

# 人工智能辅助内镜下识别食管癌研究进展

王 浩, 刘 虹, 张贝贝, 李国栋\*

山东第一医科大学第一附属医院(山东省千佛山医院)消化内科, 山东 济南

收稿日期: 2024年8月12日; 录用日期: 2024年9月5日; 发布日期: 2024年9月12日

## 摘 要

食管癌目前我国最常见的癌症之一, 食管癌及时的发现及治疗能明显延长患者生存期。随着计算机技术的日益进步, 越来越多基于深度学习技术的计算机辅助诊断模型应用于消化系统疾病的研究当中。目前基于深度学习技术建立的模型已经部分应用于消化内镜下辅助诊断食管癌, 并且获得较高诊断率, 本文就目前的研究进展做出总结, 并对其未来方向做出预测。

## 关键词

食管癌, 人工智能, 深度学习, 消化内镜

# Research Progress on Artificial Intelligence-Assisted Endoscopic Identification of Esophageal Cancer

Hao Wang, Hong Liu, Beibei Zhang, Guodong Li\*

Department of Gastroenterology, The First Affiliated Hospital of Shandong First Medical University (Shandong Provincial Qianfoshan Hospital), Jinan Shandong

Received: Aug. 12<sup>th</sup>, 2024; accepted: Sep. 5<sup>th</sup>, 2024; published: Sep. 12<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Esophageal cancer is currently one of the most common cancers in China, and timely detection and treatment of esophageal cancer can significantly prolong the survival of patients. With the advancement of computer technology, more and more computer-aided diagnostic models based on deep learning technology are applied to the study of digestive diseases. At present, the model based on deep learning technology has been partially applied to the auxiliary diagnosis of esophageal cancer

\*通讯作者。

文章引用: 王浩, 刘虹, 张贝贝, 李国栋. 人工智能辅助内镜下识别食管癌研究进展[J]. 临床医学进展, 2024, 14(9): 715-720. DOI: 10.12677/acm.2024.1492521

under digestive endoscopy, and has obtained a high diagnosis rate. This article reviews the current research progress and looks forward to its future.

## Keywords

Esophageal Cancer, Artificial Intelligence, Deep Learning, Digestive Endoscopy

Copyright © 2024 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

食管癌是全世界范围内最常见的恶性肿瘤之一，我国是世界范围内食管癌的高发地区，我国食管癌的发病率及死亡率分别位列全部恶性肿瘤的第6位及第4位[1]。食管癌的早期发现及早期治疗对于延长患者的生存预期尤为重要，早期食管癌内镜下的完全切除率可达90%以上[2]，因此能否早期发现病变是食管癌诊疗过程中的重要一环。

早期食管癌没有特征性的临床表现及明显的辅助检查异常，早期食管癌均为内镜下筛查发现，其内镜下特征为片状黏膜发红，食管上皮乳头内毛细血管襻(intrapapillary capillary loops, IPCL)改变等，但是部分疾病如食管炎也具有类似表现。因此食管癌的诊出率在不同医师及地区之间存在较大差异[3]，如何帮助低年资医师及地区经济欠发达地区医师提高食管癌的诊出率就成为食管癌筛查的重点。

基于卷积神经网络技术(convolutional neural network, CNN)的人工智能(artificial intelligence, AI)模型近年来越来越多的应用于消化系统疾病的诊断[4] [5]，AI 通过学习大量内镜图片中的特征性标志，将上述特征逐级转化为逻辑语言，从而应用简单的模型即可学习复杂的功能[6]。AI 目前在识别消化系统癌症当中已取得令人满意的成绩，本文就 AI 辅助识别食管癌的相关研究进行综述，并对其未来的发展进行展望。

## 2. 人工智能及卷积神经网络

人工智能通过模仿人脑的工作原理，用来解决复杂问题。其中的一种方式便是对输入输出的数据进行相应的学习，以获取其内部存在的规律及关系。卷积神经网络是一种深度学习模型，属于人工神经网络(artificial neural network, ANN)中的一种，主要用于图像识别和计算机视觉任务。其基本原理是通过多层卷积层和池化层来提取图像的特征并通过全连接层进行分类或回归。包括卷积层、激活函数、池化层、全连接层、反向传播。CNN 的优点是能够自动学习图像的特征表示，无需手动设计特征。它在图像识别、目标检测和语义分割等任务上取得了很好的效果，并成为计算机视觉领域的重要工具[7]，因此 CNN 常应用于消化内镜图片的识别。

## 3. AI 辅助白光、窄带及放大内镜等诊断食管癌

目前内镜下诊断早期食管癌可采用多种方式，如普通白光(white light image, WLI)，窄带成像(narrow-band imaging, NBI)及窄带成像结合放大内镜(magnification endoscopy, ME)、内镜下碘染色等。诸多学者对 AI 模型诊断食管癌进行了研究。Horie 等[8]首次联合 WLI 和 CNN 来辅助诊断食管癌，收集了 384 名患者的 8428 张食管癌训练图像，并使用这些图像开发了深度学习模型。研究结果显示，该 CNN 模型能够以 98% 的灵敏度正确检测出食管癌病例，并能够检测出所有直径小于 10 毫米的癌症病灶。鲍瀛等[9]收

集了食管癌患者的白光内镜检查图像,构建了一个深度卷积神经网络结构,将AI诊断的结果与内镜医师的诊断的结果进行比较,最终结果显示该模型的独立测试集上的诊断准确率达到89.83%,且模型对早期食管鳞状细胞癌的敏感性和特异性明显高于资深内镜医生。Li等[10]基于计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)构建模型来识别早期食管鳞状细胞癌。选取2167张早期食管鳞状细胞癌的异常非放大窄带成像内镜(NM-NBI)图像和2568张正常图像作为训练数据集训练CAD系统。验证结果显示:CAD-NBI的敏感性、特异性、准确性、阳性预测值和阴性预测值(91.0%、96.7%、94.3%、95.3%和93.6%)均较好,CAD-WLI的敏感性和阴性预测值(98.5%、98.7%)较好。特异性、准确性、阳性预测值(83.1%、89.5%、80.8%)欠佳。但内镜医生通过使用联合使用CAD-NBI和CAD-WBI,可较大程度提升诊断效能。Yang等[11]的研究中,构建了识别放大内镜图像及碘染色图像的人工智能模型,模型在最终的测试中对放大内镜图像识别的准确性为88.1%,在碘染色图像识别中准确度、灵敏度和特异性达到了为97.0%、97.2%、96.4%。

上文所述人工智能在常见的食管鳞状细胞癌中所得出的结果令人满意。胃食管结合部癌也是食管常见肿瘤之一,Iwagami等[12]在亚洲国家首次进行了人工智能与胃食管结合部癌的研究,其选取了病理证实的浅表胃食管交界部癌及正常的胃食管交界部黏膜图片来训练人工智能模型。结果提示:人工智能系统的敏感性(94%)较好,在特异性(42%)及准确性(66%)方面与内镜专家(43%、63%)相比无明显差别。Hashimoto R等[13]使用卷积神经网络开发了一种人工智能算法,用于实时检测Barrett食管中早期食管肿瘤。结果显示该算法对于Barrett食管的不典型增生诊断敏感性为96.4%,特异性为94.2%,准确性为95.4%。

人工智能模型不仅在静态图片的诊断能力优秀,还在动态视频诊断方面出色,Yuan等[14]进行了人工智能模型对于动态视频诊断能力测试,选取了42段视频来比较人工智能模型与11位有经验的内镜医师的诊断能力,人工智能模型在视频验证中的灵敏度为89.5%~100%,特异性为73.7%~89.5%,并且在早期食管癌白光内镜下的诊断中敏感性优于内镜医师。Waki等[15]使用了静态图像来构建人工智能系统。并在验证的过程中,使内窥镜以恒定速度通过食管而不聚焦病变,使用人工智能模型与21名内窥镜医师对于100个验证视频进行诊断,在人工智能的协助下,内镜医生进行评估,与未使用人工智能相比,特异性(91.6%,  $P = 0.756$ )未见明显变化,而其敏感性由75.0%提高到77.7% ( $P = 0.00696$ )。

#### 4. AI辅助判断早期食管癌浸润深度及范围

食管癌的浸润深度对于治疗方式的选择及预后至关重要,根据中国最新的食管癌诊疗指南,浸润深度为上皮内(EP)及黏膜固有层(LPM)病变绝对可行内镜下治疗,浸润至黏膜肌层(MM)及黏膜下层上1/3(SM1)因其具有淋巴结转移风险及脉管浸润等,是内镜治疗的相对适应证,而黏膜下层中1/3(SM2)以深的病变则需手术或根治性放化疗[16]。Tokai等[17]使用了1751张高质量内镜图像进行模型训练,其结果与13位内镜医师的诊断结果对比,人工智能诊断系统在测量食管鳞状细胞癌的浸润深度方面表现出较高的诊断准确率(80.9%),该系统的准确率超过了12位内镜医师,并且其曲线下面积(AUC)超过所有内镜医师。Nakagawa等[18]使用独立的验证数据集对AI系统进行评估。他们从验证集中选择了3至6个代表性的非放大内镜(non-ME)和放大内镜(ME)图像,并使用AI系统进行独立诊断。16名专家对与AI系统相同的数据集进行浸润深度的判断,最终得出该人工智能系统的食管鳞状细胞癌的浸润深度诊断准确率(91.0%)与经验丰富的内窥镜医生诊断准确率(89.6%)相当,相对于人工诊断能更好的减少个人差异性。Shimamoto团队[19]在动态内镜视频和食管浅表鳞状细胞癌的静态图像中收集了WLI和NBI/BLI图像,用于训练人工智能的模型。在与消化内镜专家诊断浸润深度SM2-3的对比中,人工智能系统对非放大内镜及放大内镜的准确率均高于内镜专家,但其在放大内镜下诊断EP-SM1(94.9%)低于内镜专家(97.3%)。

准确的判断病变范围能够协助内镜下治疗。在病变范围的判断中, 人工智能依旧发挥出色, Liu 等[20]使用 WLI 图像来训练和测试人工智能模型。最后使用 216 张图像来比较模型和内窥镜医师之间的对肿瘤区域的描绘。最终人工智能对病变边界的勾画表现出与内窥镜专家相当的水平(98.1% vs 95.3%), 明显高于高级内窥镜医师(78.6%)。Hashimoto R 等[13]的算法模型不仅能准确判断 Barrett 食管癌, 还能够准确地定位 Barrett 食管中早期食管肿瘤区域, 平均精度为 0.7533, 灵敏度为 95.6%, 阳性预测值为 89.2%。Yuan 等[21]首次报道利用人工智能系统在临床内窥镜检查中实时检测和描绘早期食管鳞状细胞癌的研究。其团队基于 YOLACT 模型构建了自己的人工智能模型, 该模型整合了多种内窥镜成像模态, 能够实时检测和描绘早期食管鳞状细胞癌的边缘。该人工智能系统不仅能够正确识别每种内窥镜成像模态, 还能够准确检测和描绘大小约为 3 毫米的平坦型粘膜癌在白光成像、狭带成像、放大内窥镜和碘染色下的边缘, 该人工智能系统直接连接到内窥镜医生常用的内窥镜监控设备, 更适合临床使用。

## 5. AI 辅助识别食管鳞状上皮乳头内毛细血管袢

IPCL 形态目前存在井上、有马、JES 等多种分型, JES 分型中的将 IPCL 分为 A、B 型相较于其他类型分型而言更为简便, 临床应用较广, 根据 IPCL JES 分型的描述, A 型血管提示正常食管黏膜或低级别上皮内瘤变, B1 型、B2 型和 B3 型血管分别提示 EP-LPM 病变、MM-SM1 病变和 SM2 及更深层病变[22], 根据上文已知浸润深度对于治疗的选择至关重要, 故利用 AI 通过内镜图像来判断早期食管癌 IPCL AB 分型具有重要临床意义, 根据国内外已有实验结果可证明所训练模型对于早期食管癌 IPCL 分型诊断率较高甚至一定程度上高于内镜医师。Zhao 等[23]回顾性地收集了 IPCL A、B1、B2 型图像进行 CAD 模型的训练和测试, 该模型在病灶水平和像素水平的平均诊断准确率分别为 89.2%和 93.0%。对所有病灶的诊断性能均优于非专家( $P < 0.001$ )。此外, 该模型对 B2 型病变的诊断性能与专家的诊断性能无显著差异( $P > 0.001$ )。MEverson 等[24]选取了来自 17 名患者(10 名 ESCN 患者, 7 名正常患者)的连续高清 ME-NBI 图像来训练 CNN, 最终证实该 CNN 以 93.7%的准确率区分异常与正常 IPCL 模式, 对异常 IPCL 模式进行分类的敏感性和特异性分别为 89.3%和 98%, Yuan 等[25]研究的 AI 系统能够识别和区分四种不同类型的 IPCL 血管(A 型、B1 型、B2 型和 B3 型), 并预测浸润深度。最终在外部验证集的测试中, 人工智能诊断 IPCL 亚型的准确率达到 89.8%, 该系统在预测 IPCL 亚型和浸润深度方面比内窥镜医生有更好的表现, 在 AI 系统的辅助下, 高级内镜医生的诊断时间略有缩短, 初级内镜医生的诊断准确率显著提高。

## 6. AI 在非消化内镜领域协助诊断食管癌

除消化内镜外, 人工智能在诸多领域也可以帮助食管癌的诊断[26], 消化内镜由于成本高、有侵入性等特点使其并不能成为广泛的普查方式, Gao 等[27]深入于食管海绵细胞学检查研究, 该检查简单、廉价并且诊断效果良好, 其团队应用食管鳞状细胞癌患者及正常病人的图像训练人工智能模型, 在验证表现中, 人工智能辅助细胞学检查诊断高级别病变的敏感性为 90%, 特异性为 93.7%。Gao 的团队在食管海绵细胞学检查于人工智能领域不断深入, 继续完善人工智能模型, 在最近的全国性前瞻性研究中[28], 共招募了 14,597 名 40~75 岁之间的成年人, 其中一部分数据进行测试, 另一部分进行验证, 最终人工智能诊断模型的敏感性达到了 90.0%, 特异性为 93.7%, AUROC 为 0.964, 其优秀的性能可使 92.8%的患者免于消化内镜的检查。

影像学检查在食管癌的诊断当中也极为重要, 越来越多及应用人工智能方式的影像学方法应用于消化系统疾病的诊断[29]。食管癌治疗方式当中, 淋巴结是否转移为一个重要的因素。Chen 等[30]利用人工智能技术建立了一个预测淋巴结转移风险的模型, 在最终的结果验证中, 人工智能模型的特异性(91.20% vs 72.59%)、PPV (56.49% vs 39.78%)、准确性(90.72% vs 74.49%)、c 指数(0.915 vs 0.868)均优于传统的

logistic 回归模型。

## 7. 总结与展望

目前, 人工智能领域的研究已经深入食管癌诊治的各个环节, 无论是人工智能模型的单独诊断还是辅助内镜医师进行诊断都取得了令人满意的结果, 可以有效的帮助低年资医师提高诊断正确率, 帮助高年资医师快速发现病变等。但仍有部分地方值得我们去更深入的研究: (1) 目前针对人工智能辅助识别食管癌浸润深度的研究多局限于单一白光等, 现在已有研究多种方式联合(如放大内镜窄带光成像联合内镜超声)来判断食管癌的浸润深度, 下一步可以进行人工智能能否在多种方式联合的内镜检查中发挥价值。(2) 目前人工智能的研究多为静态图片或者动态视频的研究, 能否将人工智能应用于实际临床操作过程中, 在进镜时由人工智能根据食管黏膜进行大致判断以区分是否为食管癌高危人群, 再由临床医师根据人工智能的判断及实际情况去选择是否需要对该患者进行更精细的检查。若能实现即可大幅度减轻临床工作量。(3) 人工智能目前在食管癌病理方面的研究较少, 病理结果往往是诊断食管癌的金标准, 希望未来能有此类研究成果的发表。

## 参考文献

- [1] 中华医学会肿瘤学分会早诊早治学组. 中国食管癌早诊早治专家共识[J]. 中华肿瘤杂志, 2022, 44(10): 1066-1075.
- [2] Lagergren, J. and Lagergren, P. (2010) Oesophageal Cancer. *British Medical Journal*, **341**, c6280. <https://doi.org/10.1136/bmj.c6280>
- [3] Chen, W., Zheng, R., Zhang, S., Zeng, H., Xia, C., Zuo, T., et al. (2017) Cancer Incidence and Mortality in China, 2013. *Cancer Letters*, **401**, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2017.04.024>
- [4] Yoshii, S., Mabe, K., Watano, K., Ohno, M., Matsumoto, M., Ono, S., et al. (2019) Validity of Endoscopic Features for the Diagnosis of *Helicobacter pylori* Infection Status Based on the Kyoto Classification of Gastritis. *Digestive Endoscopy*, **32**, 74-83. <https://doi.org/10.1111/den.13486>
- [5] Jayatilake, S.M.D.A.C. and Ganegoda, G.U. (2021) Involvement of Machine Learning Tools in Healthcare Decision Making. *Journal of Healthcare Engineering*, **2021**, 1-20. <https://doi.org/10.1155/2021/6679512>
- [6] 张佳, 孙凯. 人工智能深度学习在心血管影像诊断中的研究进展[J]. 中国医学装备, 2020, 17(4): 183-186.
- [7] de Souza, L.A., Palm, C., Mendel, R., Hook, C., Ebigo, A., Probst, A., et al. (2018) A Survey on Barrett's Esophagus Analysis Using Machine Learning. *Computers in Biology and Medicine*, **96**, 203-213. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2018.03.014>
- [8] Horie, Y., Yoshio, T., Aoyama, K., Yoshimizu, S., Horiuchi, Y., Ishiyama, A., et al. (2019) Diagnostic Outcomes of Esophageal Cancer by Artificial Intelligence Using Convolutional Neural Networks. *Gastrointestinal Endoscopy*, **89**, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2018.07.037>
- [9] 鲍瀛, 李瑞瑶, 何明远, 等. 基于深度学习的图像识别技术在食管癌早期筛查中的应用研究[J]. 中国数字医学, 2021, 16(9): 90-93.
- [10] Li, B., Cai, S., Tan, W., Li, J., Yalikong, A., Feng, X., et al. (2021) Comparative Study on Artificial Intelligence Systems for Detecting Early Esophageal Squamous Cell Carcinoma between Narrow-Band and White-Light Imaging. *World Journal of Gastroenterology*, **27**, 281-293. <https://doi.org/10.3748/wjg.v27.i3.281>
- [11] Yang, X., Li, Z., Shao, X., Ji, R., Qu, J., Zheng, M., et al. (2021) Real-Time Artificial Intelligence for Endoscopic Diagnosis of Early Esophageal Squamous Cell Cancer (with Video). *Digestive Endoscopy*,

- Gastroenterology and Hepatology*, 37, 169-178. <https://doi.org/10.1111/jgh.15689>
- [15] Waki, K., Ishihara, R., Kato, Y., Shoji, A., Inoue, T., Matsueda, K., *et al.* (2021) Usefulness of an Artificial Intelligence System for the Detection of Esophageal Squamous Cell Carcinoma Evaluated with Videos Simulating Overlooking Situation. *Digestive Endoscopy*, 33, 1101-1109. <https://doi.org/10.1111/den.13934>
- [16] 中华人民共和国国家卫生健康委员会医政医管局. 食管癌诊疗指南(2022 年版) [J]. 中华消化外科杂志, 2022, 21(10): 1247-1268.
- [17] Tokai, Y., Yoshio, T., Aoyama, K., Horie, Y., Yoshimizu, S., Horiuchi, Y., *et al.* (2020) Application of Artificial Intelligence Using Convolutional Neural Networks in Determining the Invasion Depth of Esophageal Squamous Cell Carcinoma. *Esophagus*, 17, 250-256. <https://doi.org/10.1007/s10388-020-00716-x>
- [18] Nakagawa, K., Ishihara, R., Aoyama, K., Ohmori, M., Nakahira, H., Matsuura, N., *et al.* (2019) Classification for Invasion Depth of Esophageal Squamous Cell Carcinoma Using a Deep Neural Network Compared with Experienced Endoscopists. *Gastrointestinal Endoscopy*, 90, 407-414. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2019.04.245>
- [19] Shimamoto, Y., Ishihara, R., Kato, Y., Shoji, A., Inoue, T., Matsueda, K., *et al.* (2020) Real-Time Assessment of Video Images for Esophageal Squamous Cell Carcinoma Invasion Depth Using Artificial Intelligence. *Journal of Gastroenterology*, 55, 1037-1045. <https://doi.org/10.1007/s00535-020-01716-5>
- [20] Liu, W., Yuan, X., Guo, L., Pan, F., Wu, C., Sun, Z., *et al.* (2022) Artificial Intelligence for Detecting and Delineating Margins of Early ESCC under WLI Endoscopy. *Clinical and Translational Gastroenterology*, 13, e00433. <https://doi.org/10.14309/ctg.0000000000000433>
- [21] Yuan, X., Zeng, X., He, L., Ye, L., Liu, W., Hu, Y., *et al.* (2022) Artificial Intelligence for Detecting and Delineating a Small Flat-Type Early Esophageal Squamous Cell Carcinoma under Multimodal Imaging. *Endoscopy*, 55, E141-E142. <https://doi.org/10.1055/a-1956-0569>
- [22] Oyama, T., Inoue, H., Arima, M., Momma, K., Omori, T., Ishihara, R., *et al.* (2016) Prediction of the Invasion Depth of Superficial Squamous Cell Carcinoma Based on Microvessel Morphology: Magnifying Endoscopic Classification of the Japan Esophageal Society. *Esophagus*, 14, 105-112. <https://doi.org/10.1007/s10388-016-0527-7>
- [23] Zhao, Y., Xue, D., Wang, Y., Zhang, R., Sun, B., Cai, Y., *et al.* (2018) Computer-Assisted Diagnosis of Early Esophageal Squamous Cell Carcinoma Using Narrow-Band Imaging Magnifying Endoscopy. *Endoscopy*, 51, 333-341. <https://doi.org/10.1055/a-0756-8754>
- [24] Everson, M., Herrera, L., Li, W., Luengo, I.M., Ahmad, O., Banks, M., *et al.* (2019) Artificial Intelligence for the Real-Time Classification of Intrapapillary Capillary Loop Patterns in the Endoscopic Diagnosis of Early Oesophageal Squamous Cell Carcinoma: A Proof-of-Concept Study. *United European Gastroenterology Journal*, 7, 297-306. <https://doi.org/10.1177/2050640618821800>
- [25] Yuan, X., Liu, W., Liu, Y., Zeng, X., Mou, Y., Wu, C., *et al*