

# 人工智能辅助消化内镜在胃癌早期诊断中的应用和挑战\*

王毓龙<sup>1,2</sup> 王潇<sup>2</sup> 综述 赵贵君<sup>2</sup> 审校

(1. 内蒙古医科大学研究生院, 内蒙古 呼和浩特 010110;

2. 内蒙古自治区人民医院内镜中心·内蒙古自治区内镜消化疾病重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010017)

**【摘要】** 胃癌的早期诊断对提高患者生存率至关重要。然而, 传统内镜检查在特异度和灵敏度上的限制, 导致误诊和漏诊风险存在。基于卷积神经网络(CNN)的人工智能(AI)技术的发展为提升内镜检查的准确性提供了新途径。本文系统综述了 CNN 的原理, 以及计算机辅助检测(CADe)、计算机辅助诊治(CADx)和计算机辅助质量评估(CADq)系统在胃癌早期病变检测、诊断和质量评估方面的应用和挑战, 为 AI 辅助消化内镜在胃癌早期诊断中的广泛应用奠定了基础, 对于减少临床实践中的漏诊和误诊具有重要意义。

**【关键词】** 人工智能; 卷积神经网络; 胃癌; 内镜

**【中图分类号】** R735.2 **【文献标志码】** A **DOI:**10.3969/j.issn.1672-3511.2025.11.026

## The application and challenges of AI-assisted gastrointestinal endoscopy in the early diagnosis of gastric cancer

WANG Yulong<sup>1,2</sup>, WANG Xiao<sup>2</sup> reviewing ZHAO Guijun<sup>2</sup> checking

(1. Graduate School, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, China;

2. Endoscopy Center, Inner Mongolia People's Hospital, Inner Mongolia Key Laboratory of Endoscopic Gastrointestinal Diseases, Hohhot 010017, China)

**【Abstract】** Early diagnosis of gastric cancer is crucial for improving patient survival rates. However, the limitations of traditional endoscopy in specificity and sensitivity contribute to the risks of misdiagnosis and missed diagnoses. The development of artificial intelligence (AI) technology based on convolutional neural networks (CNN) offers new approaches to enhancing the accuracy of endoscopic examinations. This paper systematically reviews the principles of CNNs and the application and challenges of computer-aided detection (CADe), computer-aided diagnosis (CADx), and computer-aided quality assessment (CADq) systems in the detection, diagnosis, and quality evaluation of early gastric cancer lesions. This lays the foundation for the widespread use of AI-assisted endoscopy in the early diagnosis of gastric cancer, with significant implications for reducing missed and misdiagnosed cases in clinical practice.

**【Key words】** Artificial intelligence; Convolutional neural network; Gastric cancer; Endoscopy

胃癌是原发于胃的上皮源性恶性肿瘤, 是全球最常见的恶性肿瘤之一和第三大恶性肿瘤死因。虽然目前胃癌的发病率呈下降趋势, 但是在亚洲某些地区尤其是东亚胃癌的发病率仍居高不下<sup>[1]</sup>。世界卫生组织数据显示, 2020 年我国胃癌新发病例为 47.9 万例, 死亡病例为 37.4 万例, 占全球新发病例

44%, 死亡病例 48.6%<sup>[1]</sup>。由于胃癌的早期症状不明显, 大多数患者确诊时已处于晚期, 生存期通常不足 1 年, 导致晚期胃癌患者的 5 年生存率低于 20%<sup>[2]</sup>, 严重威胁患者的生命健康。相反, 早期胃癌(IA 期)患者 5 年生存率高达 91.5%<sup>[2]</sup>。因此, 早发现、早诊断、早治疗是提高胃癌患者生存率和改善预后的重要原则。内镜作为胃癌临床诊断的金标准<sup>[3]</sup>, 已经形成普通白光内镜(White light imaging, WLI)发现病灶, 窄带内镜(Narrow band imaging, NBI)结合放大内镜明确病灶性质、活检定性的规范化诊断流程, 但早期胃癌漏诊风险依然很高<sup>[4-5]</sup>。随着我国胃癌发病率和死亡率逐年上升, 如何提高早期胃癌及癌前病变检出率是一个亟需解决的问题。近年来, 人工智能(Arti-

基金项目: 国家自然科学基金项目(81960539)

通信作者: 赵贵君, E-mail: cnzhaoguijun@163.com

引用本文: 王毓龙, 王潇, 赵贵君. 人工智能辅助消化内镜在胃癌早期诊断中的应用和挑战[J]. 西部医学, 2025, 37(11): 1709-1712. DOI: 10.3969/j.issn.1672-3511.2025.11.026

ficial intelligence, AI技术在消化内镜诊断中的应用已经显示出巨大潜力。AI与消化内镜技术相结合辅助内镜医师快速、准确地发现、诊断早期胃癌或癌前病变,已经成为临床关注的热点<sup>[6]</sup>。

## 1 AI 原理

AI概念首次在1956年的达特茅斯会议中被提出,经历了机器学习、深度学习等阶段<sup>[7]</sup>。卷积神经网络(Convolutional neural network, CNN)作为一种深度学习架构,在图像识别、目标检测和图像分割等任务中表现极为出色<sup>[8-10]</sup>。CNN以层次递进的方式从输入数据中提取多层次的抽象特征,从低级到高级逐层加工,以提高对复杂数据的准确分类,广泛用于疾病特征的检测,有助于快速、准确、高效地识别并诊断疾病。CNN的主要结构包括卷积层、池化层和全连接层<sup>[11-13]</sup>。卷积层包含卷积核,是一种特殊的滤波器,可以捕获图像中某些特定特征的分布情况。将这些特征组合和抽象,就可以使卷积层产生深度学习模型可以理解的更高级别的特征。池化层通常位于两个卷积层之间,通过减小特征图的分辨率来实现特征的空间不变性,包括最大池化和平均池化两种常见方法。最大池化对于图像纹理的提取效果较为突出,而平均池化则更适用于图像背景的提取。全连接层通过调整权重实现对抽象特征的分类,将最终学到的特征映射到输出类别空间<sup>[14]</sup>。基于CNN的深度学习原理,机器自动提取并识别早期胃癌或癌前病变的内镜特征,再将这些特征输入到CNN算法中,可以实现在内镜检查中瞬时输出具有病变的部位,从而实现实时检测病变。

## 2 AI在消化内镜中的应用进展

消化内镜检查产生大量的内镜图像和视频,为AI在消化内镜中的应用奠定了坚实的基础。目前,AI在消化内镜上的应用主要围绕计算机辅助检测(Computer-aided detection, CADe)、计算机辅助诊治(Computer-aided diagnosis, CADx)和计算机辅助质量评估(Computer-aided quality assessment, CADq)三个层面,具有实时检测、勾勒病变部位,预测病变性质及组织病理学特征,评估内镜检查质量的作用<sup>[15-16]</sup>,并在临床实践应用中得到验证和优化。

2.1 胃镜检查下的CADe系统 CADe系统应用于胃癌的检测取得了显著进展。Hirasawa等<sup>[17]</sup>于2018年首次报道了基于AI的CADe系统检测胃癌,该系统训练了13 584张高分辨率胃癌内镜静态图像,经过独立验证集验证,显示出92.2%的灵敏度。随后,Ishioka等<sup>[18]</sup>使用68个胃癌的内镜视频进一步验证了该系统的性能,其对视频的灵敏度达到94.1%,与静止的内镜图像相当。Ikenoyama等<sup>[19]</sup>进一步回顾性分析内镜医师与CADe系统在检测胃癌方面的性能,结果显示CADe系统的灵敏度(58.4%)高于内镜医师(31.9%),但特异性(87.3% vs 97.2%)和阳性预测值(26.0% vs 46.2%)却较低。可见,CADe系统在胃早癌及癌前病变筛查中,表现出了较好的灵敏度,但特异性相对较低。Hirasawa等<sup>[17]</sup>研究特异性仅为30.6%,主要由于该系统在检测胃溃疡时将其误诊为胃癌,导致假阳性产生。因此,Namikawa等<sup>[20]</sup>使用13 584张胃癌内镜图像和4 453张胃溃疡内镜图像对CADe系统进行了优化训练,以提高其特异性。将优化后的模型在739张胃癌和720张

胃溃疡图像上验证,特异性提高到99.0%,灵敏度保持在93.3%。多项前瞻性研究也比较了CADe系统与内镜医师在检测胃癌方面的表现。Wu等<sup>[21]</sup>实施一项单中心、随机对照研究,比较了常规内镜与团队研发的ENDOANGEL辅助内镜对胃癌的检测,显示ENDOANGEL辅助内镜组的胃癌漏诊率显著低于常规内镜组,表明AI辅助内镜可以减少一部分胃癌漏诊。Luo等<sup>[22]</sup>研发了名为“GRAIDS”的CADe系统,多中心研究验证胃癌检测准确率为92.7%,同时发现GRAIDS的诊断敏感性与专家内镜医师相似(94.2% vs 94.5%),且高于普通内镜医师(85.8%)和见习内镜医师(72.2%)。在胃癌检测方面,CADe系统展现出了与内镜专家相媲美的检测能力,甚至超过普通内镜医师。随着CADe系统不断成熟和广泛应用,无论内镜医师水平如何,这些系统都将显著提高胃癌检出率,从而减少漏诊风险。若是应用于基层医疗机构,CADe系统有望成为弥补医师技术差距的重要工具,推动胃癌早期筛查。

2.2 胃镜检查下的CADx系统 当检测到胃病后,还需要将其区分为癌性和非癌性。图像增强技术和放大内镜通过高对比度显示胃黏膜的微观结构和微血管有助于发现并区分早期病变<sup>[23]</sup>。随着这些技术的发展,用于区分癌性或非癌性病变的CADx系统也被开发出来。Ueyama等<sup>[24]</sup>基于放大窄带成像内镜(Narrow band imaging, NBI)图像建立了CADx系统,对胃癌诊断的灵敏度为98%,特异性为100%,提高了早期胃癌诊断准确性。Horiuchi等<sup>[25]</sup>报道了其CADx系统在放大NBI静止图像上检测胃癌的灵敏度为91.18%,特异性为90.64%,并进一步在174个放大NBI视频验证了CADx系统,其敏感性为87.4%,特异性为82.8%,表明该系统可用于胃镜检查期间的实时诊断。此外,该研究团队将此系统的表现和专家内镜医师进行了对比,两者在诊断上表现相当<sup>[26]</sup>。Hu等<sup>[27]</sup>研究也表明CADx系统的诊断准确性与专家内镜医师相似,但使用CADx系统的专家内镜医师在灵敏度(76.7% vs 87.4%)和阴性预测值(74.5% vs 83.6%)方面具有更优的表现。这表明CADx系统不仅可以使普通内镜医师受益,也可以使专家内镜医师受益。此外,AI还被报道用于区分胃癌以外的其他病变,Yuan等<sup>[28]</sup>开发的CADx系统训练29 809张包含多种病变的内镜图像,并对1 579张图像进行测试,系统能将病变分为早期胃癌、晚期胃癌、粘膜下肿物、息肉、溃疡、糜烂和正常粘膜,总体准确率为85.7%,与专家内镜医师(85.1%)相当。Nam等<sup>[29]</sup>研究报道了一个多步骤的AI模型,不但可以从内镜图像中检测胃病变,还能进一步将其分为胃溃疡、早期胃癌或晚期胃癌,最后预测早期癌组织浸润深度(T1a/T1b)。此外,一项关于胃癌及癌前病变的研究将病变分为低级别上皮内瘤变、高级别上皮内瘤变、早期胃癌以及晚期胃癌,研究显示在分类胃癌及癌前病变方面,AI的诊断性能与专家内镜医师相当<sup>[30]</sup>。CADx系统作为内镜辅助工具,能够区分癌性和非癌性病变,预测癌组织的浸润深度,不仅帮助内镜医师减少误诊,提高胃癌诊断的准确性,还能提供即时的决策支持,有助于胃癌的早期诊断和治疗,提高患者预后效果。

2.3 胃镜检查下的CADq系统 CADe与CADx系统的功能主要集中在检测和区分胃部病变,但这依赖于对胃的各个解剖

部位都能进行细致观察。针对上述问题, Wu 等<sup>[31]</sup>开发了一种名为“WISENSE”的 CADq 系统, 该系统学习 24 549 张胃不同部位的正常图像。通过单中心、随机对照试验评估“WISENSE”系统的性能, 发现 AI 辅助组的盲点率明显低于传统内镜组 (5.86% vs 22.46%,  $P < 0.001$ )<sup>[32]</sup>。而在另一项多中心、随机对照试验中评估了 ENDOANGEL 系统, 此系统具有检测胃癌和癌前病变及上消化道的解剖部位的功能, 使用了该系统辅助组的盲点率明显低于传统内镜组 (5.35% vs 9.82%,  $P < 0.001$ ), 但检查时间长于传统内镜组 (5.40 min vs 4.38 min,  $P < 0.001$ )<sup>[33]</sup>。同样, Li 等<sup>[34]</sup>开发的“IDEA”系统能够根据观察到的胃部位进行评分, 评分越高, 盲点率越低。使用 IDEA 开展的多中心前瞻性研究结果显示, IDEA 的内镜检查操作评分输出与胃早癌及癌前病变检出率显著相关, 表明 AI 辅助可以提高内镜检查质量。由此可见, AI 也可用于内镜检查的质量控制。虽然延长了内镜检查时间, 却使盲点的发生降低, 帮助内镜医师减少漏诊, 从而进一步提高胃早期病变的检出。

### 3 临床实践中的挑战

尽管 AI 在胃癌的早期检测、实时诊断和内镜检查质量控制方面取得了显著进展, 但其在临床实践中仍然面临一系列挑战<sup>[35]</sup>。首先, AI 辅助系统能够显著提高内镜检查的灵敏度, 减少漏诊率, 但随之带来的一个显著问题就是过度诊断<sup>[36]</sup>。这不仅增加了患者接受不必要检查和治疗的危险, 也可能造成医疗资源的浪费。其次, AI 系统在区分癌性与非癌性病变时, 由于受到训练图像质量不佳、模型泛化能力不足以及内镜图像中噪声干扰等因素的影响, 特异度和阴性预测值较低, 最终导致误诊和漏诊<sup>[37]</sup>。此外, AI 在胃镜检查中的应用还需要考虑内镜医师的角色和作用<sup>[38]</sup>。如果过度依赖 AI 可能导致内镜医师在面对复杂或模糊的临床情境时缺乏必要的判断力和独立思考能力, 削弱医师的临床决策能力。为了更好地克服这些挑战, AI 技术需要通过更多的大规模临床研究来验证和优化, 以降低误诊和过度诊断的风险。在实际临床应用中, 医师应保持对 AI 辅助系统的合理期望, 避免完全依赖 AI, 而是将其作为一种辅助工具, 做出更加精准和个性化的治疗决策。

### 4 小结与展望

本文综述了 AI 在胃癌及癌前病变诊断中的应用及发展前景。大多数 AI 系统基于专家内镜医师标注的图像进行训练, 显示出在某些特定情况下超越内镜医师的潜力。将这些 AI 技术应用于临床中的实时检测不仅有助于提高早期胃癌和癌前病变的发现和诊断, 还能为选择合适的治疗方法提供支持。尽管 AI 有望缩小新手与专家之间的差距, 并在复杂病例中提供帮助, 但合理利用 AI 并规避其潜在风险至关重要。未来应通过进一步优化 AI 系统, 并结合内镜医师的临床经验, 以提升诊断与治疗的整体水平。同时需要更多前瞻性、多中心研究验证 AI 在临床工作中的有效性, 为患者提供更优质的医疗服务。

### 【参考文献】

- [1] SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R L, *et al.* Global cancer statistics 2020; GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209-249.
- [2] KATAI H, ISHIKAWA T, AKAZAWA K, *et al.* Five-year survival analysis of surgically resected gastric cancer cases in Japan: a retrospective analysis of more than 100, 000 patients from the nationwide registry of the Japanese Gastric Cancer Association (2001-2007) [J]. Gastric Cancer, 2018, 21(1): 144-154.
- [3] AJANI J A, D'AMICO T A, BENTREM D J, *et al.* Gastric Cancer, Version 2. 2025, NCCN Clinical Practice Guidelines In Oncology[J]. J Natl Compr Canc Netw, 2025, 23(5): 169-191.
- [4] OKA K, IWAI N, OKUDA T, *et al.* Clinical features of false-negative early gastric cancers: a retrospective study of endoscopic submucosal dissection cases [J]. Gastroenterol Res Pract, 2021, 2021: 6635704.
- [5] DONG Z H, ZHU Y J, DU H L, *et al.* The effectiveness of a computer-aided system in improving the detection rate of gastric neoplasm and early gastric cancer: study protocol for a multi-centre, randomized controlled trial [J]. Trials, 2023, 24(1): 323.
- [6] YU H G, SINGH R, SHIN S H, *et al.* Artificial intelligence in upper GI endoscopy - current status, challenges and future promise[J]. J Gastroenterol Hepatol, 2021, 36(1): 20-24.
- [7] ZHOU J, HU N, HUANG Z Y, *et al.* Application of artificial intelligence in gastrointestinal disease: a narrative review [J]. Ann Transl Med, 2021, 9(14): 1188.
- [8] ALSHOHOUMI F, AL-HAMDANI A, HEDJAM R, *et al.* A review of radiomics in predicting therapeutic response in colorectal liver metastases: from traditional to artificial intelligence techniques[J]. Healthcare, 2022, 10(10): 2075.
- [9] GIRSHICK R. Fast R-CNN[C]//2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). December 7-13, 2015, Santiago, Chile. IEEE, 2016: 1440-1448.
- [10] DAI J F, LI Y, HE K M, *et al.* R-FCN: object detection via region-based fully convolutional networks[C]//Neural Information Processing Systems, 2016.
- [11] LECUN Y, BENGIO Y, HINTON G. Deep learning[J]. Nature, 2015, 521(7553): 436-444.
- [12] RONNEBERGER O, FISCHER P, BROX T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation[C]//Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-MICCAI 2015. Cham: Springer, 2015: 234-241.
- [13] CHEN L C, PAPANDEOU G, KOKKINOS I, *et al.* DeepLab: semantic image segmentation with deep convolutional nets, atrous convolution, and fully connected CRFs[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 2018, 40(4): 834-848.
- [14] VOULODIMOS A, DOULAMIS N, DOULAMIS A, *et al.* Deep learning for computer vision: a brief review[J]. Comput Intell Neurosci, 2018, 2018: 7068349.
- [15] ROSHAN A, BYRNE M F. Artificial intelligence in colorectal cancer screening[J]. CMAJ, 2022, 194(43): E1481-E1484.
- [16] BYRNE M F, SHAHIDI N, REX D K. Will computer-aided detection and diagnosis revolutionize colonoscopy? [J]. Gastroenterology, 2017, 153(6): 1460-1464. e1.

- [17] HIRASAWA T, AOYAMA K, TANIMOTO T, *et al.* Application of artificial intelligence using a convolutional neural network for detecting gastric cancer in endoscopic images[J]. *Gastric Cancer*, 2018, 21(4): 653-660.
- [18] ISHIOKA M, HIRASAWA T, TADA T. Detecting gastric cancer from video images using convolutional neural networks [J]. *Dig Endosc*, 2019, 31(2): e34-e35.
- [19] IKENOYAMA Y, HIRASAWA T, ISHIOKA M, *et al.* Detecting early gastric cancer: comparison between the diagnostic ability of convolutional neural networks and endoscopists[J]. *Dig Endosc*, 2021, 33(1): 141-150.
- [20] NAMIKAWA K, HIRASAWA T, NAKANO K, *et al.* Artificial intelligence-based diagnostic system classifying gastric cancers and ulcers: comparison between the original and newly developed systems[J]. *Endoscopy*, 2020, 52(12): 1077-1083.
- [21] WU L L, SHANG R D, SHARMA P, *et al.* Effect of a deep learning-based system on the miss rate of gastric neoplasms during upper gastrointestinal endoscopy: a single-centre, tandem, randomised controlled trial[J]. *Lancet Gastroenterol Hepatol*, 2021, 6(9): 700-708.
- [22] LUO H Y, XU G L, LI C F, *et al.* Real-time artificial intelligence for detection of upper gastrointestinal cancer by endoscopy: a multicentre, case-control, diagnostic study[J]. *Lancet Oncol*, 2019, 20(12): 1645-1654.
- [23] MARTINS B C, MOURA R N, KUM A S T, *et al.* Endoscopic imaging for the diagnosis of neoplastic and pre-neoplastic conditions of the stomach[J]. *Cancers*, 2023, 15(9): 2445.
- [24] UEYAMA H, KATO Y, AKAZAWA Y, *et al.* Application of artificial intelligence using a convolutional neural network for diagnosis of early gastric cancer based on magnifying endoscopy with narrow-band imaging[J]. *J Gastroenterol Hepatol*, 2021, 36(2): 482-489.
- [25] HORIUCHI Y, AOYAMA K, TOKAI Y, *et al.* Convolutional neural network for differentiating gastric cancer from gastritis using magnified endoscopy with narrow band imaging[J]. *Dig Dis Sci*, 2020, 65(5): 1355-1363.
- [26] HORIUCHI Y, HIRASAWA T, ISHIZUKA N, *et al.* Performance of a computer-aided diagnosis system in diagnosing early gastric cancer using magnifying endoscopy videos with narrow-band imaging (with videos) [J]. *Gastrointest Endosc*, 2020, 92(4): 856-865. e1.
- [27] HU H, GONG L X, DONG D, *et al.* Identifying early gastric cancer under magnifying narrow-band images with deep learning: a multicenter study [J]. *Gastrointest Endosc*, 2021, 93(6): 1333-1341. e3.
- [28] YUAN X L, ZHOU Y, LIU W, *et al.* Artificial intelligence for diagnosing gastric lesions under white-light endoscopy[J]. *Surg Endosc*, 2022, 36(12): 9444-9453.
- [29] NAM J Y, CHUNG H J, CHOI K S, *et al.* Deep learning model for diagnosing gastric mucosal lesions using endoscopic images: development, validation, and method comparison[J]. *Gastrointest Endosc*, 2022, 95(2): 258-268. e10.
- [30] CHO B J, BANG C S, PARK S W, *et al.* Automated classification of gastric neoplasms in endoscopic images using a convolutional neural network [J]. *Endoscopy*, 2019, 51(12): 1121-1129.
- [31] WU L L, ZHOU W, WAN X Y, *et al.* A deep neural network improves endoscopic detection of early gastric cancer without blind spots[J]. *Endoscopy*, 2019, 51(6): 522-531.
- [32] WU L L, ZHANG J, ZHOU W, *et al.* Randomised controlled trial of WISENSE, a real-time quality improving system for monitoring blind spots during esophagogastroduodenoscopy [J]. *Gut*, 2019, 68(12): 2161-2169.
- [33] WU L L, HE X Q, LIU M, *et al.* Evaluation of the effects of an artificial intelligence system on endoscopy quality and preliminary testing of its performance in detecting early gastric cancer: a randomized controlled trial[J]. *Endoscopy*, 2021, 53(12): 1199-1207.
- [34] LI Y D, LI H Z, CHEN S S, *et al.* Correlation of the detection rate of upper GI cancer with artificial intelligence score: results from a multicenter trial (with video)[J]. *Gastrointest Endosc*, 2022, 95(6): 1138-1146. e2.
- [35] KRÖNER P T, ENGELS M M, GLICKSBERG B S, *et al.* Artificial intelligence in gastroenterology: a state-of-the-art review [J]. *World J Gastroenterol*, 2021, 27(40): 6794-6824.
- [36] HAMASHIMA C. Overdiagnosis of gastric cancer by endoscopic screening[J]. *World J Gastrointest Endosc*, 2017, 9(2): 55-60.
- [37] WU J, CHEN J M, CAI J T. Application of artificial intelligence in gastrointestinal endoscopy[J]. *J Clin Gastroenterol*, 2021, 55(2): 110-120.
- [38] TOPOL E J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence[J]. *Nat Med*, 2019, 25(1): 44-56.

(收稿日期:2024-08-27;修回日期:2025-09-16;编辑:刘灵敏)