

# 人工智能辅助细胞内镜在消化系统疾病诊断中的应用进展

刘明庆 张楠 李莹 朱鹤 徐红

吉林大学第一医院胃肠内科·内镜中心, 长春 130021

通信作者: 徐红, Email: x\_hong@jlu.edu.cn

**【提要】** 人工智能技术主要通过强大的图像处理与分析能力辅助消化内镜识别和诊断病变。细胞内镜通过超高倍放大功能, 有望实现光学活检。但在实际工作中, 细胞内镜诊断消化系统疾病的诊断准确性显著依赖于内镜医师的经验水平。目前, 人工智能已开始应用于消化系统疾病的细胞内镜诊断中, 并取得较好成果, 本文将阐述人工智能辅助细胞内镜诊断的研究进展, 并展望其未来发展方向。

**【关键词】** 人工智能; 细胞内镜; 消化系统疾病; 诊断

**基金项目:** 国家重点研发计划(2022YFE0118100)

## Application progress of artificial intelligence-assisted endocytoscopy in the diagnosis of digestive system diseases

Liu Mingqing, Zhang Nan, Li Ying, Zhu He, Xu Hong

Department of Gastroenterology and Endoscopy Center, The First Hospital of Jilin University, Changchun 130021, China

Corresponding author: Xu Hong, Email: x\_hong@jlu.edu.cn

细胞内镜通过超高倍放大功能, 实现了对细胞核、腺管和微血管形态的观察, 从而进行“光学活检”<sup>[1-2]</sup>。在消化系统疾病的诊治过程展示了巨大潜能, 而内镜医师熟练掌握细胞内镜诊断技巧的学习周期长、难度大。研究表明, 细胞内镜在评估病变性质时, 诊断准确性显著依赖于内镜医师的经验水平, 高低年资内镜医师的诊断准确性存在明显差异<sup>[3-4]</sup>。低年资或经验不足的内镜医师难以及时、准确地分析细胞内镜图像, 这对诊断效率与准确性构成了挑战, 限制了细胞内镜在临床实践中的推广与应用。人工智能技术通过强大的图像处理与分析能力辅助消化内镜识别和诊断病变, 目前已开始应用于消化系统疾病的细胞内镜诊断中, 并取得较好的成果, 本文将阐述人工智能辅助细胞内镜诊断的研究进展, 并展望人工智能在细胞内镜领域的发展方向。

### 一、人工智能辅助细胞内镜在食管疾病诊断中的应用

#### 1. 人工智能辅助细胞内镜诊断食管癌

细胞内镜可通过观察细胞的密度、直径、排列和细胞核质比等特征来鉴别食管癌<sup>[5]</sup>。通常食管癌细胞表现为分布

不均、排列紊乱、大小形态不一、细胞核染色不均以及细胞核质比增高<sup>[5-7]</sup>。此外, Kumagai 等<sup>[8]</sup>根据碘染色情况、细胞密度和细胞核异型程度, 提出了一种可临床应用的食管细胞内镜分型。食管癌表现为碘不染区域的细胞密度增加和细胞核异型。研究结果显示, 该分型识别食管癌的敏感度和特异度分别为 94.7% 和 84.2%<sup>[9]</sup>。研究表明, 84% 的食管癌病例通过细胞内镜诊断后无需进行活检组织学确诊<sup>[8]</sup>。这为开发人工智能辅助诊断系统提供了可能性。Kumagai 等<sup>[10]</sup>基于 GoogLeNet 算法构建了辅助细胞内镜诊断食管癌的人工智能系统, 利用 4 715 张细胞内镜图像和 1 520 张细胞内镜图像分别作为训练集和测试集, 结果显示, 人工智能系统的敏感度、特异度和准确率分别为 92.6%、89.3% 和 90.9%, 此外, 受试者工作特征曲线下面积 (area under the curve, AUC) 为 0.85。随着第四代细胞内镜的临床应用, Kumagai 等<sup>[9]</sup>利用第四代细胞内镜采集的 7 983 张食管细胞内镜图像训练模型, 成功开发了基于 DeiT 模型架构的人工智能用于区分食管良性病变和食管癌, 114 张细胞内镜图像

DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20250123-00555

收稿日期 2025-01-23 本文编辑 许文立

引用本文: 刘明庆, 张楠, 李莹, 等. 人工智能辅助细胞内镜在消化系统疾病诊断中的应用进展[J]. 中华消化内镜杂志, 2026, 43(1): 78-81. DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20250123-00555.



的测试结果显示该模型的 AUC 为 0.92, 优于上一代人工智能系统。在图像分析中, 人工智能、病理学家和 2 名内镜医师的准确率分别为 91.2%、91.2%、85.9% 和 83.3%。进一步针对病变分析, 人工智能、病理学家和 2 名内镜医师的准确率分别为 94.7%、92.1%、86.8% 和 89.5%。结果显示, 人工智能的诊断准确性明显均优于内镜医师, 与经验丰富的病理学家水平相当。更值得关注的是, 该人工智能识别每幅细胞内镜图像时间仅为 0.12 s。

尽管当前人工智能辅助鉴别食管良恶性病变有较好表现, 但尚未针对早期食管癌的细胞内镜图像进行单独验证, 鉴别早期食管癌的有效性仍不明确。此外, 这些人工智能并没有纳入食管上皮内瘤变的细胞内镜图像, 因此, 开发诊断此类病变的人工智能辅助系统值得进一步研究。

## 2. 人工智能辅助细胞内镜诊断巴雷特食管伴异型增生

巴雷特食管可发展为低度异型增生、高度异型增生, 甚至食管腺癌。因此, 建议对巴雷特食管进行规范的内镜监测和活检, 以评估巴雷特食管是否存在异型增生或癌变。然而, 由于巴雷特食管伴异型增生的内镜下诊断难度大, 检出率仅为 3.1%<sup>[11]</sup>, 常规的内镜监测不仅耗时费力, 诊断效果也不理想。在巴雷特食管监测过程中, 细胞内镜提高了内镜诊断准确性, 减少了活检数量, 节约时间和成本, 未来有望优化监测过程。然而, 巴雷特食管伴异型增生的细胞内镜图像较为复杂, 内镜医师难以熟练掌握。因此, 利用人工智能辅助内镜医师准确识别巴雷特食管伴异型增生将是一个重要突破。van der Laan 等<sup>[12]</sup>从 59 个巴雷特食管细胞内镜检查视频中收集 1 552 张图像并基于卷积神经网络构建模型。2 个测试集(各含 30 张细胞内镜图像)的结果显示, 该系统的 AUC 分别为 0.894 和 0.923。此外, 在人工智能辅助下, 内镜医师的诊断敏感度、特异度和准确率均高于无人工智能辅助的诊断结果(84.44% 比 57.78%, 68.89% 比 63.33%, 76.67% 比 60.56%)。

尽管该人工智能系统能有效地帮助内镜医师诊断巴雷特食管伴异型增生, 但训练集和测试集图像数据有限, 且从视频中截取的图像可能相似度较高, 可能导致模型的泛化能力较差。因此, 人工智能系统仍需继续扩大训练集, 并选取不同病变的细胞内镜图像进行模型验证。

## 二、人工智能辅助细胞内镜在胃部疾病诊断中的应用

Kaise 等<sup>[13]</sup>研究表明细胞内镜诊断早期胃癌的敏感度、特异度和准确率分别为 78.4%、93.3% 和 87.3%。此外, Tsurudome 等<sup>[14]</sup>通过细胞内镜有效区分了早期胃癌和非癌组织。Abad 等<sup>[15]</sup>的研究也证实细胞内镜在诊断早期胃癌方面的有效性。然而早期胃癌的细胞内镜图像复杂, 诊断难度大, 为此, Noda 等<sup>[16]</sup>基于卷积神经网络开发了用于辅助细胞内镜诊断早期胃癌的人工智能系统, 利用 906 张早期胃癌细胞内镜图像和 717 张非癌细胞内镜图像进行训练, 仅需 7 s 即可准确诊断由 313 张早期胃癌细胞内镜图像和 235 张非癌细胞内镜图像构成的测试集。测试结果显示, 该系统 AUC 为 0.93, 在图像水平和病变水平分析中, 系

统的诊断结果均优于内镜医师。

然而, 胃黏膜易产生大量黏液影响染色效果, 导致构建人工智能系统的高质量细胞内镜图像数据有限, 临床应用也受到一定限制。有学者提出, 采用细胞内镜联合窄带光成像技术(endocytoscopy with narrow band imaging, EC-NBI)观察病变表面微血管形态来诊断早期胃癌。Horiuchi 等<sup>[17]</sup>比较 EC-NBI 和放大内镜联合窄带光成像(magnifying endoscopy with narrow band imaging, ME-NBI)诊断早期胃癌的准确性, 结果显示 EC-NBI 的诊断性能明显优于 ME-NBI, 这也为未来开发基于 EC-NBI 的人工智能辅助系统提供了新方向。

## 三、人工智能辅助细胞内镜在肠道疾病诊断中的应用

### 1. 人工智能辅助细胞内镜诊断溃疡性结肠炎(ulcerative colitis, UC)组织学活动度

内镜及组织学缓解是评估 UC 治疗效果的重要指标。细胞内镜已被用于判断 UC 组织学炎症程度。Maeda 等<sup>[18]</sup>通过 EC-NBI 观察黏膜毛细血管的变化, 评估 UC 组织学炎症程度。研究表明血管模糊提示疾病缓解, 而血管清晰可见或扩张则表明疾病活动, EC-NBI 诊断 UC 活动的敏感度、特异度、准确率、阳性预测值和阴性预测值分别为 84.0%、100%、92.3%、87.1% 和 100%, 诊断性能优于常规内镜检查。Maeda 等<sup>[19]</sup>使用 12 900 张 EC-NBI 图像作为训练集, 构建用于诊断 UC 组织学炎症程度的人工智能系统。该系统在 525 张 EC-NBI 图像中进行测试, 结果显示人工智能系统的诊断敏感度、特异度和准确率分别为 74%、97% 和 91%, 且诊断同一张 EC-NBI 图像的结果高度一致( $Kappa = 1$ )。这是首次实现全自动辅助 EC-NBI 诊断 UC 活动程度的人工智能系统, 显示出人工智能评估 UC 内镜下活动度的巨大潜力。然而, 该研究并未将人工智能预测结果与长期临床随访结果进行比较, 故仍需通过后续随访结果进一步验证人工智能预测 UC 组织学活动程度的准确性。

### 2. 人工智能辅助细胞内镜诊断结直肠息肉

目前, 细胞内镜已广泛应用于结直肠息肉性质的诊断, 通过染色可观察到细胞核、组织及腺腔的形态。日本学者 Kudo 等<sup>[20]</sup>根据细胞内镜图像总结提出细胞内镜分级, 用于诊断结直肠病变性质。然而, 熟练掌握细胞内镜分级需要专业培训和丰富经验, 低年资内镜医师诊断效果明显低于高年资内镜医师<sup>[21]</sup>。Mori 等<sup>[21]</sup>率先利用机器学习方法通过提取细胞核特征构建了一个辅助诊断系统, 测试结果显示, 人工智能系统诊断肿瘤性病变的敏感度、特异度和准确率分别为 92.0%、79.5%、89.2%, 其敏感度和准确率与高年资内镜医师相当, 显著高于低年资内镜医师。此外, 高年资和低年资内镜医师诊断用时分别为 4.5 s 和 16 s, 而人工智能系统的预测时间仅为 0.3 s, 显著缩短了诊断时间。为进一步提高模型诊断准确性, Mori 等<sup>[3]</sup>改进上述人工智能系统, 除提取细胞核特征外, 增加了纹理分析, 全面反映细胞核与腺管排列的变化, 改进系统基于 6 051 张细胞内镜图像训练, 并使用 205 例长径  $\leq 10$  mm 病变的细胞内镜图像进行测

试。结果显示,人工智能系统对肿瘤性病变的诊断敏感度、特异度和准确率均显著高于低年资内镜医师,与高年资内镜医师水平相当。此外,基于人工智能预测病变性质的患者息肉切除术后随访间隔时间与欧洲和美国指南推荐的间隔时间一致性分别达到了 98% 和 96%。另外,Mori 等<sup>[22]</sup>基于 61 925 张细胞内镜图像构建的人工智能系统,在诊断长径 $\leq 5$  mm 的直肠乙状结肠腺瘤时阴性预测值 $>90\%$ ,达到了美国消化内镜学会技术委员会提出的保存和整合有价值的内镜创新中诊断性能的要求。因此,当 $\leq 5$  mm 乙状结肠直肠息肉的人工智能系统预测结果为腺瘤时,可以实施“切除-丢弃”策略,当预测结果非肿瘤性时,可以实施“发现-保留”策略。

在白光模式下,细胞内镜观察细胞核和腺管形态时需要同时对病变进行染色,然而,染色过程增加操作时间,且染色效果直接影响诊断结果,因此,Kudo 等<sup>[23]</sup>通过 EC-NBI 观察结肠直肠病变表面微血管形态即可进行诊断。研究显示,其诊断准确率与 pit pattern 分型相比无显著差异。Misawa 等<sup>[24]</sup>收集 979 张 EC-NBI 图像作为训练集,100 张图像作为测试集,并采用机器学习方法分析提取的血管信息,测试结果显示,该系统高置信诊断的敏感度、特异度、准确率、阳性预测值和阴性预测值分别为 95.8%、96.9%、97.6%、97.6% 和 95.8%。2017 年,Misawa 等<sup>[4]</sup>基于 1 661 张 EC-NBI 图像更新人工智能系统,173 张 EC-NBI 图像的测试结果显示,人工智能系统诊断准确率显著高于低年资内镜医师(87.8% 比 63.4%),且与高年资内镜医师结果相当(87.8% 比 84.2%)。因此,人工智能系统可作为低年资医师的辅助诊断工具。

### 3. 人工智能辅助细胞内镜诊断结直肠癌

在辅助细胞内镜诊断结直肠癌方面,人工智能也展现较高的诊断性能。Takeda 等<sup>[25]</sup>利用 5 543 张和 200 张细胞内镜图像组成训练集和测试集,结果显示该系统诊断浸润性癌的敏感度、特异度、准确率、阳性预测值和阴性预测值分别为 89.4%、98.9%、94.1%、98.8% 和 90.1%,显示出良好的临床应用潜力。2021 年,Mori 团队基于 68 082 张细胞内镜图像优化该人工智能系统,并开展多中心临床研究,结果表明,人工智能系统诊断浸润性癌的敏感度、特异度和准确率分别为 91.8%、97.3% 和 91.9%<sup>[26]</sup>。人工智能系统可有效区分结直肠腺瘤与浸润性癌,内镜医师可根据预测结果选择最佳的治疗策略。

尽管,用于辅助诊断肠道病变的人工智能系统已在临床使用,但在诊断无蒂锯齿状病变(sessile serrated lesion, SSL)方面未有所突破。SSL 是间期癌的重要来源,准确诊断并及时治疗可避免发展为结直肠癌,而 SSL 与增生性息肉鉴别困难,借助人工智能系统准确诊断 SSL 值得进一步探究。此外,目前的人工智能尽管可以准确诊断浸润性癌,但尚无法区分黏膜下浅浸润癌与深浸润癌,这将影响治疗方案的选择,因此,临床上亟需人工智能精准预测结直肠癌浸润深度。为实现以上需求,则将需纳入更多数据来构建相应模型。

## 四、总结与展望

通过人工智能辅助细胞内镜诊断消化系统病变将是消化内镜领域的重要发展方向。人工智能的实时图像处理能力可以为内镜医师快速提供诊断建议。此外,人工智能的标准化诊断特性减少人工主观因素对结果的影响,为精准医疗提供可能。尽管如此,基于细胞内镜的人工智能目前仍存在一定局限性。其一,人工智能算法的有效性高度依赖于数据集的质量和多样性,但大部分研究中用于训练的细胞内镜图像数据均来自国外研究机构,且多为单中心收集,数据存在偏倚和不均衡性,导致模型在临床应用时泛化能力不足。其二,尽管人工智能可以显著提高诊断效率,但对于上皮内瘤变、消化道早期癌的浸润深度、无蒂锯齿状病变等病变类型,现有人工智能技术的识别能力仍较有限。其三,医师对人工智能辅助决策的依赖程度、医患沟通中的伦理问题等,都对其进一步推广构成阻碍。未来,人工智能结合细胞内镜的研究和发展将朝多方向迈进。首先,多中心、高质量的细胞内镜数据集构建是关键,需涵盖不同地域及多样化病变类型图像,从而提高模型的适应性与鲁棒性。其次,人工智能与其他内镜技术的结合将进一步增强诊断能力,例如将人工智能与图像增强技术相结合,用于更精细地识别细胞内镜图像。另外,尝试通过构建多模态模型,从多维度对病变进行诊断将是另一研究方向。再次,通过生成对抗网络模型是否可以实现虚拟染色,进而替代传统染色方法,缩短操作时间仍需验证。最后,为广泛地推广至临床应用,人工智能系统仍需多中心、前瞻性临床研究验证其临床有效性。总之,实时人工智能辅助细胞内镜诊断系统有望推动“光学活检”的实现,通过与治疗策略相联动,为患者设计个性化的治疗方案,提高疾病管理的效率,人工智能未来在消化内镜领域的潜力不可限量。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

## 参 考 文 献

- [1] Kwon RS, Wong Kee Song LM, Adler DG, et al. Endocytoscopy[J]. *Gastrointest Endosc*, 2009, 70(4): 610-613. DOI:10.1016/j.gie.2009.06.030.
- [2] Cipolletta L, Bianco MA, Rotondano G, et al. Endocytoscopy can identify dysplasia in aberrant crypt foci of the colorectum: a prospective in vivo study[J]. *Endoscopy*, 2009, 41(2): 129-132. DOI:10.1055/s-0028-1103452.
- [3] Mori Y, Kudo SE, Chiu PW, et al. Impact of an automated system for endocytoscopic diagnosis of small colorectal lesions: an international web-based study[J]. *Endoscopy*, 2016, 48(12): 1110-1118. DOI:10.1055/s-0042-113609.
- [4] Misawa M, Kudo SE, Mori Y, et al. Accuracy of computer-aided diagnosis based on narrow-band imaging endocytoscopy for diagnosing colorectal lesions: comparison with experts[J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2017, 12(5): 757-766. DOI:10.1007/s11548-017-1542-4.
- [5] Kodashima S, Fujishiro M, Takubo K, et al. Ex-vivo study of high-magnification chromoendoscopy in the gastrointestinal tract to determine the optimal staining conditions for

- endocytoscopy[J]. *Endoscopy*, 2006, 38(11): 1115-1121. DOI: 10.1055/s-2006-944915.
- [6] Fujishiro M, Takubo K, Sato Y, et al. Potential and present limitation of endocytoscopy in the diagnosis of esophageal squamous-cell carcinoma: a multicenter ex vivo pilot study[J]. *Gastrointest Endosc*, 2007, 66(3): 551-555. DOI: 10.1016/j.gie.2007.03.1044.
- [7] Kumagai Y, Monma K, Kawada K. Magnifying chromoendoscopy of the esophagus: in-vivo pathological diagnosis using an endocytoscopy system[J]. *Endoscopy*, 2004, 36(7):590-594. DOI:10.1055/s-2004-814533.
- [8] Kumagai Y, Kawada K, Yamazaki S, et al. Endocytoscopic observation for esophageal squamous cell carcinoma: can biopsy histology be omitted? [J]. *Dis Esophagus*, 2009, 22(6): 505-512. DOI:10.1111/j.1442-2050.2009.00952.x.
- [9] Kumagai Y, Takubo K, Sato T, et al. AI analysis and modified type classification for endocytoscopic observation of esophageal lesions[J]. *Dis Esophagus*, 2022, 35(9): doac010. DOI:10.1093/dote/doac010.
- [10] Kumagai Y, Takubo K, Kawada K, et al. Diagnosis using deep-learning artificial intelligence based on the endocytoscopic observation of the esophagus[J]. *Esophagus*, 2019, 16(2):180-187. DOI:10.1007/s10388-018-0651-7.
- [11] Kolb JM, Davis C, Williams JL, et al. Wide variability in dysplasia detection rate and adherence to seattle protocol and surveillance recommendations in Barrett's esophagus: a population-based analysis using the GIQuIC national quality benchmarking registry[J]. *Am J Gastroenterol*, 2023, 118(5): 900-904. DOI:10.14309/ajg.0000000000002102.
- [12] van der Laan JJH, van der Putten JA, Zhao X, et al. Optical biopsy of dysplasia in Barrett's oesophagus assisted by artificial intelligence[J]. *Cancers(Basel)*, 2023, 15(7): 1950. DOI:10.3390/cancers15071950.
- [13] Kaise M, Kimura R, Nomura K, et al. Accuracy and concordance of endocytoscopic atypia for the diagnosis of gastric cancer[J]. *Endoscopy*, 2014, 46(10): 827-832. DOI: 10.1055/s-0034-1377524.
- [14] Tsurudome I, Miyahara R, Funasaka K, et al. In vivo histological diagnosis for gastric cancer using endocytoscopy [J]. *World J Gastroenterol*, 2017, 23(37): 6894-6901. DOI: 10.3748/wjg.v23.i37.6894.
- [15] Abad MRA, Inoue H, Ikeda H, et al. Utilizing fourth-generation endocytoscopy and the 'enlarged nuclear sign' for in vivo diagnosis of early gastric cancer[J]. *Endosc Int Open*, 2019, 7(8): E1002-E1007. DOI: 10.1055/a-0957-2866.
- [16] Noda H, Kaise M, Higuchi K, et al. Convolutional neural network-based system for endocytoscopic diagnosis of early gastric cancer[J]. *BMC Gastroenterol*, 2022, 22(1): 237. DOI: 10.1186/s12876-022-02312-y.
- [17] Horiuchi Y, Hirasawa T, Ishizuka N, et al. Diagnostic performance in gastric cancer is higher using endocytoscopy with narrow-band imaging than using magnifying endoscopy with narrow-band imaging[J]. *Gastric Cancer*, 2021, 24(2): 417-427. DOI:10.1007/s10120-020-01125-w.
- [18] Maeda Y, Ohtsuka K, Kudo SE, et al. Endocytoscopic narrow-band imaging efficiency for evaluation of inflammatory activity in ulcerative colitis[J]. *World J Gastroenterol*, 2015, 21(7):2108-2115. DOI:10.3748/wjg.v21.i7.2108.
- [19] Maeda Y, Kudo SE, Mori Y, et al. Fully automated diagnostic system with artificial intelligence using endocytoscopy to identify the presence of histologic inflammation associated with ulcerative colitis (with video) [J]. *Gastrointest Endosc*, 2019, 89(2):408-415. DOI:10.1016/j.gie.2018.09.024.
- [20] Kudo SE, Wakamura K, Ikehara N, et al. Diagnosis of colorectal lesions with a novel endocytoscopic classification: a pilot study[J]. *Endoscopy*, 2011, 43(10):869-875. DOI:10.1055/s-0030-1256663.
- [21] Mori Y, Kudo SE, Wakamura K, et al. Novel computer-aided diagnostic system for colorectal lesions by using endocytoscopy (with videos) [J]. *Gastrointest Endosc*, 2015, 81(3):621-629. DOI:10.1016/j.gie.2014.09.008.
- [22] Mori Y, Kudo SE, Misawa M, et al. Real-time use of artificial intelligence in identification of diminutive polyps during colonoscopy: a prospective study[J]. *Ann Intern Med*, 2018, 169(6):357-366. DOI:10.7326/M18-0249.
- [23] Kudo SE, Misawa M, Wada Y, et al. Endocytoscopic microvasculature evaluation is a reliable new diagnostic method for colorectal lesions (with video) [J]. *Gastrointest Endosc*, 2015, 82(5):912-923. DOI:10.1016/j.gie.2015.04.039.
- [24] Misawa M, Kudo SE, Mori Y, et al. Characterization of colorectal lesions using a computer-aided diagnostic system for narrow-band imaging endocytoscopy[J]. *Gastroenterology*, 2016, 150(7): 1531-1532. e3. DOI: 10.1053/j.gastro.2016.04.004.
- [25] Takeda K, Kudo SE, Mori Y, et al. Accuracy of diagnosing invasive colorectal cancer using computer-aided endocytoscopy[J]. *Endoscopy*, 2017, 49(8): 798-802. DOI: 10.1055/s-0043-105486.
- [26] Mori Y, Kudo SE, Misawa M, et al. Artificial intelligence-assisted colonic endocytoscopy for cancer recognition: a multicenter study[J]. *Endosc Int Open*, 2021, 9(7):E1004-E1011. DOI:10.1055/a-1475-3624.