

人工智能赋能消化内镜早诊早治:现状及未来

梁 豪,岳异星,崔曼莉,张明鑫

西安医学院第一附属医院消化内科,陕西 西安 710077

【摘要】 胃肠道癌症的早期诊断与治疗对改善患者预后至关重要,但传统内镜技术高度依赖操作者经验,存在漏诊率高、观察者间差异大等问题。近年来人工智能(AI)通过深度学习与计算机视觉技术,显著提升了消化内镜的精准性与效率。尽管 AI 展现了优于人工的效能,其泛化能力、数据多样性、模型透明性及伦理责任界定仍存挑战。未来需通过多学科协作、大规模临床验证及技术优化,推动 AI 在消化内镜中的规范化应用,实现精准医疗的可持续发展。

【关键词】 消化道内镜;人工智能;早诊早治

【中图分类号】 R443+.8

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-6170(2025)05-0013-07

Artificial intelligence in early diagnosis and treatment of digestive endoscopy: current status and future prospects LIANG Hao, YUE Yi-xing, CUI Man-li, ZHANG Ming-xin *Department of Gastroenterology, The First Affiliated Hospital of Xi'an Medical University, Xi'an 710077, China*

【Corresponding author】 ZHANG Ming-xin

【Abstract】 Early diagnosis and treatment of gastrointestinal cancer are crucial for improving patient prognosis, but traditional endoscopic techniques heavily rely on operator experience, resulting in high missed diagnosis rates and significant differences between observers. In recent years, artificial intelligence (AI) has significantly improved the accuracy and efficiency of digestive endoscopy through deep learning and computer vision technology. Although AI has demonstrated superior performance compared to humans, there are still challenges in its generalization ability, data diversity, model transparency, and ethical responsibility delineation. In the future, it is necessary to promote the standardized application of AI in digestive endoscopy through multidisciplinary collaboration, large-scale clinical validation, and technological optimization, in order to achieve sustainable development of precision medicine.

【Key words】 gastrointestinal endoscopy; artificial intelligence; early diagnosis and treatment

消化内镜自引入以来,历经硬管式内镜(19 世纪)、纤维内镜(20 世纪中叶)到电子内镜(21 世纪)的技术迭代,并衍生出窄带成像(NBI)、蓝光成像(BLI)等特殊光学技术。在检查质量及所使用的工具和技术方面取得了显著进步,治疗范围一直在不断扩展^[1]。早诊早治对于改善患者预后至关重要,然而传统的内镜诊断高度依赖操作者技术,并受到经验及知识储备等的限制。近年来,人工智能(artificial intelligence, AI),尤其是基于深度学习的计算机视觉系统,其核心优势在于通过卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)对黏膜表面微结构、微血管形态等肉眼易忽略的特征进行自动化提取与识别,已成为提高消化内镜筛查准确性和效率的变革性工具。AI 算法在实时病变检测、黏膜模式特征化和病理亚型预测方面表现出色,显示出减少漏诊和标准化内镜实践的可能性。当前研究突出

了 AI 在识别早期肿瘤,如结直肠息肉和早期胃癌方面的有效性,其性能指标在对照试验中或超过专家内镜医师。然而,挑战依然存在,包括算法在不同人群中的泛化能力、融入临床工作流程以及围绕人机协作的伦理考量^[2]。本文回顾了当前 AI 在消化内镜早诊早治中的应用现状,讨论了未解决的障碍,并探讨了 AI 驱动的胃肠病学精准医学的未来方向。

1 AI 在消化内镜早诊中的应用

AI 和胃肠道内窥镜的结合,意味着在管理胃肠道疾病方面取得了重大突破。早期的 AI 系统主要使用计算机辅助诊断(computer-aided diagnosis, CADx)和计算机辅助检测(computer aided detection system, CADe)算法。2010~2015 年的早期系统多依赖支持向量机(SVM)与手工特征提取,2017 年后深度学习模型如 ResNet 残差网络、YOLOv3 框架等成为主流。它们的作用是识别、特征化和区分可疑病变,如息肉、肿瘤、溃疡和异型增生区域^[3]。同时,随着机器学习和深度学习(DL)方法不断完善,特别是深度/卷积神经网络,这些为更精细的 AI 模型奠定了基础。这些 AI/机器学习模型在各种胃肠病变预防、诊断、管理和预后方面发挥着重要作用,既包括癌前病变也包括恶性病变。见表 1。

【基金项目】陕西省自然科学基金基础研究计划(编号:2022JQ-980),西安医学院创新团队项目(编号:2021TD15)

【通讯作者简介】张明鑫,男,博士,主任医师,教授。海峡两岸医药卫生交流协会消化内镜专委会常委,中国抗癌协会肿瘤内镜专委会委员,陕西省抗癌协会消化道息肉及癌前病变专委会主任委员,陕西省医师协会肝病专业委员会副主任委员,陕西省中西医结合学会消化内镜分会副主任委员等。主要研究方向:消化道肿瘤及炎症性肠病。

表 1 AI 在消化内镜主要疾病早诊中的代表性模型性能汇总

靶器官	疾病	作者 (年份)	AI 模型/系统	灵敏度 (%)	特异性 (%)	AUC
食管	Barrett 食管新生物	Fockens, et al (2023) [4]	CAD 系统	90.1	89.3	-
	Barrett 食管	Swager, et al. (2020) [5]	YOLOv3	92.8	95.1	-
	食管早癌筛查	王士旭, 等 (2022) [6,7]	YOLOv51	87.9	98.3	-
	食管癌浸润深度	Tokai, et al. (2020) [8]	AI 诊断系统	84.1	-	-
胃	Hp 感染	Yang, et al. (2022) [9]	EfficientNetB7	92.6	90.84	0.99
	早期胃癌检测	王君潇, 等. (2023) [10]	ENDOANGEL-LD	81.9	72.0	0.98
	结肠息肉检测	Urban, et al. (2018) [11]	CNN	96.0	93.0	0.98
结肠	腺瘤光学诊断	Byrne, et al. (2022) [12]	CADx	98.2	98.6	-
	结肠息肉检测 (CCE)	Gilabert, et al. (2022) [13]	AI (3D-CNN)	87.80	-	-
	IBD 相关异型增生	Guerrero, et al. (2023) [14]	CADe	92.3	-	-

2 AI 在食管病变早期诊断中的应用

2.1 Barrett 食管 胃食管反流病 (gastroesophageal reflux disease, GERD) 是最常见的慢性胃肠道疾病之一, 其中巴雷特食管 (Barrett’s esophagus, BE) 是指易发生肿瘤的化生柱状黏膜取代食管远端鳞状黏膜的疾病, 这种化生变化则被视为食管腺癌的高危因素^[15]。早期 BE 新生物通常仅表现出最小的黏膜和血管变化, 这使得其内镜检测具有挑战性^[16], 而对于 BE 的检测而言, 高质量检查 BE 黏膜是内镜监测的关键。最早提出 AI 辅助 BE 的诊疗模型是 CADe, 该系统在当时的灵敏度为 82%^[17]。2023 年 Hassan 等^[18]使用了一种 AI 辅助的工作流程, 并辅以实时 CADe 协助, 结果在每例患者的分析中, CADe 系统检测到了所有可见的病变 (灵敏度 100%)。每例患者的 CADe 特异性为 53%, CADe 辅助工作流程的每级灵敏度和特异性分别为 100% 和 73%。王士旭等^[7]的研究也证明了上述的观点, 同时也进一步为食管鳞癌以及癌前病变的检测提供了新的思路。

2.2 食管癌 AI 在食管癌前病变的诊断中表现出了高精确性和灵敏度, 其在食管恶性疾病当中也展现出了不可忽视的辅助功能。早在 2006 年, Qi 等^[19]的研究中就利用 CAD 算法基于标准的纹理分析方法 (中心对称自相关) 开发计算机辅助诊断算法, 来自 13 例患者中的总共 405 张内窥镜光学相干成像 (endoscopic optical coherence tomography, EOCT) 图像纳入研究, 研究结果显示该 CAD 算法具有 82% 的灵敏度、74% 的特异性和 83% 的准确性。Zhang 等^[20]所建立的 AI 模型训练结果也实现了 85.7% 的准确率、86.3% 的特异性、86.2% 的敏感性。除此之外, AI 在肿瘤的浸润深度也显示出了较好的准确性。Tokai 等^[8]设计的 AI 诊断系统在 10 秒内检测到测试图像中 95.5% (279/291) 的食管鳞

癌, 分析了 279 张图像, 并以 84.1% 的灵敏度和 80.9% 的准确率在 6 秒内正确估计了食管鳞癌的入侵深度。该系统的准确性得分超过了 13 名经验丰富内镜医师中的 12 名, 其精确的识别率也为患者后续的治疗提供了依据。

3 AI 在胃病早期诊断中的应用

3.1 胃癌 (gastric cancer, GC) GC 具有高度侵袭性和异质性, 是全球最常见的第四大癌症。晚期胃癌患者的平均生存期不到 1 年, 一些研究表明, 进展期胃癌患者在手术后的 5 年生存率低于 20%^[21]。早期胃癌 (early gastric cancer, EGC) 意味着肿瘤组织局限于黏膜和黏膜下, 无论淋巴结是否有转移, 经过积极治疗后, 其 5 年生存率可高达 90% 以上, 所以早期 GC 的识别就成了内镜医师至关重要的部分^[22]。一项研究显示^[23], 在 6961 例 GC 患者中, 有 622 例患者被漏诊, 漏诊率为 8.94%, 几乎每 10 例患者当中就有 1 例患者被漏诊, 其中胃体小弯侧、胃角等解剖盲区的漏诊率高达 31%, 主要因视野遮挡及黏膜皱襞干扰。在这种情况下, Katai 等^[24]的研究结果就显示出了 AI 在消化道疾病识别当中所占据的优势, 研究当中 1812 例患者被分为 2 组, 分别进行 AI 和常规诊疗, 最终 AI 组漏诊率为 6.1%, 小于常规组的漏诊率 27.3%。Wu 等^[25]的研究也证实了这一点, 其开发的一种实时辅助系统确保在内镜检查过程中无盲点地观察整个胃部, 从而为 EGC 的检测提供了先决条件。该系统创新性引入空间 Transformer 网络, 对胃底、胃窦等弯曲部位图像进行实时几何校正, 避免因视角变形导致的漏诊。并以 92.5% 的准确率、94.0% 的灵敏度、91.0% 的特异性和 91.3% 的阳性预测值以及 93.8% 的阴性预测值从非恶性中识别 EGC, 优于所有级别的内镜医生。

3.2 幽门螺杆菌感染 (helicobacter pylori, Hp)

Hp 是慢性活动性胃炎的主要病因, 也是 GC 发生的

最重要可控危险因素。因此,准确、便捷地识别 Hp 现症感染并评估其诱导的胃黏膜病变状态,是实现胃癌“早诊早治”链条中至关重要的预防环节。AI 技术为 Hp 感染的实时内镜诊断及其诱导的胃黏膜病变风险评估提供了新工具。研究表明,基于深度学习的模型能够直接从白光内镜或特殊光成像(如 BLI 和 LCI)图像中提取与 Hp 感染相关的黏膜微细特征,如黏膜充血、水肿、糜烂、黏液附着、集合静脉的规则性消失(RAC 消失)、点状发红、增生性息肉、皱襞肿大等,实现高精度的实时诊断。Yang 等^[9]开发的 CNN 模型利用内镜图像诊断 Hp 感染,取得了 87.1% 的灵敏度和 91.6% 的特异性(AUC 0.95)。Shen 等^[26]近期的一项前瞻性多中心研究进一步验证了基于卷积神经网络(CNN)的模型在实时白光内镜下评估 Hp 感染的可行性与高效性。尤为关键的是,AI 的价值远不止于现症感染的诊断。Huang 等^[27]的早期开创性研究就揭示了 AI 在 Hp 相关胃黏膜病变风险评估中的巨大潜力。他们的神经网络模型不仅在检测幽门螺杆菌感染方面具有 85.4% 的敏感性和 90.9% 的特异性,更重要的是,通过细致的特征重要性分析,量化了与 Hp 感染病理状态最相关的内镜特征权重:黏膜血管纹理紊乱(权重 0.32)、颜色不均匀(权重 0.27)、表面颗粒感(权重 0.23)。这为基于内镜图像的胃癌风险分层和精准筛查提供了新思路,实现了从被动“诊病”到主动“防癌”的跨越,使 AI 在胃癌预防链中发挥前哨作用。

4 AI 在结肠病变早期诊断中的应用

4.1 结肠息肉 腺瘤漏诊率(adenoma misdiagnosis rate, AMR)在 6%~28%^[28],主要由于受操作者专业知识影响,受主观因素影响较大,AI 再经过大量的模拟和训练之后,就大大降低了这种由主观因素引起的误差。Sun 等^[29]对 2004~2023 年关于 AI 在结直肠癌诊断和治疗的引用进行了文献计量学分析,共纳入 2715 篇文献。发表数量在 2016 年底前缓慢增长,但 2017 年后迅速增长,直至 2023 年达到峰值 798 篇、92 个国家、3997 个机构和 15667 位作者参与了这项研究,这些都体现出了 AI 在结直肠疾病当中所起的作用的不容忽视的。Djinbachian 等^[30]用已经开发过的 CAD 光学诊断微小息肉,进行了一项随机非劣效性试验。患者被随机分为 2 组,分别由 AI 和内镜医生完成,使用病理学作为金标准验证。结果自主 AI 组光学诊断的准确性为 77.2%,AI-H 组(AI-assisted human)为 72.1%。对于高置信度诊断,自主 AI 组光学诊断的准确性为 77.2%,AI-H 组为 75.5%。与 AI-H 相比,自主 AI

在基于病理学的监测间隔方面具有统计学上显著更高的符合率(91.5% vs 82.1%)。Zha 等的荟萃分析中提到^[31]CADe AI 系统已经配备有 LED 照明和 4K 超高分辨率技术用来评估腺瘤检出率、高级腺瘤检测率和息肉检测率。对于结肠癌的诊断,AI 从刚开始与血清标记物的结合,到之后与内镜的完美融合,在极大程度上为临床诊断的精确度提供了保障,后来的研究^[32~34]也证明了这一点。

4.2 结肠癌(Colorectal Cancer, CRC) CRC 居我国恶性肿瘤发病率第 2 位、死亡率第 4 位^[35]。其早诊率较低,只有 10%^[36]。AI 在早期诊断当中可起到的重要的辅助功能,尤其是在西方部分国家,AI 对于结肠疾病的诊断几乎已成为主要方式。Shi 等^[37]在 2010 就使用 AI 对结直肠癌血清标记物进行了数字化算法,在经过一些列验证和求证后,DS-STM(一种 AI 工具)可以将同一验证数据集的诊断准确性从 67.53% 提高到 73.87%,这是一项没有通过 AI 辅助内镜系统进行的研究,但也在 CAD 的基础上进行的大数据研究。随着技术的发展,AI 与常规结肠镜的融合使得早期肿瘤的漏诊率显著降低,Wallace 等^[38]的研究显示 AI 导致结直肠癌新生物的误诊率降低约 2 倍。除此之外,结肠胶囊内镜检查是一种微创程序,越来越多地被用作传统结肠镜检查的替代方案,其缺点是视频时间较长,需要一位或多位专家的时间来审查和识别。AI 与胶囊内镜的融合使审查时间减少了 6 倍,息肉检测灵敏度从 81.08% 提高到 87.80%。其突破在于 3D 卷积神经网络(3D-CNN)的应用:通过分析连续视频帧中病变的运动轨迹(如肠蠕动导致的息肉形变特征),避免静态图像误判。临床验证显示,单例视频审查时间从 52 分钟降至 11 分钟。在结直肠癌的诊断与检测方面,AI 无疑都做出了巨大的贡献,节省了时间和人力成本。其虽具有一定的客观性,但仍然需要人为的进行监管,Raju 等^[36]首次通过无监督聚类来细化 AI 的识别过程,以增强此类过程的可视化,进一步提高了分类和分割结果,为结直肠癌检测的严格基准测试提供了更高的现实性,并朝着临床应用可行性迈出了更高的步伐。

4.3 炎症性肠病(inflammatory bowel disease, IBD) Tontini 等^[39]对 IBD 与 AI 的融合进行了一项研究,表明在 IBD 中,AI 辅助的内镜检查是一个快速发展的研究领域,在实验性临床场景中显示出有希望的技术成果和额外的益处。Furukawa 等^[40]研究的 IBD 诊疗系统,狭窄、鹅卵石外观的纵向溃疡和疤痕的病变检测率在有无 AI 辅助两组中都很出色。当该系统与内窥镜结合使用时,在内窥镜因

狭窄而无法到达的区域显示出轻微的黏膜变化,从而扩大了小肠的观察范围。该系统是一种有用的诊断模式,能够评估黏膜愈合并提供腔外信息。Ang^[41]等的研究也再次强调了上述的观点。值得一提的是,Guerrero 等^[14]开发了第一个已知模型,用于检测 IBD 患者结直肠癌病变的 CADe。该模型使用高清晰度白光内窥镜图像和基于染料的染色内窥镜图像重新训练,对 IBD 相关异型增生的检测灵敏度达 92.3%,显著降低长期炎症患者的 CRC 风险。该研究得出结论,有可能降低 IBD 患者的 CRC 发生率,进一步强调了该 AI 模型在早期检测和干预

中的潜力。

5 AI 在消化内镜治疗中的应用

AI 在消化内镜的大数据识别领域已展现出强大能力,特别是在分析复杂的内镜图像方面。这种技术积累自然推动了更前沿的应用—消化内镜机器人。机器人技术融入胃肠道内镜检查代表着一种变革性的进步,通过提供前所未有的精确度和控制力,在诊断和治疗程序中实现 AI 辅助下的精准治疗^[42]。表 2 展示了代表性消化内镜手术机器人系统技术特点与应用概况。

表 2 代表性消化内镜手术机器人系统技术特点与应用概况

机器人名称	国家	通道数量	是否单人操作	自由度 (DOF)	核心技术	主要应用	优势	局限	临床试验阶段
EndoSAMU-RAI ^[43]	美国	-	是	5 DOF (俯仰/偏航/滚动/伸缩/旋转)	形状记忆合金驱动	微小病变(直径 <5 mm)活检(猪食管模型)	高精度微型操作,适用于精细活检任务	功能相对基础,侧重于诊断性操作	动物实验
MASTER ^[44]	新加坡	2	是	集成力反馈机制(精度达 0.1 N)	主从操作延迟低(< 50 ms),双通道器械协同操作	ESD, EMR (临床研究中病变完整切除率达 92%)	操作稳定,提供力感知增强安全性,双器械协同提升效率,高完整切除率证明治疗潜力	系统相对复杂,集成度高	患者试验
FLEX ^[45]	美国	2	否	待明确	双通道设计	ESD 辅助操作	提供额外器械通道,增加操作灵活性	具体自由度、操控精度及详细性能数据报道较少	动物实验
Endoluminal Surgical system (ELS) ^[46]	美国	-	否	待明确	专为自然腔道内镜手术(NOTES)设计	概念验证性操作	探索更微创的 NOTES 应用场景	公开的技术细节、操控性能和具体应用案例非常有限	动物实验
YUNROBOT 系统 ^[47]	中国	-	是	待明确	柔性机械臂技术与人机交互优化	远程消化内镜检查(通过 5G 网络实现远程操作,平均延迟仅 100 ~ 150 ms)	采用柔性机械臂,操作灵活性高	操作范围有限;特定型号内镜的适配性可能需进一步优化	已通过初步临床验证
TheEndomaster EASE System ^[48]	新加坡	独立工作通道	双操作员	2 个 9-DOF 机械臂(高自由度)	牵引钢丝驱动,独立控制机械臂与内镜平台	设计目标用于胃癌治疗	高自由度机械臂提供灵活操作能力	需双操作员协同,系统配置和操作相对复杂,临床应用数据尚不充分	研发阶段
DREAMS ^[49]	中国	2	单操作	6-DOF 机械臂	兼容商用双通道内镜,为目前报道的最小 ESD 机器人系	在狭窄的食管环境中优势明显	微型化设计,柔性腕结构,双器械协同操作	单操作者偏差	动物实验

首先使用机器人的医疗领域是外科。得益于其持续的发展和革新,NOTES 推动了胃肠道疾病诊断和治疗的发展,使手术更微创。这也有助于消化内镜机器人的进步^[50]。Flex 机器人系统最初于 2013 年在美国开发,用于微创心脏手术。后来陆续被用于头颈部手术,在第三次系统升级后,集成了气体注射系统,扩大了其应用范围至消化系统^[51],其最先以牛作为实验动物,其可以在 3D 高清可视化下进行抓取、切割和缝合。然而,由于多个功能

通道的高度集成,机器人臂的最大弯曲角度受到限制,最大弯曲角度仅 85°(常规内镜可达 180°)。此外,还需要进行大量的随机对照研究来验证该机器人的应用有效性以全面解决实际医疗需求。The Endomaster EASE System 是第一个用于胃癌治疗的机器人,它是一种安装在双通道内镜上的牵引钢丝驱动系统。它有两个九自由度的机械臂和一个用于标准内镜器械的独立工作通道。这是一个双操作员系统,用于从控制台控制机械臂,并从独立内

镜平台调节充气和吸引,这与 Master and Slave Robotic Endoscopy System 配置和操作方式基本相同^[52]。随着时间和技术的推移,消化道操作机器人变得越来越智能化,操作越来越简单。各机器人模型都在追求更高的自由度,也在机械臂的转动角度上不断革新和创造。整体上来讲,与新手医生进行内窥镜检查相比,机器人系统在整体病变切除方面更有效,手术时间更短,穿孔率更低,操作者满意度评分更高^[53]。

6 展望

随着技术的不断进步,AI 在消化内镜早诊早治领域的应用前景广阔。通过多中心、大规模的临床数据训练,AI 系统将能够更好地适应不同地区、不同人群的消化道病变特征,从而提高诊断的准确性和可靠性^[29]。未来能否更好地服务于临床,实现普惠化,还需要完善以下几点:①AI 与内镜技术的深度融合或许能够为临床实践带来更大的便利,不断优化实时辅助系统,能够在内镜检查过程中提供更精准的病变检测和诊断建议,减少漏诊和误诊的发生。②AI 技术与内镜操作的自动化相结合^[28],开发出更加智能的内镜设备。未来的内镜机器人不仅要能够精确控制内镜的运动,还要能够根据 AI 的分析结果自动调整观察角度和焦距,甚至可以在发现可疑病变时自动进行活检操作^[54]。③AI 还可以为术后康复提供支持。通过分析患者的生理数据和影像资料,预测术后并发症的发生风险,并为患者提供个性化的康复方案。④AI 技术的发展将推动消化内镜领域的多学科协作。计算机科学家、医学影像专家、临床医生和生物医学工程师将紧密合作,共同开发和优化 AI 系统。这种跨学科的合作将加速 AI 技术在消化内镜领域的应用和推广,为患者提供更优质的医疗服务。至此,AI 几乎融合到了消化疾病的全流程当中,从患者入院到疾病的诊断,内镜下的治疗以及后期康复都能够在人工智能的支撑下进行。

AI 技术在临床应用中面临诸多挑战:①AI 模型的泛化能力有待提高:目前的研究多基于特定的数据集和人群,模型在不同地区和不同人群中的表现存在差异;②数据多样性和质量控制是影响 AI 性能的关键因素:高质量、多样化的数据对于训练可靠的 AI 模型至关重要;③模型的透明性和可解释性也是亟待解决的问题:目前的深度学习模型大多为“黑箱”模型,其决策过程难以理解,这给临床医生的应用带来了困难;④伦理和责任问题也不容忽视:AI 技术的应用需要明确责任界定,确保患者的安全和权益。由于目前 AI 的安全性以及伦理性还

有待进一步完善,但我们还是有理由相信 AI 会在未来为消化道疾病提供便利。

7 小结

AI 技术在提高消化内镜的诊断准确性和效率方面具有显著优势。在胃病变(幽门螺杆菌感染诊断、风险评估及胃早癌检测)、食管病变(Barrett 食管监测、早期癌识别)和结肠病变(息肉检出、早癌诊断、IBD 相关瘤变筛查)的早期诊断中,AI 系统均表现出优于或至少不劣于人类专家的性能。在治疗领域,AI 驱动的内镜机器人系统展现出巨大潜力。通过提供更高的运动自由度、精确的器械操控和稳定的操作平台,这些系统已在实验模型和早期临床研究中成功应用于复杂内镜手术,如 ESD,显示出提升手术精度、降低操作难度、减少并发症和提高操作者满意度的优势。综上所述,AI 在消化内镜早诊早治中具有巨大的应用潜力,但其临床应用仍需进一步完善。未来,通过多学科协作、大规模临床验证和技术优化,有望克服当前的挑战,推动 AI 在消化内镜领域的规范化应用,实现精准医疗的可持续发展。

【参考文献】

- [1] Wei MT, Friedland S, Hwang JH. The Current Landscape of Endoscopic Submucosal Training in the United States[J]. Curr Gastroenterol Rep, 2025, 27(1):4.
- [2] Xu H, Tang RSY, Lam TYT, et al. Artificial intelligence-assisted colonoscopy for colorectal cancer screening: a multicenter randomized controlled trial[J]. Clin Gastroenterol Hepatol, 2023, 21(2):337-346.
- [3] Sundaram S, Choden T, Mattar MC, et al. Artificial intelligence in inflammatory bowel disease endoscopy: current landscape and the road ahead[J]. Ther Adv Gastrointest Endosc, 2021, 14:26317745211017809.
- [4] Fockens KN, Jong MR, Jukema JB, et al. Barrett's Oesophagus Imaging for Artificial Intelligence (BONS-AI) consortium. A deep learning system for detection of early Barrett's neoplasia: a model development and validation study[J]. Lancet Digit Health, 2023, 5(12):e905-e916.
- [5] Swager AF, van der Sommen F, Klomp SR, et al. Computer-aided detection of early Barrett's neoplasia using volumetric laser endomicroscopy[J]. Gastrointest Endosc, 2017, 86(5):839-846.
- [6] Horie Y, Yoshio T, Aoyama K, et al. Diagnostic outcomes of esophageal cancer by artificial intelligence using convolutional neural networks[J]. Gastrointest Endosc, 2019, 89(1):25-32.
- [7] 王士旭,柯岩,刘雨蒙,等. 内镜下早期食管癌及癌前病变识别人工智能 YOLOv51 模型的建立及临床验证[J]. 中华肿瘤杂志, 2022, 44(5):395-401.
- [8] Tokai Y, Yoshio T, Aoyama K, et al. Application of artificial intelligence using convolutional neural networks in determining the invasion depth of esophageal squamous cell carcinoma[J]. Esophagus, 2020, 17(3):250-256.
- [9] Yang R, Zhang J, Zhan F, et al. Artificial intelligence efficiently predicts gastric lesions, Helicobacter pylori infection and lymph node

- metastasis upon endoscopic images[J]. *Chin J Cancer Res*,2024,36(5):489-502.
- [10]王君潇,董泽华,徐铭,等. 基于人工智能的白光内镜下胃瘤性病变辅助诊断系统研究[J]. *中华消化内镜杂志*, 2023, 40(4): 293-297.
- [11]Urban G, Tripathi P, Alkayali T, et al. Deep Learning Localizes and Identifies Polyps in Real Time With 96% Accuracy in Screening Colonoscopy [J]. *Gastroenterology*,2018,155(4):1069-1078.
- [12]Byrne MF, Chapados N, Soudan F, et al. Real-time differentiation of adenomatous and hyperplastic diminutive colorectal polyps during analysis of unaltered videos of standard colonoscopy using a deep learning model [J]. *Gut*,2019,68(1):94-100.
- [13]Gilabert P, Vitrià J, Laiz P, et al. Artificial intelligence to improve polyp detection and screening time in colon capsule endoscopy [J]. *Front Med (Lausanne)*,2022,9:1000726.
- [14]Guerrero Vinsard D, Fetzer JR, Agrawal U, et al. Development of an artificial intelligence tool for detecting colorectal lesions in inflammatory bowel disease[J]. *iGIE*,2023,2:91-101.
- [15]程洁. 巴雷特食管临床特征及与幽门螺旋杆菌的相关性分析[D]. 乌鲁木齐:新疆医科大学,2024.
- [16]Dumoulin FL, Rodriguez-Monaco FD, Ebigo A, et al. Artificial intelligence in the management of barrett's esophagus and early esophageal adenocarcinoma[J]. *Cancers (Basel)*, 2022, 14(8):1918.
- [17]Skef W, Haydel J, Rao A, et al. High Risk of Persistence and Risk of Dysplasia After Diagnosis of Ultrashort Barrett's Esophagus[J]. *Am J Gastroenterol*,2025,7:10.
- [18]Hassan C, Spadaccini M, Mori Y, et al. Real-Time Computer-Aided Detection of Colorectal Neoplasia During Colonoscopy: A Systematic Review and Meta-analysis[J]. *Ann Intern Med*,2023, 176(9):1209-1220.
- [19]Qi X, Sivak MV, Isenberg G, et al. Computer-aided diagnosis of dysplasia in Barrett's esophagus using endoscopic optical coherence tomography[J]. *J Biomed Opt*,2006,11(4):044010.
- [20]Zhang L, Luo R, Tang D, et al. Human-Like Artificial Intelligent System for Predicting Invasion Depth of Esophageal Squamous Cell Carcinoma Using Magnifying Narrow-Band Imaging Endoscopy: A Retrospective Multicenter Study[J]. *Clin Transl Gastroenterol*, 2023,14(10):e00606.
- [21]Zhang XY, Zhang PY. Gastric cancer: somatic genetics as a guide to therapy[J]. *J Med Genet*,2017,54(5):305-312.
- [22]胡林,李昌荣,李伟峰,等. 完整网膜囊切除在胃癌根治术中应用效果的 Meta 分析[J]. *中国普通外科杂志*,2015,24(4): 547-553.
- [23]Pimenta-Melo AR, Monteiro-Soares M, Libânio D, et al. Missing rate for gastric cancer during upper gastrointestinal endoscopy: a systematic review and meta-analysis [J]. *Eur J Gastroenterol Hepatol*, 2016,28(9):1041-1049.
- [24]Katai H, Ishikawa T, Akazawa K, et al. Registration Committee of the Japanese Gastric Cancer Association. 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.
- [25]Wu L, Zhou W, Wan X, et al. A deep neural network improves endoscopic detection of early gastric cancer without blind spots [J]. *Endoscopy*,2019,51(6):522-531.
- [26]Shen Y, Chen A, Zhang X, et al. Real-Time Evaluation of Helicobacter pylori Infection by Convolution Neural Network During White-Light Endoscopy: A Prospective, Multicenter Study (With Video) [J]. *Clin Transl Gastroenterol*,2023,14(10):e00643.
- [27]Huang CR, Sheu BS, Chung PC, et al. Computerized diagnosis of Helicobacter pylori infection and associated gastric inflammation from endoscopic images by refined feature selection using a neural network [J]. *Endoscopy*,2004,36(7):601-608.
- [28]Renna F, Martins M, Neto A, et al. Artificial Intelligence for Upper Gastrointestinal Endoscopy: A Roadmap from Technology Development to Clinical Practice [J]. *Diagnostics (Basel)*,2022,12(5):1278.
- [29]Sun L, Zhang R, Gu Y, et al. Application of Artificial Intelligence in the diagnosis and treatment of colorectal cancer: a bibliometric analysis, 2004-2023 [J]. *Front Oncol*,2024,14:1424044.
- [30]Djinbachian R, Haumesser C, Taghiakbari M, et al. Autonomous artificial intelligence vs artificial intelligence-assisted human optical diagnosis of colorectal polyps: a randomized controlled trial [J]. *Gastroenterology*,2024,167(2):392-399.
- [31]Zha B, Cai A, Wang G. Diagnostic Accuracy of Artificial Intelligence in Endoscopy: Umbrella Review [J]. *JMIR Med Inform*, 2024,12:e56361.
- [32]Hassan C, Spadaccini M, Iannone A, et al. Performance of artificial intelligence in colonoscopy for adenoma and polyp detection: a systematic review and meta-analysis [J]. *Gastrointest Endosc*,2021,93(1):77-85.
- [33]Glissen Brown JR, Mansour NM, Wang P, et al. Deep Learning Computer-aided Polyp Detection Reduces Adenoma Miss Rate: A United States Multi-center Randomized Tandem Colonoscopy Study (CADET-CS Trial) [J]. *Clin Gastroenterol Hepatol*,2022,20(7): 1499-1507.
- [34]Mohan BP, Facciorusso A, Khan SR, et al. Real-time computer aided colonoscopy versus standard colonoscopy for improving adenoma detection rate: a meta-analysis of randomized-controlled trials [J]. *EClinicalMedicine*,2020,29-30:100622.
- [35]吴志丰,姚理文,吴练练,等. 人工智能在结直肠癌及其癌前病变组织学诊断中的研究进展[J]. *现代肿瘤医学*,2025,33(2): 327-334.
- [36]Raju ASN, Venkatesh K, Gatla RK, et al. Colorectal cancer detection with enhanced precision using a hybrid supervised and unsupervised learning approach [J]. *Sci Rep*,2025,15(1):3180.
- [37]Shi J, Su Q, Zhang C, et al. An intelligent decision support algorithm for diagnosis of colorectal cancer through serum tumor markers [J]. *Comput Methods Programs Biomed*,2010,100(2):97-107.
- [38]Wallace MB, Sharma P, Bhandari P, et al. Impact of Artificial Intelligence on Miss Rate of Colorectal Neoplasia [J]. *Gastroenterology*,2022,163(1):295-304.
- [39]Tontini GE, Rimondi A, Vernero M, et al. Artificial intelligence in gastrointestinal endoscopy for inflammatory bowel disease: a systematic review and new horizons [J]. *Therap Adv Gastroenterol*,2021, 14:17562848211017730.
- [40]Furukawa K, Oda M, Watanabe O, et al. Artificial intelligence-based diagnostic imaging system with virtual enteroscopy and virtual unfolded views to evaluate small bowel lesions in Crohn's disease[J]. *Rev Esp Enferm Dig*,2025,117(6):342-343.

- [41] Ang TL, Wang LM. Artificial intelligence for the diagnosis of dysplasia in inflammatory bowel diseases[J]. J Gastroenterol Hepatol, 2022,37(8):1469-1470.
- [42] Nabi Z, Manchu C, Reddy DN. Robotics in interventional endoscopy-evolution and the way forward[J]. Indian J Gastroenterol, 2024, 43(5):966-975.
- [43] Gifari MW, Naghibi H, Stramigioli S, et al. A review on recent advances in soft surgical robots for endoscopic applications[J]. Int J Med Robot, 2019, 15(5):e2010.
- [44] Phee SJ, Low SC, Huynh VA, et al. Master and slave transluminal endoscopic robot (MASTER) for natural orifice transluminal endoscopic surgery (NOTES) [J]. AnnuInt Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2009, 2009:1192-1195.
- [45] Arezzo A, Forcignanò E, Morino M, et al. Robotic endoscopic submucosal dissection and full-thickness excision for laterally spreading tumors of the rectum[J]. Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies, 2022, 31(3): 377-379.
- [46] Jamot S, Rothstein R. Expanding a new frontier: endoscopic submucosal dissection by use of a robotic endoluminal system[J]. Gastrointest Endosc, 2021, 93(5): 1178-1180.
- [47] 杨云生, 闫斌. 软式内镜机器人及其远程操作[J]. 中华内科杂志, 2023, 62(1): 4-6.
- [48] Chiu PWY, Yip HC, Chu S, et al. Prospective single-arm trial on feasibility and safety of an endoscopic robotic system for colonic endoscopic submucosal dissection[J]. Endoscopy, 2025, 57(3): 240-246.
- [49] Yang X, Gao H, Fu S, et al. Novel miniature transendoscopic telerebotic system for endoscopic submucosal dissection (with videos) [J]. Gastrointest Endosc, 2024, 99(2):155-165.
- [50] Kuai Y, Li J, Chen Z, et al. Development of therapeutic digestive endoscopy robots: a narrative review[J]. Wideochir Inne Tech Malo-inwazyjne, 2024, 19(4):414-420.
- [51] Gifari MW, Naghibi H, Stramigioli S, et al. A review on recent advances in soft surgical robots for endoscopic applications[J]. Int J Med Robot, 2019, 15(5):e2010.
- [52] Phee SJ, Low SC, Huynh VA, et al. Master and slave transluminal endoscopic robot (MASTER) for natural orifice transluminal endoscopic surgery (NOTES) [J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2009, 2009:1192-1195.
- [53] Ke X, Cai X, Bian B, et al. Predicting early gastric cancer risk using machine learning: A population-based retrospective study[J]. Digit Health, 2024, 10:20552076241240905.
- [54] Kim BG, Choi HS, Park SH, et al. A pilot study of endoscopic submucosal dissection using an endoscopic assistive robot in a porcine stomach model[J]. Gut Liver, 2019, 13: 402-408.

(收稿日期:2025-07-10;修回日期:2025-08-27)

(本文编辑:林 赞)

《实用医院临床杂志》征订启事

《实用医院临床杂志》由四川省医学科学院·四川省人民医院主办,2004 年正式公开发行人,中国标准连续出版物号:CN51-1669/R,ISSN 1672-6170。双月刊。自 2005 年以来,连续 20 年被评为《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊;自 2008 年以来,连续 17 年入选《中国科技期刊引证报告(核心版)》;2014 年成为国家新闻出版广电总局第一批认定的学术期刊。《实用医院临床杂志》为中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊),2024 年版《中国科技期刊引证报告(扩刊版)》影响因子 2.837,在我国 57 种临床医学综合期刊中排名第 8 位。2024 年入选四川省科协“一流科技期刊”培育示范项目,以及西部科技期刊发展论坛第四届“西牛计划”之优秀中文科技期刊和优秀创新平台。

本刊以每期进行专题讨论为特色,主要栏目有专题讨论、专家论坛、基础研究、临床研究与实践、综述等。围绕医学领域内的热点、难点问题进行讨论,介绍各专业领域新理论、新观念、新知识、新技术、新名词,充分体现了临床实用性和多学科综合性的特点,对各级医务人员的临床实践具有较好的指导作用。希望广大读者一如既往的关心和支持本刊,积极订阅。

本刊为双月刊,大 16 开本,220 页,每册 20.00 元,全年 120 元,全国各地邮局均可订阅(邮发代号:62-261)。地址:四川省成都市一环路西二段 32 号四川省医学科学院·四川省人民医院内《实用医院临床杂志》编辑部,邮编:610072。

官网:<http://syylczz.scsyxxx.com>;8907。电话:028-87394696,87394697,87714683。

Email:syyle@sina.com。

本刊编辑部