

人工智能在膀胱癌诊疗中的价值

吴冰¹, 毛嘉颖¹, 赵振华^{2*}

¹绍兴文理学院医学院, 浙江 绍兴

²绍兴市人民医院(绍兴文理学院附属第一医院)放射科, 浙江 绍兴

收稿日期: 2025年11月4日; 录用日期: 2025年11月29日; 发布日期: 2025年12月5日

摘要

膀胱癌是全球范围内发病率居第二位的泌尿系统恶性肿瘤, 也是导致男性患者死亡的主要癌种之一。早期病变识别与精准的病理分级分期对于改善患者预后具有重要意义。近年来, 人工智能技术在医学影像分析中显示出显著优势, 能够提取人类视觉难以辨识的图像特征, 从而在膀胱癌诊断与治疗领域展现出重要潜力。本文将从人工智能在膀胱癌诊疗研究中的最新进展系统综述。

关键词

膀胱癌, 影像组学, 深度学习

The Value of Artificial Intelligence in the Diagnosis and Treatment of Bladder Cancer

Bing Wu¹, Jiaying Mao¹, Zhenhua Zhao^{2*}

¹School of Medicine, Shaoxing University, Shaoxing Zhejiang

²Department of Radiology, Shaoxing People's Hospital (The First Affiliated Hospital, Shaoxing University), Shaoxing Zhejiang

Received: November 4, 2025; accepted: November 29, 2025; published: December 5, 2025

Abstract

Bladder cancer ranks as the second most common malignancy of the urinary system worldwide and is one of the leading causes of cancer-related death among males. Early lesion identification and accurate pathological grading and staging are essential for improving patient prognosis. In recent years, artificial intelligence has demonstrated considerable potential in medical image analysis by

*通讯作者。

文章引用: 吴冰, 毛嘉颖, 赵振华. 人工智能在膀胱癌诊疗中的价值[J]. 临床医学进展, 2025, 15(12): 961-966.
DOI: 10.12677/acm.2025.15123491

extracting features imperceptible to the human eye, indicating its promising role in the diagnosis and treatment of bladder cancer. This article systematically reviews recent advances in the application of artificial intelligence in bladder cancer research.

Keywords

Bladder Cancer, Radiomics, Deep Learning

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

膀胱癌是泌尿系统常见的恶性肿瘤，全球发病率位居泌尿系肿瘤第二位。流行病学数据显示，2022年全球新增膀胱癌病例约60万例[1]，其中中国约占9万例，占全球新发病例的15%，且以男性患者为主。在恶性肿瘤发病谱中，膀胱癌位列我国总体发病顺位第11位、男性第8位，已成为威胁居民健康的重要公共卫生问题[2]。

从病理类型来看，膀胱尿路上皮癌占膀胱癌的绝大多数[3]。根据肿瘤浸润深度，可分为非肌层浸润性膀胱癌(NMIBC)与肌层浸润性膀胱癌(MIBC)。目前，NMIBC的标准治疗方式为经尿道膀胱肿瘤电切术(TURBT)[4]，而MIBC则主要采用根治性膀胱切除术(RC)。近年来，以TURBT为基础，联合系统化疗与局部放疗的保膀胱三联疗法(TMT)以及新辅助治疗等策略的应用日益广泛[5]。然而，膀胱癌仍面临高复发率、快速进展及易转移等临床挑战。研究表明，超过50%的NMIBC患者在接受TURBT或膀胱灌注化疗后出现复发或进展为MIBC；另有近半数MIBC患者在RC联合淋巴结清扫术后2~3年内发生转移。MIBC患者五年总体生存率仍低于50%[6]。因此，早期肿瘤识别、精准分级分期、高危患者围手术期综合干预以及系统化术后随访，对改善患者生存结局与生活质量具有关键意义。

人工智能作为前沿交叉学科，近年来在医学影像分析领域展现出显著潜力。其技术能够从影像数据中提取人眼难以辨识的病灶特征，如组织异质性、形态复杂度等，可为临床提供新型无创且可重复的分析工具[7]。当前已有多个基于人工智能的医疗产品投入实际应用，例如肺结节智能识别系统等。人工智能在医疗领域的引入，在有效提升诊疗流程效率的基础上，可有效缓解社会医疗资源压力。同时，其辅助诊断功能也有助于弥合不同年资医师间经验与判断能力的差异，促进医疗质量同质化发展。

目前，医学人工智能的技术路径以影像组学与深度学习为主流。本文旨在系统综述影像组学与深度学习在膀胱癌诊断与治疗等方面的最新研究进展，并进一步探讨当前人工智能所面临的技术挑战与未来发展方向。

2. 人工智能在诊断上的应用

膀胱癌的诊断与治疗策略高度依赖于病理类型、TNM分期及相关分子标志物的表达状态等[2]。目前膀胱癌的诊断金标准仍依赖于病理学检查，但其存在结果滞后性、有创性以及肿瘤异质性等局限。在此背景下，人工智能技术为膀胱癌的无创、早期辅助诊断提供了一条新路径。

在淋巴结转移识别方面，Wu S等[8]收集了来自多家医院的近千例接受RC及盆腔淋巴结清扫术的患者数据，构建了淋巴结转移诊断模型。该模型在检测微转移方面表现出良好效能。Du Y团队[9]则将机器学习与影像组学结合，创新性引入“栖息地”概念，采用k均值算法对影像特征进行聚类分析，以确定

最优特征区域,并据此构建基于CT图像的病理分型预测模型,其预测性能得到验证。此外,Song H 团队[10]融合深度学习与影像组学方法,纳入近700例膀胱癌患者的三期影像数据,构建了基于诺莫图的可解释模型(DLRN),在训练集与外部验证集中AUC分别达0.961与0.947,表明该模型在高、低级别膀胱癌区分中具有较强的判别能力。另有研究[11]采用影像组学方法验证了基于全肿瘤3D分割技术鉴别膀胱癌T2与T3分期的可行性。上述研究均为基于人工智能的TNM分期自动化识别提供了有力依据。

肿瘤的发生发展常伴随基因突变,而相关研究多集中于基因组层面,与影像相关联的研究尚不充分。人工智能技术为该领域的整合提供了新的思路。近年有学者[12]基于MRI影像与RNA-seq数据,构建了自动化的影像-基因组学融合模型,为膀胱癌的分级与分期提供了新方法。

人工智能技术为医学影像、病理特征与基因表达之间构建了桥梁,为实现膀胱癌的精准诊断与TNM分期提供了新路径。随着相关算法不断优化与多中心研究的推进,人工智能有望在病灶自动识别、浸润深度预测等方面实现更高性能,从而为个体化治疗方案的制定提供更具价值的决策支持,并助力降低治疗相关并发症风险。

3. 人工智能在新辅助治疗中的应用

膀胱癌的新辅助治疗主要包括新辅助化疗(NAC)及新辅助免疫治疗两方面。以顺铂为基础的NAC是MIBC的标准治疗方案[13];NMIBC则常采用膀胱灌注治疗,如卡介苗(BCG)或丝裂霉素C等。研究显示,联合NAC可显著提升患者总生存期(OS)与病理完全缓解率(pCR)[14][15]。然而,因约半数患者不符合顺铂治疗指征,NAC的临床应用存在局限。免疫检查点抑制剂(ICIs)及靶向药物的出现为此类患者提供了替代路径。相较于顺铂,ICIs与靶向药物毒副反应较轻,研究证实其可有效改善患者OS,为不符合传统化疗条件者带来新的治疗机会[16]。近年来,抗体-药物偶联物(ADC)研究日益深入。证据表明,ADC联合免疫治疗有助于提升患者生存率,但其疗效受肿瘤组织中相应蛋白表达水平的直接影响[17][18]。膀胱癌的发生、进展及预后与多种基因密切相关,例如RRM1、ERCC1、TOP2A、HER2、FGFR及PD-L1等[16][19][20]。因此,早期评估相关蛋白表达水平不仅对筛选可能获益于靶向治疗的患者具有关键意义,也为制定个体化治疗方案提供了重要依据。

影像组学与深度学习技术已在治疗反应监测及蛋白表达预测领域取得显著进展。有学者[21]通过整合组织细胞学与遗传学数据,构建了基于深度学习的多模态模型,成功预测了肌层浸润性膀胱癌患者对新辅助化疗的疗效。研究进一步确认了TP63、CCL5及DCN等基因与新辅助化疗疗效的相关性,且印证了Patel A等[22]关于TP63在肿瘤发生、进展及化疗耐药中发挥关键作用的结论。值得注意的是,TP63已被确立为膀胱癌预后不良的生物标志物。在影像学评估方面,一项国内研究表明,基于增强CT影像的组学特征对肌层浸润性膀胱癌的预后预测具有重要价值[23]。Han X等[24]收集了多家医院的近200例患者数据,采用深度学习与影像组学相结合的方法构建模型,用于预测膀胱癌中PD-L1表达水平,所获模型曲线下面积(AUC)达0.857,显示出良好的预测能力。相比之下,另一项针对PD-L1的研究中,尽管训练集AUC超过0.9,但验证集性能偏低[25],提示其模型稳健性不及Han X团队。此外,影像组学还被证实在评估膀胱癌患者对PD-1/PD-L1免疫治疗的疗效及生存期方面具备潜力[20]。除PD-L1外,HER2表达的影像学评估也取得一定进展。Yu R等[26]探讨了基于MRI影像组学在评估膀胱癌HER2状态中的作用,结果显示支持向量机(SVM)模型性能最佳(训练组AUC 0.929,验证组AUC 0.886,测试组AUC 0.712)。Peng J等[27]则证实基于增强CT的临床-影像组学融合模型在识别HER2表达状态方面具有良好效能(测试集AUC 0.857,准确率0.760)。另有研究团队开发的基于CTU的深度学习模型同样验证了深度学习在预测膀胱癌HER2表达中的可行性[28]。

当前,随着以ADC药物为代表的新兴免疫治疗策略逐步应用于临床,具备相应靶点表达的患者有望

获得更大治疗获益。未来随着检测体系的完善,相关靶点检测与预后评估研究将日趋系统化。然而,针对 RRM1、ERCC1、TOP2A 等关键基因的人工智能检测方法仍处于探索阶段,亟需更多高质量、多中心研究推进其临床转化。

4. 人工智能面临的挑战

影像组学与深度学习在膀胱癌研究中已积累大量成果,但其临床转化仍面临模型泛化能力不足的关键瓶颈。目前研究多通过引入外部验证集、结合 SHAP 或构建诺莫图等方法提升模型稳定性和可解释性,然而多数模型仍受限于特定采样人群与机构条件,无法有效扩展到其他临床环境。例如,并非所有现实患者的膀胱充盈度一致、某些患者可能合并有广泛性膀胱炎性改变、不同治疗手段后膀胱实际情况不同等。

其次,模型性能受到多方面因素影响,包括感兴趣区域(ROI)勾画的准确性与一致性,不同厂商设备采集参数的差异,以及影像特征提取与筛选方法的不统一。因此,建立标准化的图像采集协议、统一的数据处理方法以及规范的影像组学和深度学习研究流程,是推动该领域发展的必要基础[29]-[31]。开展跨区域多中心合作并利用公共数据库资源,也能增强模型稳健性与推广价值。而纳入现实患者数据集进一步验证模型性能,可以有效提高模型的实际应用性。同时,在目前 SHAP、诺莫图的基础上进一步增加 AI 的可解释性,也可以让实验结果更具说服力,增加临床推广度。

5. 结论

人工智能技术的引入将显著提升膀胱癌的诊疗体验,其在影像识别、病理分析和疗效预测等方面的潜力,不仅能显著提升诊断的敏感性与特异性,更为实现个体化治疗提供了可靠的技术支撑。而影像组学与基因学联合为探讨膀胱癌基因突变提供了新思路,可以帮助我们发现更多新靶点,为研制新型靶向药提供了更多的选择性,也为人类探索并克服膀胱癌的道路提供了新基石。尽管当前面临模型泛化能力不足、数据标准化程度低等挑战,但在数据资源不断累积、智能算法持续完善和技术融合发展的大背景下,以影像组学、深度学习为代表的新兴人工智能方法将推动医疗体系向更高水平发展。未来亟需开展基于标准化流程的前瞻性验证研究,加强多中心、跨学科的合作创新,进一步增强 AI 的可解释性,将临床专业知识与先进算法有机结合,发展集诊断分型、蛋白表达预测、疗效预测与动态监测于一体的智能模型系统,为实现膀胱癌诊疗的精准化、智能化添砖加瓦。

参考文献

- [1] Bray, F., Laversanne, M., Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R.L., Soerjomataram, I., *et al.* (2024) Global Cancer Statistics 2022: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **74**, 229-263. <https://doi.org/10.3322/caac.21834>
- [2] 中国肿瘤医院泌尿肿瘤协作组. 膀胱癌保膀胱治疗多学科诊治协作专家共识(2024 版) [J]. 中华肿瘤杂志, 2024, 46(12): 1136-1155.
- [3] Chen, X., Wahafu, W., Shen, Y., Fan, J. and Yao, X. (2024) CACA Guidelines for Holistic Integrative Management of Urothelial Carcinoma. *Holistic Integrative Oncology*, **3**, Article No. 9. <https://doi.org/10.1007/s44178-024-00075-y>
- [4] Alfred Witjes, J., Max Bruins, H., Carrión, A., Cathomas, R., Compérat, E., Efstathiou, J.A., *et al.* (2024) European Association of Urology Guidelines on Muscle-Invasive and Metastatic Bladder Cancer: Summary of the 2023 Guidelines. *European Urology*, **85**, 17-31. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2023.08.016>
- [5] Arcangeli, G., Strigari, L. and Arcangeli, S. (2015) Radical Cystectomy versus Organ-Sparing Trimodality Treatment in Muscle-Invasive Bladder Cancer: A Systematic Review of Clinical Trials. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, **95**, 387-396. <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2015.04.006>
- [6] Patel, V.G., Oh, W.K. and Galsky, M.D. (2020) Treatment of Muscle-Invasive and Advanced Bladder Cancer in 2020. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **70**, 404-423. <https://doi.org/10.3322/caac.21631>

- [7] 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>
- [8] Wu, S., Hong, G., Xu, A., Zeng, H., Chen, X., Wang, Y., *et al.* (2023) Artificial Intelligence-Based Model for Lymph Node Metastases Detection on Whole Slide Images in Bladder Cancer: A Retrospective, Multicentre, Diagnostic Study. *The Lancet Oncology*, **24**, 360-370. [https://doi.org/10.1016/s1470-2045\(23\)00061-x](https://doi.org/10.1016/s1470-2045(23)00061-x)
- [9] Du, Y., Li, H., Sui, Y., Tao, Y., Cao, J., Jiang, X., *et al.* (2025) Habitat-Based Radiomic Model for Predicting Muscle Invasion in Bladder Cancer: A Multi-Center Study Using Enhanced-CT and Machine Learning. *Medical Physics*, **52**, e18021. <https://doi.org/10.1002/mp.18021>
- [10] Song, H., Yang, S., Yu, B., Li, N., Huang, Y., Sun, R., *et al.* (2023) CT-Based Deep Learning Radiomics Nomogram for the Prediction of Pathological Grade in Bladder Cancer: A Multicenter Study. *Cancer Imaging*, **23**, Article No. 89. <https://doi.org/10.1186/s40644-023-00609-z>
- [11] Lisson, C.G., Gallee, L., Müller, K., Manoj, S., Stöckl, H., Zengerling, F., *et al.* (2025) Machine Learning-Based Radiomics for Bladder Cancer Staging: Evaluating the Role of Imaging Timing in Differentiating T2 from T3 Disease. *Frontiers in Oncology*, **15**, Article 1591742. <https://doi.org/10.3389/fonc.2025.1591742>
- [12] Qureshi, T.A., Chen, X., Xie, Y., Murakami, K., Sakatani, T., Kita, Y., *et al.* (2023) MRI/RNA-Seq-Based Radiogenomics and Artificial Intelligence for More Accurate Staging of Muscle-Invasive Bladder Cancer. *International Journal of Molecular Sciences*, **25**, Article 88. <https://doi.org/10.3390/ijms25010088>
- [13] de Angelis, M., Pellegrino, F., Scilipoti, P., Shariat, S.F., Fujii, Y., Roupret, M., *et al.* (2025) PD37-06 Real-World Adoption and Impact of Neoadjuvant Chemotherapy on Survival Outcomes in Bladder Cancer: A 20-Year Follow-Up Multi-Center Study. *Journal of Urology*, **213**, e1338. <https://doi.org/10.1097/01.ju.000110188.58981.bc.06>
- [14] Contieri, R., Saita, A., Paciotti, M., Uleri, A., Avolio, P.P., Fasulo, V., *et al.* (2025) PD12-04 Evaluating Neoadjuvant Intravesical Mitomycin C in NMIBC: A Phase III Randomized Clinical Trial. *Journal of Urology*, **213**, e388. <https://doi.org/10.1097/01.ju.0001109848.08748.9e.04>
- [15] Chamie, K., Ballon-Landa, E., Daskivich, T.J., Bassett, J.C., Lai, J., Hanley, J.M., *et al.* (2015) Treatment and Survival in Patients with Recurrent High-Risk Non-Muscle-Invasive Bladder Cancer. *Urologic Oncology: Seminars and Original Investigations*, **33**, 20.e9-20.e17. <https://doi.org/10.1016/j.urolonc.2014.08.016>
- [16] Meng, L., Khorasanchi, A. and Jain, R. (2025) Advancing Bladder Cancer Management: The Role of Neoadjuvant and Adjuvant Therapies and Biomarkers in Muscle Invasive Bladder Cancer. *Current Treatment Options in Oncology*, **26**, 929-942. <https://doi.org/10.1007/s11864-025-01355-z>
- [17] Yu, J., Wu, S., Li, R., Jiang, Y., Zheng, J., Li, Z., *et al.* (2023) Novel ADCs and Combination Therapy in Urothelial Carcinoma: Latest Updates from the 2023 ASCO-GU Cancers Symposium. *Journal of Hematology & Oncology*, **16**, Article No. 85. <https://doi.org/10.1186/s13045-023-01475-9>
- [18] Hong, X., Chen, X., Wang, H., Xu, Q., Xiao, K., Zhang, Y., *et al.* (2023) A HER2-Targeted Antibody-Drug Conjugate, RC48-ADC, Exerted Promising Antitumor Efficacy and Safety with Intravesical Instillation in Preclinical Models of Bladder Cancer. *Advanced Science*, **10**, e2302377. <https://doi.org/10.1002/advs.202302377>
- [19] Liu, Z., Xing, L., Zhu, Y., Shi, P. and Deng, G. (2022) Association between TOP2A, RRM1, HER2, ERCC1 Expression and Response to Chemotherapy in Patients with Non-Muscle Invasive Bladder Cancer. *Heliyon*, **8**, e09643. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09643>
- [20] Park, K.J., Lee, J., Yoon, S., Heo, C., Park, B.W. and Kim, J.K. (2020) Radiomics-Based Prediction Model for Outcomes of PD-1/PD-L1 Immunotherapy in Metastatic Urothelial Carcinoma. *European Radiology*, **30**, 5392-5403. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06847-0>
- [21] Bai, Z., Osman, M., Brendel, M., Tangen, C.M., Flaig, T.W., Thompson, I.M., *et al.* (2025) Predicting Response to Neoadjuvant Chemotherapy in Muscle-Invasive Bladder Cancer via Interpretable Multimodal Deep Learning. *npj Digital Medicine*, **8**, Article No. 174. <https://doi.org/10.1038/s41746-025-01560-y>
- [22] Patel, A., Garcia, L.F., Mannella, V., Gammon, L., Borg, T., Maffucci, T., *et al.* (2020) Targeting P63 Upregulation Abrogates Resistance to MAPK Inhibitors in Melanoma. *Cancer Research*, **80**, 2676-2688. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.can-19-3230>
- [23] Wang, B., Gong, Z., Su, P., Zhen, G., Zeng, T. and Ye, Y. (2025) Multi-Machine Learning Model Based on Radiomics Features to Predict Prognosis of Muscle-Invasive Bladder Cancer. *BMC Cancer*, **25**, Article No. 1116. <https://doi.org/10.1186/s12885-025-14279-6>
- [24] Han, X., Guan, J., Guo, L., Jiao, Q., Wang, K., Hou, F., *et al.* (2025) A CT-Based Interpretable Deep Learning Signature for Predicting PD-L1 Expression in Bladder Cancer: A Two-Center Study. *Cancer Imaging*, **25**, Article No. 27. <https://doi.org/10.1186/s40644-025-00849-1>
- [25] Cao, Y., Zhu, H., Li, Z., Liu, C. and Ye, J. (2024) CT Image-Based Radiomic Analysis for Detecting PD-L1 Expression Status in Bladder Cancer Patients. *Academic Radiology*, **31**, 3678-3687. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2024.02.047>

-
- [26] Yu, R., Cai, L., Gong, Y., Sun, X., Li, K., Cao, Q., *et al.* (2024) MRI-Based Machine Learning Radiomics for Preoperative Assessment of Human Epidermal Growth Factor Receptor 2 Status in Urothelial Bladder Carcinoma. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, **60**, 2694-2704. <https://doi.org/10.1002/jmri.29342>
- [27] Peng, J., Tang, Z., Li, T., Pan, X., Feng, L. and Long, L. (2024) Contrast-Enhanced Computed Tomography-Based Radiomics Nomogram for Predicting HER2 Status in Urothelial Bladder Carcinoma. *Frontiers in Oncology*, **14**, Article 1427122. <https://doi.org/10.3389/fonc.2024.1427122>
- [28] Jiao, P., Yang, R., Liu, Y., Fu, S., Weng, X., Chen, Z., *et al.* (2024) Deep Learning-Based Computed Tomography Urography Image Analysis for Prediction of HER2 Status in Bladder Cancer. *Journal of Cancer*, **15**, 6336-6344. <https://doi.org/10.7150/jca.101296>
- [29] Arita, Y., Kwee, T.C., Akin, O., Shigeta, K., Paudyal, R., Roest, C., *et al.* (2025) Multiparametric MRI and Artificial Intelligence in Predicting and Monitoring Treatment Response in Bladder Cancer. *Insights into Imaging*, **16**, Article No. 7. <https://doi.org/10.1186/s13244-024-01884-5>
- [30] Kocak, B., Baessler, B., Bakas, S., Cuocolo, R., Fedorov, A., Maier-Hein, L., *et al.* (2023) Checklist for Evaluation of Radiomics Research (CLEAR): A Step-by-Step Reporting Guideline for Authors and Reviewers Endorsed by ESR and EuSoMI. *Insights into Imaging*, **14**, Article No. 75. <https://doi.org/10.1186/s13244-023-01415-8>
- [31] Whybra, P., Zwanenburg, A., Andrearczyk, V., Schaer, R., Apte, A.P., Ayotte, A., *et al.* (2024) The Image Biomarker Standardization Initiative: Standardized Convolutional Filters for Reproducible Radiomics and Enhanced Clinical Insights. *Radiology*, **310**, e231319. <https://doi.org/10.1148/radiol.231319>