

人工智能视野下病理学创新教学的发展研究

余鸿雁, 王溪阳, 李静雅, 陈峰远, 王亚东, 胡 敏*

安徽中医药大学中西医结合学院病理学教研室, 安徽 合肥

收稿日期: 2025年12月1日; 录用日期: 2025年12月28日; 发布日期: 2026年1月5日

摘要

人工智能(Artificial Intelligence, AI)正成为病理学教学改革的重要驱动力。本文梳理了数字病理与虚拟显微(WSI/VM)、虚拟现实与增强现实(VR/AR)、计算病理与可解释人工智能(XAI)、大语言模型(LLMs)等在病理学教育中的应用进展及相关质量与合规要求,指出其在突破玻片与课堂时空限制、提升形态学识别能力和临床思维、支撑个性化学习与形成性评价等方面的优势。在此基础上,提出以“人工智能+病理学”为核心的分层课程体系,倡导将VR/AR与虚拟显微深度融入课堂教学,构建过程性、能力性与创新性相结合的多元评价机制,并组建跨学科协同教学团队,推动教学范式由“知识传授”向“能力培养”转变。与此同时,本文分析了技术适配、资源不均衡、伦理与隐私保护以及教师角色转变等现实挑战,认为需在政策引导、资源共享与师资培训等方面持续发力,促进人工智能在病理学教学中的规范化与深度融合。

关键词

人工智能, 病理学教学, 课程改革

Research on the Development of Innovative Pathology Teaching from the Perspective of Artificial Intelligence

Hongyan Yu, Xiyang Wang, Jingya Li, Fengyuan Chen, Yadong Wang, Min Hu*

Department of Pathology, School of Integrated Chinese and Western Medicine, Anhui University of Chinese Medicine, Hefei Anhui

Received: December 1, 2025; accepted: December 28, 2025; published: January 5, 2026

Abstract

Artificial intelligence (AI) is becoming a key driver of innovation in pathology education. This article

*通讯作者。

reviews the current applications of digital pathology and virtual microscopy, immersive virtual and augmented reality (VR/AR), computational pathology with explainable AI, and large language models (LLMs) in pathology teaching, together with emerging requirements for data security and quality assurance. These technologies help overcome constraints related to slide resources, time and space, enhance students' abilities in morphological recognition and mechanism understanding, and support personalized learning as well as formative assessment. Building on this, we propose an AI-enhanced pathology curriculum framework that integrates basic, advanced and extended training modules, promotes the deep integration of VR/AR and virtual microscopy into classroom teaching, and develops a multidimensional assessment system combining process-, competence- and innovation-oriented evaluations. We further advocate the construction of interdisciplinary teaching teams involving experts in pathology, artificial intelligence, computer science and education to foster collaborative curriculum design. At the same time, the article highlights major challenges, including mismatches between educational needs and existing clinical AI tools, unequal access to digital infrastructure, ethical and privacy concerns, and the transformation of teachers' roles. Continuous efforts in policy support, resource sharing and faculty development are required to achieve responsible and in-depth integration of AI into pathology education and to facilitate a shift from knowledge transmission to competency-based training.

Keywords

Artificial Intelligence, Pathology Education, Curriculum Reform

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. 引言与人工智能概述

人工智能(Artificial Intelligence, AI)作为新一轮科技革命与教育改革的重要推动力,正在逐步改变医学教育的理念与实践。其技术核心包括机器学习、深度学习、自然语言处理以及VR/AR等[1],可实现对复杂信息的智能化处理与知识的高效传递。在医学教育领域, AI不仅能够辅助知识的精准获取,还能通过虚拟仿真、个性化推送等方式优化教学模式[2]。

病理学是连接基础医学与临床医学的桥梁,内容涉及大量形态学知识和疾病发生发展的动态机制,教学任务繁重。传统教学高度依赖玻片与光学显微镜,受制于标本数量、观察条件与课堂时长,学生的学习机会与效果存在差异。AI的引入能够提供高通量的切片数据访问与分析、智能化资源推送和虚拟仿真实验支持,从而缓解“资源-时空-反馈”的瓶颈,提升教学的可及性与一致性[3][4]。在此背景下,如何在坚守病理学核心训练目标的前提下,利用AI重构课程结构、优化评价方式,并形成可复制、可推广的实施蓝图,成为值得深入探讨的重要议题。

2. AI 在病理学教学中的应用与研究现状

2.1. 数字病理与虚拟显微(Whole Slide Imaging/Virtual Microscopy, WSI/VM)

把玻片做成全视野数字切片后,学生和老师可以像打开地图一样,随时随地放大、缩小、定位观察。这样不仅大幅提高了切片获取与反复观摩的便利性,也便于开展线上或混合式教学,并用统一题库与评分标准做更客观的考核[5][6]。国内的教学实践也表明,虚拟显微有助于提升课堂效率并加强质量控制(如进度监测、误判纠错等)[7][8]。

2.2. 沉浸式技术(虚拟现实与增强现实(Virtual/Augmented Reality, VR/AR)技术)与混合式实施

VR/AR 可以把二维切片背后的三维组织结构和疾病演变过程直观呈现出来。多项研究显示, 把 VR/AR 与数字切片搭配使用的混合式教学, 能显著提高学生的投入度与理解深度, 尤其适合讲解肿瘤微环境、肝纤维化进展、肾小球病变谱系等需要“看结构、懂过程”的内容[8] [9]。

2.3. 计算病理与可解释 AI (Explainable AI, XAI)

深度学习已广泛用于病理图像的分割、分级与预后预测。配合可解释方法(如热力图), 可以直观看到模型“关注了哪里”, 并与经典病理特征一一对应, 帮助学生建立“证据链”意识, 学会发现错误并分析原因。同时也需看到现实难点: 如标注成本高、跨医院泛化不足、染色差异对模型稳定性的影响等[10] [11]。

2.4. 大语言模型(Large Language Models, LLMs)与医学/中医药教育

LLMs 大语言模型可作为“智能助教”, 用于个性化答疑、案例改写、形成性反馈和学习路径建议[12] [13]。但它可能出现“编造”或给出不当建议, 因此必须人工把关、保留操作记录并适时抽查。国内对医学生使用生成式 AI 的调研总体持积极态度, 同时强调伦理与隐私合规是推广应用的前提[14] [15]。

2.5. 规范与质量保障

我国已发布相关质量控制指标与应用指南, 为在教学中引入数字病理与 AI 提供了明确的合规要求, 核心包括: 去标识化处理、分级授权访问、操作日志审计与全流程留痕[16]。院校在实际推进时, 应同步建立标准流程与教师培训, 确保数据安全与教学可追溯。

2.6. 综合评估与国际经验借鉴

总体来看, 前述几类 AI 技术在病理学教学中的应用, 推动了资源获取方式和课堂形态的变革, 但现有研究仍更多停留在“工具导入”和短期效果报告层面。一方面, 不少实践样本量小、来源单一, 随访时间较短, 评价指标偏重满意度、自评能力或单次考试成绩, 对诊断思维发展、证据链构建能力以及职业素养养成等长期指标关注不足[17]; 另一方面, 部分研究强调“某一 AI 工具提升了学生兴趣”“提高了课堂效率”, 却较少反思学习目标是否随之调整、教学活动能否形成闭环、教师角色与工作负担发生了怎样的变化, 对“无显著差异”甚至“效果不理想”的结果也缺乏公开讨论[2]-[4] [8]。

从国际经验看, 一些国外医学院已尝试将 AI 更深度嵌入病理学课程体系。例如, 北美的医学院将全视野数字切片与 AI 判读平台整合为“虚拟实验室”, 在同一学习目标框架中同时强调“独立完成形态学描述”“解释 AI 热力图与经典病理特征的一致与不一致”“在报告中区分个人判断与 AI 建议”, 并通过设置“禁止使用 AI”和“允许使用 AI”两类任务, 引导学生形成理性的技术使用观[5] [6] [18]。欧洲奥卢大学医学院则依托国家级数字病理平台和多中心病例库, 将 AI 相关能力以“核心能力单元”的形式贯穿于从本科到住培的连续培养体系中, 尤其重视学生在真实情境下利用 AI 进行协作诊断、反思与沟通的能力[19]。

与之相比, 国内病理学教学在 AI 应用方面仍以“局部课堂创新”和“平台试点”为主, 在课程整体设计、评价标准构建、多中心协作和制度保障等层面仍有提升空间[20]。这提示后续研究有必要从“列举 AI 能做什么”转向“在怎样的课程结构与治理框架下, 让 AI 真正服务于学生能力发展”, 并在本土情境下形成可复制、可推广的实施路径。

3. 人工智能时代背景下病理学创新教学的思考

3.1. 应用虚拟现实技术辅助教学

VR/AR 技术能够将抽象的病理切片、复杂的三维结构转化为直观可感的学习对象。借助虚拟显微镜

系统，学生可以突破时空限制，反复观察典型病理标本，提升形态学识别能力。同时，VR 场景可模拟疾病发生发展的动态过程，帮助学生理解病理变化的因果链条，弥补传统静态切片教学的不足[9] [21]。例如在肝脏病理学教学中引入虚拟现实平台，构建“肝小叶 - 纤维间隔 - 再生结节”三维演变场景，让学生在虚拟空间中观察由慢性肝炎到肝纤维化直至肝硬化的结构重构过程，从而突破单张切片难以呈现整体形态与血流重布的局限性。

3.2. 构建“人工智能 + 病理学”为核心课程培养体系

传统病理学课程多以知识点堆砌为主，缺乏系统性与前沿性[4]。在 AI 技术加持下，有必要构建以“人工智能 + 病理学”为核心的分层课程体系，使 AI 与学习目标和能力结构相匹配，而非简单“附着”在既有课程之上。

在整体框架上，可将课程分为三个层面：**基础层面**面向全体学生，结合虚拟显微和基础 AI 辅助识别软件，突出常见疾病的典型形态学特征与规范诊断术语，通过 AI 辅助标注与即时反馈提升观察的系统性与准确性；**进阶层面**结合系统病理与专题教学，引入计算病理、XAI 示例和病例大数据分析，引导学生在“病例 - 影像 - 病理 - 机制”之间建立联系，训练证据链思维与差异诊断能力；**拓展层面**则通过选修模块、科研训练或综合实习，为有兴趣的学生提供接触真实数字病理平台、深度学习模型和多模态医学数据的机会，鼓励其参与小型课题或跨学科项目，培养在数字病理与计算病理方向的创新能力。

以“肝纤维化进展与肝硬化形态学判读”模块为例，具体实施时可围绕“知识与理解 - 技能与思维 - AI 素养与态度”三类目标展开：在知识层面明确纤维化与硬化的病因、阶段及关键结构改变；在技能层面要求学生在 WSI 平台上独立完成多例肝组织切片的分期与判断，并以“证据链”形式解释其结论；在 AI 素养层面则强调区分个人判断与 AI 提示，分析 AI 自动分割纤维隔、再生结节等结果的优劣与适用边界。相应的课前预习、课堂探究和课后反思均可在 WSI 平台、VR/AR 资源和 LLM 等工具支持下进行，形成“学习目标 - 教学活动 - 技术支持”三者一致的模块化设计，为“人工智能 + 病理学”课程体系的落地提供可操作样例。

3.3. 完善考核评价机制，促进教学效果的提升

在 AI 环境下，传统单一的闭卷考试已难以全面反映学生的学习质量。应立足分层课程目标，构建与之相匹配的多元评价体系，在“学什么”“怎么学”与“怎么评”之间建立内在一致性。

评价体系可从三个维度设计：一是**过程性评价**，利用学习平台记录学生的学习轨迹(如登录时长、WSI 浏览与标注行为、在线讨论参与度)，结合课前导学任务与课堂表现，形成对学习投入与学习策略的综合画像；二是**能力性评价**，通过 AI 辅助的切片判读、病例分析与结构化报告任务，重点考察学生在拟真情境中运用知识解决问题的能力。例如在“肝纤维化进展与肝硬化形态学判读”模块中，可设置同时包含“禁止使用 AI”的 OSCE (Objective Structured Clinical Examination, 客观结构化临床考试)式切片站点和“允许使用 AI”的人机协同病例分析任务，比较两类任务下学生的表现，以评价其独立判断能力与合理使用 AI 的能力；三是**创新性评价**，对学生在虚拟仿真平台完成的自主探索项目、跨学科课题或 AI 工具改进建议等予以适当权重，鼓励其在安全和伦理边界内进行创新尝试。

在具体操作上，可给出示范性权重结构，如：过程性评价 30%，能力性评价 50%，创新性评价 20%。在评分指标中，既关注“能否正确识别关键形态特征”“能否构建完整证据链”，也强调“能否清晰标注 AI 建议与个人判断的边界”“能否合理指出 AI 可能出错的环节”等，并设置专门的“AI 素养”维度，考察学生对 AI 输出的审慎态度、信息核实意识以及隐私和学术诚信意识，防止形成对技术的盲目信赖。通过这样的多元评价设计，才能真正支撑 AI 赋能下病理学教学由“结果导向”走向“过程 - 能力 - 素养”协同发展。

3.4. 引进和培育多元化协同创新的病理学教学团队

AI 与病理学的深度融合，需要跨学科的团队支持。教学团队不仅应由病理学教师组成，还需吸纳人工智能、计算机科学、教育学等领域专家，共同打造“跨界 + 融合”的教学生态。同时，鼓励青年教师通过师资培训与国内外交流，提升 AI 工具使用能力，逐步形成以“病理学知识 + 人工智能技术 + 教育学方法”为特征的复合型教师团队。

4. 人工智能在病理学教学中面临的问题

尽管人工智能在病理学教学中展现出广阔前景，但仍存在诸多挑战[4]：

技术适配问题：技术适配度不足构成首要瓶颈，现有 AI 病理工具多以临床诊断为设计目标，强调分割、分级与预后预测等性能指标，而课堂更关注“能力本位”的学习成效，如证据链构建、可解释性理解与误差归因能力。再叠加全视野数字切片数据量大、终端异质与网络波动等客观条件，易出现加载迟滞、标注不畅与可视化延迟，进而打断“观察 - 思考 - 讨论”的教学节奏，削弱学生的专注与参与；

资源不均衡问题：并非所有院校都具备高端扫描、稳定带宽与充足算力，实践环节因硬件与平台门槛被动“弱化”为演示，学生难以完成从数据到结论的完整学习闭环；

伦理与隐私问题：在应用真实病理图像与病例数据时，如何平衡教学应用与患者隐私保护仍需制度规范。真实切片与病例的使用必须满足去标识化、权限分级、访问审计与全流程留痕的制度化约束。生成式 AI 一旦进入作业与评价环节，还需明确边界与流程以维护学术诚信，例如明确禁止将真实病例信息输入公共模型、要求学生在报告中注明使用过的 AI 工具及其作用范围等；

教师角色转变问题：AI 能帮忙判读和做出反馈，但不会替代教学设计本身。教师需要从“知识传授者”向“学习引导者”转变，这对传统教学思维模式提出了较大挑战。

5. 结语

人工智能的引入为病理学教学注入了新的活力与契机。通过虚拟现实的直观呈现、以“人工智能 + 病理学”为核心的分层课程体系、多元考核机制的构建以及跨学科协同团队的建设，病理学教学能够实现从“知识传授”向“能力培养”的转变。本文在梳理 AI 在病理学教学中主要应用形态及其现实困境的基础上，尝试提供一个包含课程分层设计、模块化教学大纲样例与多元评价蓝图在内的实施路径，以期为后续实践提供可操作的参考。

然而，要真正实现这一目标，还需正视技术、资源、伦理和角色转变等多重挑战。在未来工作中，一方面应在更大样本和多中心协作的基础上，构建兼顾知识掌握、诊断思维、AI 素养以及价值观发展的综合评价指标和数据分析框架，避免仅以单次考试成绩作为唯一成效指标；另一方面，需要在院校和政策层面持续完善数据安全与隐私保护机制，优化技术与人力资源配置，鼓励教师从“技术使用者”逐步转型为“学习设计者”和“人机协同的引导者”。通过持续实践和迭代优化，人工智能有望在病理学教学中发挥更大价值，推动人才培养模式从单一的“知识传授”迈向“知识 - 能力 - 价值”一体化发展。

基金项目

- 1) 安徽省质量工程项目：病理学教学创新团队(2024cxtd063)。
- 2) 安徽省质量工程项目：病理学“AI + 教育”课程(2024aijy151)。

参考文献

- [1] 李玉晓. 人工智能技术在融合媒体系统中的研究与应用[J]. 广播电视信息, 2023, 30(6): 54-56.

- [2] Sriram, A., Ramachandran, K. and Krishnamoorthy, S. (2025) Artificial Intelligence in Medical Education: Transforming Learning and Practice. *Cureus*, **17**, e80852. <https://doi.org/10.7759/cureus.80852>
- [3] 杜江, 赵金铭. DeepSeek 赋能病理学教学改革探索[J]. 中国医学教育技术, 2025, 39(5): 568-572.
- [4] 马春辉, 李洋. 人工智能背景下关于病理学教学的探讨[J]. 继续医学教育, 2025, 39(3): 130-133.
- [5] Hassell, L.A., Absar, S.F., Chauhan, C., Dintzis, S., Farver, C.F., Fathima, S., et al. (2023) Pathology Education Powered by Virtual and Digital Transformation: Now and the Future. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, **147**, 474-491. <https://doi.org/10.5858/arpa.2021-0473-ra>
- [6] Evans, A.J., Depeiza, N., Allen, S., Fraser, K., Shirley, S. and Chetty, R. (2021) Use of Whole Slide Imaging (WSI) for Distance Teaching. *Journal of Clinical Pathology*, **74**, 425-428. <https://doi.org/10.1136/jclinpath-2020-206763>
- [7] 姚建国. 数字病理临床应用现状及前景展望[J]. 四川大学学报(医学版), 2021, 52(2): 156-161.
- [8] 刘一雄, 马静, 范林妮. 数字媒体技术在心血管系统病理教学中的应用[J]. 心脏杂志, 2023, 35(5): 609-612.
- [9] 石晓卫, 苑慧, 吕茗萱, 等. 虚拟现实技术在医学领域的研究现状与进展[J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(1): 66-75.
- [10] 吕超逸, 谢元, 邱露, 等. 综述: 深度学习在数字病理图像中的应用[J]. 中国医疗器械杂志, 2025, 49(3): 237-243.
- [11] Manz, R., Bäcker, J., Cramer, S., Meyer, P., Müller, D., Muzalyova, A., et al. (2025) Do Explainable AI (XAI) Methods Improve the Acceptance of AI in Clinical Practice? An Evaluation of XAI Methods on Gleason Grading. *The Journal of Pathology: Clinical Research*, **11**, e70023. <https://doi.org/10.1002/2056-4538.70023>
- [12] 肖建力, 许东舟, 王浩, 等. 医疗领域的大型语言模型综述[J]. 智能系统学报, 2025, 20(3): 530-547.
- [13] Lucas, H.C., Upperman, J.S. and Robinson, J.R. (2024) A Systematic Review of Large Language Models and Their Implications in Medical Education. *Medical Education*, **58**, 1276-1285. <https://doi.org/10.1111/medu.15402>
- [14] 李志强, 王雪峰, 曹凤, 等. 生成式人工智能在中医药学教育中的应用与挑战[J]. 医学新知, 2024, 34(10): 1191-1198.
- [15] 袁志怡, 裴志怡, 林佳艺, 等. 医学生对生成式人工智能融入医学教育的认知[J]. 医学与哲学, 2025, 46(14): 52-57.
- [16] 本刊讯. 国家卫生健康委办公厅印发急诊医学等 6 个专业医疗质量控制指标(2024 年版) [J]. 上海护理, 2024, 24(6): 20.
- [17] 宋国利, 陈杰. 病理图像分析的深度学习方法研究综述[J]. 中国科学基金, 2022, 36(2): 225-234.
- [18] Cecchini, M.J., Borowitz, M.J., Glassy, E.F., Gullapalli, R.R., Hart, S.N., Hassell, L.A., et al. (2024) Harnessing the Power of Generative Artificial Intelligence in Pathology Education: Opportunities, Challenges, and Future Directions. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, **149**, 142-151. <https://doi.org/10.5858/arpa.2024-0187-ra>
- [19] Yli-Hallila, A., Bankhead, P., Arends, M.J., Lehenkari, P. and Palosaari, S. (2024) Qupath Edu and Openmicroanatomy: Open-Source Virtual Microscopy Tools for Medical Education. *Journal of Anatomy*, **246**, 846-856. <https://doi.org/10.1111/joa.14172>
- [20] 陈晓红, 刘浏, 牛雅娟, 等. 数智病理平台构建及服务模式研究[J]. 中国工程科学, 2025, 27(2): 304-314.
- [21] 危晓莉, 姚根有, 周韧, 等. 虚拟显微镜技术在病理学中的应用[J]. 基础医学与临床, 2012, 32(7): 847-849.