radiology*, **84**, 1843-1848. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2015.06.016>
- [24] Wibmer, A., Vargas, H.A., Sosa, R., Zheng, J., Moskowitz, C. and Hricak, H. (2014) Value of a Standardized Lexicon for Reporting Levels of Diagnostic Certainty in Prostate MRI. *American Journal of Roentgenology*, **203**, W651-W657. <https://doi.org/10.2214/ajr.14.12654>
- [25] Mehralivand, S., Shih, J.H., Harmon, S., Smith, C., Bloom, J., Czarniecki, M., *et al.* (2019) A Grading System for the Assessment of Risk of Extraprostatic Extension of Prostate Cancer at Multiparametric MRI. *Radiology*, **290**, 709-719. <https://doi.org/10.1148/radiol.2018181278>
- [26] Asfuroğlu, U., Asfuroğlu, B.B., Özer, H., Gönül, İ.I., Tokgöz, N., İnan, M.A., *et al.* (2022) Which One Is Better for Predicting Extraprostatic Extension on Multiparametric MRI: ESUR Score, Likert Scale, Tumor Contact Length, or EPE Grade? *European Journal of Radiology*, **149**, Article ID: 110228. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2022.110228>
- [27] Lambin, P., Rios-Velazquez, E., Leijenaar, R., Carvalho, S., van Stiphout, R.G.P.M., Granton, P., *et al.* (2012) Radiomics: Extracting More Information from Medical Images Using Advanced Feature Analysis. *European Journal of Cancer*, **48**, 441-446. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2011.11.036>
- [28] Mayerhoefer, M.E., Materka, A., Langs, G., Häggström, I., Szczypiński, P., Gibbs, P., *et al.* (2020) Introduction to Radiomics. *Journal of Nuclear Medicine*, **61**, 488-495. <https://doi.org/10.2967/jnumed.118.222893>
- [29] 彭涛, 肖建明, 张仕慧, 等. 基于多参数 MRI 及影像组学建立机器学习模型诊断临床显著性前列腺癌[J]. 中国医学影像技术, 2019, 35(10): 1526-1530.
- [30] Zhong, Q.Z., *et al.* (2020) Radiomics of Multiparametric MRI to Predict Biochemical Recurrence of Localized Prostate Cancer After Radiation Therapy. *Frontiers in Oncology*, **10**, Article 731.
- [31] Aerts, H.J.W.L., Velazquez, E.R., Leijenaar, R.T.H., Parmar, C., Grossmann, P., Carvalho, S., *et al.* (2014) Decoding Tumour Phenotype by Noninvasive Imaging Using a Quantitative Radiomics Approach. *Nature Communications*, **5**, Article No. 4006. <https://doi.org/10.1038/ncomms5006>
- [32] Xu, L., Zhang, G., Zhao, L., Mao, L., Li, X., Yan, W., *et al.* (2020) Radiomics Based on Multiparametric Magnetic Resonance Imaging to Predict Extraprostatic Extension of Prostate Cancer. *Frontiers in Oncology*, **10**, Article 940. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.00940>
- [33] 杨丽勤. 基于 bpMRI 的评分及影像组学联合临床指标对前列腺癌包膜外侵犯评估价值的初步研究[D]: [硕士学位论文]. 苏州: 苏州大学, 2024.
- [34] Bai, H., Xia, W., Ji, X., He, D., Zhao, X., Bao, J., *et al.* (2021) Multiparametric Magnetic Resonance Imaging-Based Peritumoral Radiomics for Preoperative Prediction of the Presence of Extracapsular Extension with Prostate Cancer. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, **54**, 1222-1230. <https://doi.org/10.1002/jmri.27678>
- [35] Shiradkar, R. (2021) Editorial for “Multiparametric MRI-Based Peritumoral Radiomics for Preoperative Prediction of

-
- the Presence of Extracapsular Extension with Prostate Cancer”. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, **54**, 1231-1232. <https://doi.org/10.1002/jmri.27747>
- [36] 鲁慧民, 薛涵, 王奕龙, 等. 机器学习在影像组学分析中的应用综述[J]. 计算机工程与应用, 2023, 59(17): 22-34.
- [37] Currie, G., Hawk, K.E., Rohren, E., Vial, A. and Klein, R. (2019) Machine Learning and Deep Learning in Medical Imaging: Intelligent Imaging. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences*, **50**, 477-487. <https://doi.org/10.1016/j.jmir.2019.09.005>
- [38] Fayek, H.M., Cavedon, L. and Wu, H.R. (2020) Progressive Learning: A Deep Learning Framework for Continual Learning. *Neural Networks*, **128**, 345-357. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2020.05.011>
- [39] Simon, B.D., Merriman, K.M., Harmon, S.A., Tetreault, J., Yilmaz, E.C., Blake, Z., *et al.* (2024) Automated Detection and Grading of Extraprostatic Extension of Prostate Cancer at MRI via Cascaded Deep Learning and Random Forest Classification. *Academic Radiology*, **31**, 4096-4106. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2024.04.011>