

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2023.06.007
文章编号: 1005-8982 (2023) 06-0037-06

上消化道疾病专题·综述

人工智能技术在早期胃癌内镜诊断中的应用进展*

窦维佳, 康林, 刘喜, 程浩, 周金池, 刘震雄

(中国人民解放军空军军医大学唐都医院 消化内科, 陕西 西安 710038)

摘要: 近年来, 基于深度学习的人工智能技术在图像识别方面取得了显著进步, 并被广泛应用于临床医学研究。在早期胃癌诊断领域, 因肿瘤不易发现的特性成为内镜医师镜下诊断的难题。而人工智能技术与消化内镜相结合, 在慢性萎缩性胃炎和肠上皮化生的识别、幽门螺杆菌感染状态的判断、早期胃癌及癌前病变的诊断、肿瘤浸润深度的预测等方面均显示出良好的应用价值。该文对人工智能技术在早期胃癌中的临床应用进行阐述, 并讨论存在的问题和挑战, 预测未来可能的应用前景。

关键词: 早期胃癌; 人工智能; 癌前病变; 内镜

中图分类号: R735.2

文献标识码: A

Advances in the application of artificial intelligence in the endoscopic diagnosis of early gastric cancer*

Dou Wei-jia, Kang Lin, Liu Xi, Cheng Hao, Zhou Jin-chi, Liu Zhen-xiong
(Department of Gastroenterology, Tangdu Hospital, Air Force Medical University,
Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract: In recent years, artificial intelligence technology based on deep learning algorithm has made remarkable progress in image recognition and has been widely used in clinical medical researches. As for early gastric cancer, the tumor is usually undetectable and is therefore difficult for endoscopists to make a diagnosis. The combination of artificial intelligence and endoscopy has been playing critical roles in the identification of chronic atrophic gastritis and intestinal metaplasia, the diagnosis of Helicobacter Pylori infection, early gastric cancer and precancerous lesions, and the prediction of the depth of tumor invasion. This review will summarize the clinical application of artificial intelligence in early gastric cancer, discuss its existing problems and challenges, and predict its possible application prospects in the future.

Keywords: early gastric cancer; artificial intelligence; precancerous lesions; endoscopy

胃癌(gastric cancer, GC)是世界上第5大常见癌症,病死率排第4位^[1]。通常胃癌患者的预后与肿瘤分期密切相关,进展期癌患者预后较差,5年生存率<20%,若能及时发现早期胃癌(early gastric cancer, EGC)并治疗,5年生存率>90%^[2]。因此,GC的早诊、早治十分重要。

消化内镜作为消化道肿瘤最有效的检测和诊

断工具,被广泛应用于消化道EGC诊治和高危人群的筛查中。然而内镜检测的准确性与内镜医生的经验密切相关,且常受到胃肠道内各种因素的影响。虽然近年来随着内镜技术的进步,如染色内镜、窄带成像技术(narrow band imaging, NBI)、蓝激光成像(blue laser imaging, BLI)技术以及放大内镜等可以帮助内镜医师显著提高消化道EGC的检出率。

收稿日期: 2022-12-08

* 基金项目: 陕西省重点研发计划(No:2021SF-182)

[通信作者] 刘震雄, E-mail: liuzhx816@126.com; Tel: 13572276166

但是由于胃部炎症病变较多,EGC常在胃黏膜炎症背景下出现,且病变范围较小,与周围黏膜差异不明显^[3-5],使得很难被识别,极易漏诊。据估计,上消化道内镜检测EGC的假阴性率达4.6%~25.8%^[6]。因此,内镜医生需要经过长期的专门培训和大量的经验积累才能正确地发现胃癌,临床上也需要更准确、客观的EGC检测方法。

最近基于深度学习技术的人工智能(artificial intelligence, AI)因无需编写复杂的图像处理算法,即可对病灶图像进行分类和识别而引起了广泛关注^[7]。并越来越多地应用于医疗诊治领域,在皮肤癌的分类、放射肿瘤学和糖尿病视网膜病变的诊断、胃活检的组织学分类、结肠病变的内镜特征诊断等方面展示出良好的应用价值^[8-14]。在消化病学领域, AI与消化内镜技术相结合,辅助内镜医师快速准确地发现EGC亦是目前研究的热点。本文旨在对AI系统在EGC方面的文献进行综述,探讨研究中存在的问题和可能遇到的挑战,展望其临床应用价值和潜力。

1 AI在慢性萎缩性胃炎和肠上皮化生中的应用

根据胃癌的发展模式,肠型胃癌是在胃黏膜慢性炎症的基础上,各种致癌因素不断刺激诱发一系列癌前疾病,如慢性萎缩性胃炎(chronic atrophic gastritis, CAG)、肠上皮化生(intestinal metaplasia, IM)以及异型增生等癌前疾病和癌前病变,最终导致胃癌的发生^[15]。实现CAG的早发现、早诊断、早治疗是预防胃癌的有效手段。我国CAG患病率很高,但诊断率仅为17.7%~25.8%^[16]。病理是诊断CAG的金标准,但内镜下准确部位的活检依赖于内镜医师的经验,这使得内镜诊断萎缩的敏感性仅为42%,特异性为91%^[17],漏诊率较高。另外,根据新悉尼慢性胃炎分类指南^[18-19]要求对怀疑CAG的患者需要有≥5点不同部位的活检,而多点活检会增加胃黏膜损伤和出血的风险。因此,如何提高内镜下CAG的病理诊断符合率一直是备受关注的临床热点。GUIMARÃES等^[20]提出视觉几何组(visual geometry group, VGG)16的深度学习模型诊断CAG,以近端胃内镜图像对该模型进行训练,进一步验证后发现CAG的诊断精度高达93%[曲线下面积(area under the curve, AUC)为0.98],均显著优于内镜医师。

ZHANG等^[21]收集了病理标记过的5470张胃窦图像,其中3042张为萎缩性胃炎,研究人员设计并训练了一个基于卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)的CAG诊断模型,发现准确性、敏感性、特异性分别为0.942、0.945和0.940,均高于内镜医师,而对轻、中、重度萎缩性胃炎检出率分别为93%、95%和99%,提示AI诊断CAG准确性较高,且对不同程度的CAG均有良好的诊断效能,可广泛应用于临床实践。XU等^[22]利用深度卷积神经网络(deep learning convolutional neural network, DCNN)开发了计算机辅助检测系统,回顾性收集5家医院的内镜图像进行系统的开发、验证和内外测试,随后开展前瞻性研究,评估实时诊断CAG和IM的临床适用性。该研究发现CAG的诊断准确性在内部测试集为0.901(95% CI:0.883, 0.917),在多中心外部测试集为0.864(95% CI:0.842, 0.884),在前瞻性视频测试集为0.878(95% CI:0.796, 0.935)。IM的诊断准确性在内部测试集为0.908(95% CI:0.889, 0.924),在多中心外部测试集为0.859(95% CI:0.837, 0.880),在前瞻性视频测试集为0.898(95% CI:0.820, 0.950),准确率与内镜专家检测相似。ZHAO等^[23]进行了1项前瞻性队列研究,研究基于深度学习的内镜CAG实时视频监控诊断模型对CAG及IM诊断的准确性,证实能显著提高内镜下CAG的诊断率,对中重度萎缩和重度肠化的诊断比例增加尤为明显,并优于内镜医师的诊断准确性。

2 AI检测幽门螺杆菌感染中的应用

幽门螺杆菌(helicobacter pylori, HP)感染与胃癌的发生、发展密切相关^[24]。HP可引起CAG、消化性溃疡、IM,最终导致胃癌^[15,25]。根除HP可显著改善胃黏膜萎缩状态,抑制IM的发展,降低胃癌的发生。因此,正确判断HP感染对避免胃癌的发生、发展十分重要。标准内镜检查时可以通过胃黏膜的状态识别是否存在HP感染。有文献报道,胃黏膜肿胀、弥漫性发红、皱襞粗大或呈结节样是HP阳性胃炎的特征性表现,而HP阴性时胃黏膜表面可见排列规则的小静脉和基底腺息肉^[26]。然而,通过内镜识别HP感染取决于内窥镜医生的经验和技能,需要经过大量的训练^[27],不仅耗时,且主观性较强,极易导致假阳性和假阴性结果,AI在这方面却显示出极大的优势。SHICHIJO等^[28]利用22层深度CNN模型

对HP阳性及阴性内镜图像训练、验证,并与23例内镜医师的评估结果进行比较,证实CNN模型诊断HP感染的敏感性、特异性、准确性和诊断时间分别为81.9%、83.4%、83.1%和198 s,23名内镜医师分别为79.0%、83.2%、82.4%、(230±65)min,证实CNN诊断准确率更高,时间更短。随后,该研究组又纳入了HP根除后的内镜图像,再次进行验证,对HP阴性图像的诊断为80%,根除后为84%,阳性的为48%,与经验丰富的内镜医生相当,提示此系统可在不知道感染的情况下,在内镜检查过程中实现HP感染的风险分层,从而减少内镜医生的工作量^[29]。ITO等^[30]同样利用CNN诊断HP感染,敏感性和特异性分别为86.7%和86.7%,AUC为0.956,提示CNN可在内镜筛查中辅助诊断HP感染。NAKASHIMA等^[31]进行的1项单中心前瞻性研究中,收集HP阳性的BLI及联动成像技术内镜图像训练AI,发现白光下AI诊断HP感染的AUC为0.66,BLI及联动成像技术分别为0.96和0.95,显著高于白光内镜组,该结果表明在增强内镜图像中,AI仍有预测HP感染状态的良好效能。

2.1 AI在诊断EGC中的应用

2017年KANESAKA等^[32]设计了计算机辅助诊断(computer-aided diagnosis, CAD)系统帮助内镜医生识别EGC、确定病变边界,以放大窄带成像(magnifying narrow-band imaging, ME-NBI)训练及验证,发现CAD系统诊断准确率为96.3%,敏感性为96.7%,特异性为95%,诊断速度为每幅图像(0.41±0.01)s,表明CAD系统在实时诊断EGC及标记病变方面潜力巨大。HIRASAWA等^[33]应用基于单镜头多盒检测体系结构的CNN系统诊断EGC,其总体敏感性为92.2%,阳性预测值(positive predictive value, PPV)为30.6%,可识别的最小病变为6 mm,未发现的病变均为浅表凹陷和未分化型黏膜内癌。WU等^[34]开发DCNN系统不仅训练其检测EGC,还训练DCNN监测内镜图像的盲点,DCNN鉴别EGC的准确性为92.5%,敏感性为94.0%,特异性为91.0%,PPV为91.3%,阴性预测值为93.8%,并实现了监控盲点的自动化性能。随后该团队进一步开发了内镜精灵(artificial intelligence-assisted diagnosis system for digestive endoscopy, ENDOANGEL)系统,在5家医院进行随机对照研究,评估ENDOANGEL系统监测盲点情况及预测EGC的能力,发现ENDOANGEL组盲

点显著减少,检测胃癌单个病变的准确性为84.7%,敏感性为100.0%,特异性为84.3%,ENDOANGEL系统可提高内镜检查的质量,并具有实时检测EGC的潜力^[35]。随后该团队又利用ENDOANGEL系统诊断放大图像增强内镜中的EGC,经过训练及验证后,利用内镜视频评价ENDOANGEL-ME识别EGC的能力,在实际临床实践中,ENDOANGEL-ME病灶诊断的敏感性为92.59%,准确性为83.67%,表现出良好的临床应用价值^[36]。HORIUCHI等^[37]探讨ME-NBI图像下CNN系统鉴别诊断胃炎和EGC的能力,发现CNN系统对ME-NBI图像的诊断准确率为85.3%,敏感性、特异性、PPV和NPV分别为95.4%、71.0%、82.3%和91.7%,整体测试速度为0.02 s/张,结果表明该系统可短时间内鉴别EGC和胃炎,具有补充目前ME-NBI诊断的临床潜力。此外,HORIUCHI等^[38]还应用ME-NBI视频验证CAD系统,该系统AUC为0.8684,准确性、敏感性、特异性、PPV和NPV分别为85.1%、87.4%、82.8%、83.5%和86.7%,其准确性相当于或优于内镜专家的诊断结果。YAO等^[39]利用内镜图像训练并验证其开发的快速、准确诊断EGC内镜图像的AI系统EGC-YOLO3,发现EGC-YOLO3在2个不同试验集中均具有较高的EGC诊断能力,而JIN等^[40]则建立7个不同训练集模型测试EGC-YOLOV4系统,研究证实EGC-YOLOV4能快速、准确地识别EGC病变,具有良好的泛化能力,且训练集中阳性和阴性样本的比例会影响AI的整体诊断性能。TANG等^[41]再次利用YOLOv3系统检测其在NBI图像和视频中鉴别EGC的能力,研究结果表明该系统AUC为0.888~0.951,并在视频数据集中检出了全部的EGC,准确率93.2%,优于高级和初级内镜医师,显著提高了高级和初级内镜医师的诊断水平,具有潜在的辅助作用。

2.2 AI在诊断EGC深度中的应用

随着内镜诊疗技术的发展,内镜微创治疗是治疗浸润深度在胃黏膜层或胃黏膜下浅层病变的首选治疗方式。因此,基于内镜图像准确预测浸润深度对筛选内镜切除患者至关重要。目前,内镜医师主要通过白光内镜、染色内镜或超声内镜判断胃癌的浸润深度,3种方式对胃癌浸润深度诊断的准确性无统计学差异,为69%~79%^[42-45],且多取决于内镜医生在识别早期病变内镜特征方面的经验。因此,临床中需要一种更准确、客观地诊断胃癌浸润深度

的方法。ZHU等^[46]使用CNN-CAD系统确定胃癌浸润深度,研究发现该系统AUC为0.94,敏感性为76.47%,特异性为95.56%,总体准确率为89.16%,而PPV及NPV分别为89.66%和88.97%,其中CNN-CAD的准确率以及特异性均显著高于内镜医师,表明该系统可区分EGC与黏膜下深浸润癌,并尽量减少对浸润深度过度评估,减少不必要的胃切除术。YOON等^[47]采用基于VGG-16模型的AI系统鉴别非肿瘤病变、T1a期胃癌以及T1b期胃癌,发现其对浸润深度预测的AUC为0.851,但AI预测肿瘤深度的因素中仅在分化型癌中显示出明显相关性及较高的准确性,未分化型癌AI预测的准确性较低。因此对于未分化癌还需要进一步的改进和验证。NAGAO等^[48]使用3个独立的AI系统分别预测白光内镜、NBI内镜以及染色内镜下EGC浸润深度,发现其准确性分别为94.5%、94.3%及95.5%,且差异无统计学意义。BANG等^[49]利用自动深度学习系统进行了1项关于胃癌深度预测的多中心前瞻性验证研究,发现外部验证的准确性为89.3%。虽然内镜专家的判断不受该系统的影响,但内镜培训生和普通医生却可以从系统辅助中获益。GOTO等^[50]采用AI分级系统帮助内镜医师预测胃癌浸润深度,研究发现当AI与内镜医师合作时,其准确性、敏感性和特异性分别为79.6%、74.4%和84.8%,PPV与敏感性的调和平均值为0.785,显著高于单独的AI系统或内镜医师,提示AI与内镜医师合作可提高EGC浸润深度的诊断能力。

3 总结

虽然越来越多的研究显示AI技术在EGC中具有良好的诊断效能,但仍存在一些问题:首先,针对EGC诊断的AI研究大部分为来自于我国和日本的回顾性研究,且多使用高质量静态图片,而不包括模糊不清或被黏液胆汁覆盖的低质量图片,这可能会造成过度拟合,夸大AI诊断的准确性,且不能完全代表AI在真实临床中的实际应用情况。其次,各项研究中很少提及EGC的病理分型,并没有区分分化型癌和未分化型癌,另外HP阴性胃癌或胃底腺型胃癌等少见类型的胃癌同样很少涉及,可能导致AI诊断这部分肿瘤时发生误诊、漏诊。再次,虽然大多数研究采用CNN系统进行后续研究,但也有许

多机构选择开发自己的算法。这样可能是有益的,因为算法的多样性可促进计算能力的提高推动更复杂算法的出现,缩短计算机对所获得的图像进行分析所需的时间。但同时训练AI系统需要大量数据及输入,在这个过程中可能会导致医师做多余的工作。最后,AI技术只能作为医师的辅助工具,增强专业认知能力。即使AI取得了和专家相当的诊断性能,医师也要避免过度依赖,AI始终是不能替代人类的。

虽然仍存在一些问题和局限性,但是许多研究已经证实AI在EGC诊断中的应用价值。相信未来在输入足够信息并经过多中心前瞻性随机对照研究验证后,AI对EGC的诊断会有更好的表现,AI将有可能改变EGC的管理,成为医师的辅助工具,为患者提供更好的医疗服务。

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] NIU P H, HUANG H, ZHAO L L, et al. Clinicopathological characteristics, survival outcomes, and genetic alterations of younger patients with gastric cancer: results from the China National Cancer Center and cBioPortal datasets[J]. *Cancer Med*, 2022, 11(16): 3057-3073.
- [3] 赫捷, 陈万青, 李兆申, 等. 中国胃癌筛查与早诊早治指南(2022, 北京)[J]. *中国肿瘤*, 2022, 31(7): 488-527.
- [4] YOUNG E, PHILPOTT H, SINGH R. Endoscopic diagnosis and treatment of gastric dysplasia and early cancer: current evidence and what the future may hold[J]. *World J Gastroenterol*, 2021, 27(31): 5126-5151.
- [5] 王萍, 李鹏, 陈紫暄, 等. 中国整合胃癌前病变临床管理指南[J]. *胃肠病学*, 2021, 26(2): 91-111.
- [6] 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.
- [7] MINAEE S, BOYKOV Y, PORIKLI F, et al. Image segmentation using deep learning: a survey[J]. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 2022, 44(7): 3523-3542.
- [8] ATTALLAH O, SHARKAS M. Intelligent dermatologist tool for classifying multiple skin cancer subtypes by incorporating manifold radiomics features categories[J]. *Contrast Media Mol Imaging*, 2021, 2021: 7192016.
- [9] 林奕军, 杨光耀, 蒋耀先, 等. 基于深度学习测量X线片髋关节外侧中心边缘角和Sharp角评估髋关节发育不良[J]. *中国医学*

- 影像技术, 2022, 38(11): 1710-1714.
- [10] 范家伟, 张如如, 陆萌, 等. 深度学习方法在糖尿病视网膜病变诊断中的应用[J]. 自动化学报, 2021, 47(5): 985-1004.
- [11] 潘雅婷, 廖心怡, 于观贞. 人工智能在肿瘤病理诊断及临床决策中的展望[J]. 第二军医大学学报, 2021, 42(10): 1168-1174.
- [12] HUANG B L, TIAN S, ZHAN N, et al. Accurate diagnosis and prognosis prediction of gastric cancer using deep learning on digital pathological images: a retrospective multicentre study[J]. EBioMedicine, 2021, 73: 103631.
- [13] THOMAS D J, SINGH D. Applications of artificial intelligence and deep learning in colorectal cancer surgery - correspondence [J]. Int J Surg, 2022, 108: 106980.
- [14] 王啸, 黄鉴, 吉祥, 等. 人工智能在结肠息肉检测与分类中的应用[J]. 南方医科大学学报, 2021, 41(2): 310-313.
- [15] SUN D Q, LEI L, XIA C F, et al. Sociodemographic disparities in gastric cancer and the gastric precancerous cascade: a population-based study[J]. Lancet Reg Health West Pac, 2022, 23: 100437.
- [16] DU Y Q, BAI Y, XIE P, et al. Chronic gastritis in China: a national multi-center survey[J]. BMC Gastroenterol, 2014, 14: 21.
- [17] FANG J Y, DU Y Q, LIU W Z, et al. Chinese consensus on chronic gastritis (2017, Shanghai) [J]. J Dig Dis, 2018, 19(4): 182-203.
- [18] DIXON M F, GENTA R M, YARDLEY J H, et al. Classification and grading of gastritis. The updated Sydney system. International Workshop on the Histopathology of Gastritis, Houston 1994[J]. Am J Surg Pathol, 1996, 20(10): 1161-1181.
- [19] BOGOMOLETZ W V. The "Sydney system": a consensus approach to gastritis. Is a new "classification" necessary? [J]. Gastroenterol Clin Biol, 1991, 15(12): 925-928.
- [20] GUIMARÃES P, KELLER A, FEHLMANN T, et al. Deep-learning based detection of gastric precancerous conditions[J]. Gut, 2020, 69(1): 4-6.
- [21] ZHANG Y Q, LI F X, YUAN F Q, et al. Diagnosing chronic atrophic gastritis by gastroscopy using artificial intelligence[J]. Dig Liver Dis, 2020, 52(5): 566-572.
- [22] XU M, ZHOU W, WU L L, et al. Artificial intelligence in the diagnosis of gastric precancerous conditions by image-enhanced endoscopy: a multicenter, diagnostic study (with video) [J]. Gastrointest Endosc, 2021, 94(3): 540-548.e4.
- [23] ZHAO Q C, CHI T Y. Deep learning model can improve the diagnosis rate of endoscopic chronic atrophic gastritis: a prospective cohort study[J]. BMC Gastroenterol, 2022, 22(1): 133.
- [24] 马刚, 张汝鹏, 梁寒. 幽门螺杆菌与胃癌相关的研究进展[J]. 中国肿瘤临床, 2023, 50(1): 44-48.
- [25] 刘文忠. «幽门螺杆菌感染的处理: 马斯特里赫特VI/佛罗伦萨共识报告»解读[J]. 胃肠病学, 2021, 26(11): 676-686.
- [26] RUPP S, PAPAETHYMIU A, CHATZIMICHAEL E, et al. Diagnostic approach to *Helicobacter pylori*-related gastric oncogenesis[J]. Ann Gastroenterol, 2022, 35(4): 333-344.
- [27] TOYOSHIMA O, NISHIZAWA T, KOIKE K. Endoscopic Kyoto classification of *Helicobacter pylori* infection and gastric cancer risk diagnosis[J]. World J Gastroenterol, 2020, 26(5): 466-477.
- [28] SHICHIJO S, NOMURA S, AOYAMA K, et al. Application of convolutional neural networks in the diagnosis of *Helicobacter pylori* infection based on endoscopic images[J]. EBioMedicine, 2017, 25: 106-111.
- [29] SHICHIJO S, ENDO Y, AOYAMA K, et al. Application of convolutional neural networks for evaluating *Helicobacter pylori* infection status on the basis of endoscopic images[J]. Scand J Gastroenterol, 2019, 54(2): 158-163.
- [30] ITOH T, KAWAHIRA H, NAKASHIMA H, et al. Deep learning analyzes *Helicobacter pylori* infection by upper gastrointestinal endoscopy images[J]. Endosc Int Open, 2018, 6(2): E139-E144.
- [31] NAKASHIMA H, KAWAHIRA H, KAWACHI H, et al. Artificial intelligence diagnosis of *Helicobacter pylori* infection using blue laser imaging-bright and linked color imaging: a single-center prospective study[J]. Ann Gastroenterol, 2018, 31(4): 462-468.
- [32] KANESAKA T, LEE T C, UEDO N, et al. Computer-aided diagnosis for identifying and delineating early gastric cancers in magnifying narrow-band imaging[J]. Gastrointest Endosc, 2018, 87(5): 1339-1344.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] HE X Q, WU L L, DONG Z H, et al. Real-time use of artificial intelligence for diagnosing early gastric cancer by magnifying image-enhanced endoscopy: a multicenter diagnostic study (with videos)[J]. Gastrointest Endosc, 2022, 95(4): 671-678.e4.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] YAO Z D, JIN T, MAO B N, et al. Construction and multicenter diagnostic verification of intelligent recognition system for endoscopic images from early gastric cancer based on YOLO-V3

- algorithm[J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 815951.
- [40] JIN T, JIANG Y C, MAO B N, et al. Multi-center verification of the influence of data ratio of training sets on test results of an AI system for detecting early gastric cancer based on the YOLO-v4 algorithm[J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 953090.
- [41] TANG D H, NI M H, ZHENG C, et al. A deep learning-based model improves diagnosis of early gastric cancer under narrow band imaging endoscopy[J]. *Surg Endosc*, 2022, 36(10): 7800-7810.
- [42] LIU Q, DING L, QIU X W, et al. Updated evaluation of endoscopic submucosal dissection versus surgery for early gastric cancer: a systematic review and meta-analysis[J]. *Int J Surg*, 2020, 73: 28-41.
- [43] CHOI J, KIM S G, IM J P, et al. Comparison of endoscopic ultrasonography and conventional endoscopy for prediction of depth of tumor invasion in early gastric cancer[J]. *Endoscopy*, 2010, 42(9): 705-713.
- [44] 林波, 栗兴, 黄虹玉, 等. 普通白光内镜、超声内镜及放大内镜结合窄带显像在早期胃癌内镜治疗适应症中的临床价值[J]. *四川大学学报(医学版)*, 2022, 53(1): 154-159.
- [45] YANAI H, NOGUCHI T, MIZUMACHI S, et al. A blind comparison of the effectiveness of endoscopic ultrasonography and endoscopy in staging early gastric cancer[J]. *Gut*, 1999, 44(3): 361-365.
- [46] ZHU Y, WANG Q C, XU M D, et al. Application of convolutional neural network in the diagnosis of the invasion depth of gastric cancer based on conventional endoscopy[J]. *Gastrointest Endosc*, 2019, 89(4): 806-815.e1.
- [47] YOON H J, KIM S, KIM J H, et al. A lesion-based convolutional neural network improves endoscopic detection and depth prediction of early gastric cancer[J]. *J Clin Med*, 2019, 8(9): 1310.
- [48] NAGAO S, TSUJI Y, SAKAGUCHI Y, et al. Highly accurate artificial intelligence systems to predict the invasion depth of gastric cancer: efficacy of conventional white-light imaging, nonmagnifying narrow-band imaging, and indigo-carmin dye contrast imaging[J]. *Gastrointest Endosc*, 2020, 92(4): 866-873.e1.
- [49] BANG C S, LIM H, JEONG H M, et al. Use of endoscopic images in the prediction of submucosal invasion of gastric neoplasms: automated deep learning model development and usability study[J]. *J Med Internet Res*, 2021, 23(4): e25167.
- [50] GOTO A, KUBOTA N, NISHIKAWA J, et al. Cooperation between artificial intelligence and endoscopists for diagnosing invasion depth of early gastric cancer[J]. *Gastric Cancer*, 2023, 26(1): 116-122.

(李科 编辑)

本文引用格式: 窦维佳, 康林, 刘喜, 等. 人工智能技术在早期胃癌内镜诊断中的应用进展[J]. *中国现代医学杂志*, 2023, 33(6): 37-42.

Cite this article as: DOU W J, KANG L, LIU X, et al. Advances in the application of artificial intelligence in the endoscopic diagnosis of early gastric cancer[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2023, 33(6): 37-42.