中华医学会系列杂志

ISSN 1007-5232 CN 32-1463 / R



外锋液伐机绿条卷

ZHONGHUA XIAOHUA NEIJING ZAZHI 2024年10月 第41卷 第10期

Volume 41 Number 10 October 2024





CHINESE MEDICAL ASSOCIATION

消化闪镜

CHINESE JOURNAL OF DIGESTIVE ENDOSCOPY

主 管

主 办

总编辑

出 版

印刷

发 行 范围:公开

订 购

邮 购

定 价

张澍田 编辑部主任

唐涌进

编 辑

中国科学技术协会

中华医学会

传真:(025)83472821 Email:xhnj@xhnj.com http://www.zhxhnjzz.com

http://www.medjournals.cn

Email:office@cmaph.org 广告发布登记号

江苏省地质测绘院

有限公司

代号 M4676

全国各地邮政局

邮发代号 28-105

电话:(025)83472831 Email: xhnj@xhnj.com

ISSN 1007-5232 CN 32-1463/R

编委会的观点

编辑部调换

第41卷 第10期 2024年10月20日出版 月刊 1996年8月改刊

目 次 评 沭 100710,北京市东四西大街42号 我国食管癌筛查现状及研究进展 …………………………………………… 757 中华消化内镜杂志编辑委员会 210003,南京市紫竹林3号 王洛伟 李兆申 电话:(025)83472831,83478997 论 著 人工智能食管细胞学风险预测模型在食管癌前病变中的 蒋惠珊 高野 林寒 辛磊 王伟 李兆申 王洛伟 《中华医学杂志》社有限责任公司 食管海绵细胞学在食管癌高发县食管癌筛查中的应用研究 ……… 768 100710,北京市东四西大街42号 电话(传真):(010)51322059 黄曙 高野 冯亚东 周海浪 王维 韩秀艳 徐法贞 周爱军 王洛伟 广登32010000093号 特征可视化浅表食管鳞状细胞癌浸润深度预测系统的 罗任权 张丽辉 罗侪杰 于红刚 国内:南京报刊发行局 国外:中国国际图书贸易集团 食管早期癌及癌前病变内镜黏膜下剥离术后新发病灶的 (北京399信箱,100048) 焦晨阳 钱云 李昱江 杨斌 伏亦伟 全周及近全周型食管早期癌和癌前病变内镜射频消融术后 中华消化内镜杂志编辑部 210003,南京市紫竹林3号 丁源 刘洋 雷思雨 张婉月 朱铟楠 钱琦镠 施瑞华 成人嗜酸细胞性食管炎的临床特征及超声内镜诊断价值 792 每期25.00元,全年300.00元 陈伟 李成志 郝璐 李波 章粉明 黄伟 陈洪潭 中国标准连续出版物号 单个宽隧道结合线夹牵引的内镜黏膜下剥离术在 大面积早期食管癌及癌前病变中的应用研究 …………………… 798 2024年版权归中华医学会所有 孙中尚 叶连松 李雪莲 高志颖 潘振国 胡兵 潘峰 未经授权,不得转载、摘编本刊 文章,不得使用本刊的版式设计 内镜下胃静脉曲张注射点定位准确性的影响因素初探 805 除非特别声明,本刊刊出的所有 陈丽红 王治虹 梅雪灿 张辅民 张倩倩 时晨 孔德润 文章不代表中华医学会和本刊 深在性囊性胃炎的临床特点及合并胃癌的危险因素分析 809 本刊如有印装质量问题,请向本刊 王珏 林佳佳 龚辰 姜琦 周平红 胡健卫

微信:xhnjxv

新浪微博

短篇论著

病例报道

超	声内镜辅助诊断高收缩食管1例(含视频)	819
	拓小凤 马师洋 张盼 郭晓燕 许晓毓 戴菲 史海涛	
新	型内镜吻合夹治疗重症胰腺炎后结肠瘘1例(含视频)	821
	杨威 李静 仇玉平 陈曦 李书培 汪芳裕 宣佶	
挽	救性内镜黏膜下剥离术治疗食管癌根治性放疗后局部复发1例(含视频)	824
	曾骏成 梁群 汪福群 刘波颖	

综 述

人	工智能	在小肠	为内镜影像诊断中的应用进展	827
	郝伟娜	朱惠云	六 杜奕奇	
生	=物医学	材料在	E内镜黏膜下剥离术后食管狭窄预防中的应用与进展	831
	庄颖佳	王频	戴建武 邹晓平	
纤	话肠镜检	查前肠	的道准备中利那洛肽的应用现状	836
	徐浩馨	朱鹤	徐红	

读者·作者·编者

《中华消化内镜杂志》2024年可直接使用英文缩写的常用词汇	/61
中华医学会系列杂志论文作者署名规范	304
插页目次	/81

本刊稿约见第41卷第1期第82页、第7期第586页

登录《中华消化内镜杂志》官方网站http://www.zhxhnjzz.com进行在线投稿。

本期责任编辑 周奚 本刊编辑部工作人员联系方式 唐涌进,Email:tang@xhnj.com 周 吴,Email:zhou@xhnj.com 顾文景,Email:gwj@xhnj.com

本刊投稿方式

朱 悦,Email:zhuyue@xhnj.com 钱 程,Email:qian@xhnj.com 许文立,Email:xwl@xhnj.com



(扫码添加编辑企业微信)

·论著·

特征可视化浅表食管鳞状细胞癌浸润深度预测系统的构建及验证

罗任权 张丽辉 罗侪杰 于红刚 武汉大学人民医院消化内科,武汉 430060 通信作者:于红刚,Email:yuhonggang@whu.edu.cn

【摘要】 目的 构建一个基于深度学习的窄带光成像放大内镜(magnifying endoscopy with narrow band imaging, ME-NBI)下浅表食管鳞状细胞癌(superficial esophageal squamous cell carcinoma, SESCC)特征可视化系统,并评估ME-NBI下该系统预测SESCC浸润深度的诊断效能。方法 特征可 视化系统由4个模型构成,模型1、2分别用于分割SESCC病灶ME-NBI图像中的上皮乳头内毛细血管 袢(intrapapillary capillary loops, IPCL)区域和乏血管区(avascular area, AVA),模型3用于获取SESCC 病灶 ME-NBI 图像中的颜色主成分(principal component of color, PCC),模型4根据前三个模型提取到 的特征自动预测 SESCC 浸润深度。2016年4月至2021年10月间的2341张 SESCC 病灶的 ME-NBI图 像用来开发特征可视化系统,分成3个数据集:数据集1(1077张ME-NBI图像),用于训练和测试模型 1~3;数据集2(1069张ME-NBI图像),利用特征组合的方式将数据量扩充20倍,获得21380张特征 合成图像,然后用于训练和测试模型4;数据集3(195张ME-NBI图像),其中病变浸润深度在上皮层至 黏膜下层上 1/3(EP-SM1)的 ME-NBI 图像 146 张, 在黏膜下层中 1/3 至下 1/3(SM2-SM3)的 ME-NBI 图 像49张,用于验证特征可视化系统预测SESCC浸润深度(EP-SM1/SM2-SM3)的诊断效能。为了评估 特征可视化系统的优越性,将传统深度学习系统(直接使用 ME-NBI 图像进行训练)、单项特征模型 (单项IPCL特征模型、单项AVA特征模型和单项PCC特征模型)的数据集3预测结果与特征可视化系 统预测结果进行对比。为了评估特征可视化系统的临床实用性,邀请4名专家医师(内镜操作超过 10年,专家医师组)和5名高年资医师(内镜操作超过5年,高年资医师组)参与人机大赛,对数据集 3进行诊断,结果与特征可视化系统进行比较。结果 诊断SESCC浸润深度(EP-SM1/SM2-SM3)的 准确率、敏感度和特异度方面,特征可视化系统分别为83.08%(162/195)、82.88%(121/146)和83.67% (41/49),传统深度学习系统分别为60.00%(117/195),52.05%(76/146)和83.67%(41/49),单项IPCL特 征模型分别为74.87%(146/195)、75.34%(110/146)和73.47%(36/49),单项AVA特征模型分别为 58.97%(115/195)、60.27%(88/146)和55.10%(27/49),单项PCC特征模型分别为71.28%(139/195)、 71.23%(104/146)和71.43%(35/49),高年资医师组分别为66.67%、78.22%和32.24%,专家医师组分别 为72.31%、85.96%和31.63%。特征可视化系统诊断准确率明显高于其他6组(P<0.05);特征可视化 系统诊断敏感度略高于高年资医师组(x2=1.59, P=0.21)和单项IPCL特征模型(x2=2.51, P=0.11),略低 于专家医师组($\chi^2=0.89$, P=0.35), 明显高于其他3组(P<0.05); 特征可视化系统诊断特异度与传统深 度学习系统相同(x2=0.00, P=1.00), 略高于单项 IPCL 特征模型(x2=1.52, P=0.22) 和单项 PCC 特征模型 (x²=2.11, P=0.15), 明显高于单项AVA特征模型(x²=9.42, P<0.01)、高年资医师组(x²=44.71, P<0.01) 和专家医师组(x²=43.57, P<0.01)。结论 开发出的这种基于深度学习的 ME-NBI下 SESCC 特征可视 化系统,在预测ME-NBI下SESCC浸润深度(EP-SM1/SM2-SM3)方面表现出良好的诊断效能,其诊断 效能优于内镜操作超过10年的内镜医师。

【关键词】 人工智能; 深度学习; 浅表食管鳞状细胞癌; 内镜诊断; 浸润深度 基金项目:湖北省卫生健康委员会创新团队项目(WJ202C003)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20240201-00020

收稿日期 2024-02-01 本文编辑 顾文景

引用本文:罗任权,张丽辉,罗侪杰,等.特征可视化浅表食管鳞状细胞癌浸润深度预测系统的构建及验证[J]. 中华消化内镜杂志, 2024, 41(10): 774-781. DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20240201-00020.



www.zhxhnjzz.com

Development and validation of a feature visualization prediction system for invasion depth of superficial esophageal squamous cell carcinoma

Luo Renquan, Zhang Lihui, Luo Chaijie, Yu Honggang

Department of Gastroenterology, Renmin Hospital of Wuhan University, Wuhan 430060, China

Corresponding author: Yu Honggang, Email: yuhonggang@whu.edu.cn

[Abstract] Objective To construct a feature visualization system utilizing deep learning for superficial esophageal squamous cell carcinoma (SESCC) under magnifying endoscopy with narrow band imaging (ME-NBI) to predict the infiltration depth of SESCC. Methods The feature visualization system consisted of four models: two for segmenting the intrapapillary capillary loops (IPCL) area and avascular area (AVA) in ME-NBI images of SESCC lesions (models 1 and 2, respectively), one for obtaining the principal component of color (PCC) in ME-NBI images of SESCC lesions (model 3), and another for automatically predicting the depth of SESCC infiltration based on the features extracted from the first three models (model 4). A total of 2 341 ME-NBI images of SESCC lesions from April 2016 to October 2021 were used to develop the feature visualization system, which was divided into 3 datasets: dataset 1 (1 077 ME-NBI images) was used to train and test models 1-3, dataset 2 (1 069 ME-NBI images) was expanded by 20 times through feature combination to generate 21 380 feature synthetic images to train and test model 4, and dataset 3 (195 ME-NBI images), containing 146 ME-NBI images with lesion invasion depth from the epithelium to the upper 1/3 of the submucosa (EP-SM1), and 49 ME-NBI images with lesion invasion depth from the middle 1/3 to the lower 1/3 of the submucosa (SM2-SM3), was used to validate the diagnostic performance of the feature visualization system in predicting the invasion depth of SESCC (EP-SM1/SM2-SM3). In order to evaluate the superiority of the feature visualization system, the prediction results of dataset 3 of the traditional deep learning system (trained directly with ME-NBI images), single-item feature models (single-item IPCL feature model, single-item AVA feature model and single-item PCC feature model) were compared with the prediction results of the feature visualization system. In order to evaluate the clinical utility of the feature visualization system, 4 expert physicians (with more than 10 years of endoscopic operation, expert physician group) and 5 senior physicians (with more than 5 years of endoscopic operation, senior physician group) were invited to participate in the human-computer competition to diagnose dataset 3, and the results were compared with the feature visualization system. Results The accuracy, sensitivity and specificity of the feature visualization system in predicting the invasion depth of SESCC (EP-SM1/SM2-SM3) were 83.08% (162/195), 82.88% (121/146) and 83.67% (41/49), respectively. The above indicators were 60.00% (117/195), 52.05% (76/146) and 83.67% (41/49) for the traditional deep learning system, 74.87% (146/195), 75.34% (110/146) and 73.47% (36/49) for the single IPCL feature model, 58.97% (115/195), 60.27% (88/146) and 55.10% (27/49) for single AVA feature model, 71.28% (139/195), 71.23% (104/146) and 71.43% (35/49) for single PCC feature model, respectively. The results were 66.67%, 78.22% and 32.24% in senior physician group, and 72.31%, 85.96% and 31.63% in expert physician group, respectively. The accuracy of the feature visualization system in predicting the invasion depth of SESCC was significantly higher than that of the other 6 groups (P<0.05). The sensitivity of feature visualization system was slightly higher than that of senior physician group (χ^2 =1.59, P=0.21) and single-item IPCL feature model (χ^2 =2.51, P=0.11), slightly lower than that of expert physician group (χ^2 =0.89, P=0.35), and significantly higher than that of three other groups (P < 0.05). The specificity of the feature visualization system was similar to the traditional deep learning system (χ^2 =0.00, P=1.00), slightly higher than that of single-item IPCL feature model (χ^2 =1.52, P=0.22) and single-item PCC feature model (χ^2 =2.11, P=0.15), and significantly higher than that of the single AVA feature model (χ^2 =9.42, P<0.01), senior physician group (χ^2 =44.71, P<0.01) and expert physician group (χ^2 =43.57, P<0.01). Conclusion The developed deep learning-based feature visualization system using ME-NBI shows excellent diagnostic performance in predicting the infiltration depth of SESCC (EP-SM1/SM2-SM3), surpassing the accuracy levels of experienced endoscopists with over 10 years of experience.

[Key words] Artificial intelligence; Deep learning; Superficial esophageal squamous cell carcinoma; Endoscopic diagnosis; Depth of infiltration

Fund program: Hubei Health Commission Innovation Team Project (WJ202C003)

食管癌是全球第7大常见癌症,也是癌症相关 死亡的第6大常见原因^[1]。我国食管癌发病人数超 过了全球食管癌发病人数的一半,每年死亡人数超 过了10万人,其中绝大多数为食管鳞状细胞癌 (esophageal squamous cell carcinoma, ESCC)^[1-3]。浅 表食管鳞状细胞癌(superficial esophageal squamous cell carcinoma, SESCC)是指浸润局限于黏膜层和黏 膜下层,有或无淋巴结转移的ESCC。SESCC主要

www.zhxhnjzz.com

包含黏膜癌和黏膜下癌,治疗方式包含内镜治疗和 手术治疗^[4]。根据指南,内镜切除术适用于浸润深 度在上皮层(epithelium, EP)、黏膜固有层(lamina propria mucosa, LPM)、黏膜肌层(muscularis mucosa, MM)以及黏膜下层(submucosa, SM)上 $1/3(<200 \ \mu m, SM1)$ 的SESCC,手术治疗适用于浸 润深度达到SM的中1/3(SM2)和下1/3(SM3)的 SESCC^[56]。因此,术前准确诊断SESCC浸润深度对 治疗方案的选择至关重要。

窄带光成像放大内镜(magnifying endoscopy with narrow band imaging, ME-NBI)检查是一种术前 有效预测 SESCC 浸润深度的方法^[7-9],使用的分型 及方法主要为井上分型、有马分型、日本食管学会 (Japan Esophageal Society, JES)分型、背景着色 等^[10-13],但熟练掌握各种内镜分型及方法并在内镜 检查过程中准确预测 SESCC 浸润深度仍十分困难, 因为这需要内镜医师具备很强的临床经验^[14]。随 着人工智能的快速发展,深度学习在医学领域得到 广泛应用^[15-17],但仍存在可解释性差、数据集样本 量不足等缺陷^[18]。为了突破传统深度学习的局限 性,我们构建了一个特征可视化 SESCC 浸润深度预 测系统(简称:特征可视化系统),用于 ME-NBI 下预 测系统(简称:特征可视化系统),用于 ME-NBI 下预

资料与方法

一、数据收集及处理

回顾性收集 2016年4月至 2021年10月武汉大 学人民医院、南京大学医学院附属鼓楼医院、上海 市胸科医院、浙江省台州医院收治的 SESCC 患者的 ME-NBI图像,在剔除化疗和(或)放疗后残留或复 发性病变、瘢痕上的病变以及图像质量低的病变 后,共收集到2 341张 SESCC 的 ME-NBI图像(日本 Olympus GIF-H260Z)。以上病例的诊断以切除后 病灶的病理结果作为金标准,组织学标本在各中心 病 理 科 按 照 世 界 卫 生 组 织 (World Health Organization, WHO)标准进行评估,病灶按浸润深 度分为两类: EP-SM1病灶和 SM2-SM3病灶。入组 图像进行匿名化处理,并裁剪掉图像中不必要的边 框,减少图像中的噪声,以避免图像中的额外信息 对模型的构建造成影响。

二、数据集组成及用途

1.数据集1:使用1077张ME-NBI图像,其中 EP-SM1病灶811张ME-NBI图像、SM2-SM3病灶 266张 ME-NBI图像。用于训练和测试上皮乳头内 毛细血管袢(intrapapillary capillary loops, IPCL)、乏 血管区(avascular area, AVA)、颜色主成分 (principal component of color, PCC)三个特征提取 模型。

2. 数据集 2: 使用剩余 ME-NBI 图像中的 1069 张,其中 EP-SM1 病灶 920 张 ME-NBI 图像、 SM2-SM3 病灶 149 张 ME-NBI 图像。主要用于构建 特征可视化系统。

3.数据集3:使用剩余的195张 ME-NBI图像, 其中 EP-SM1 病灶146张 ME-NBI图像、SM2-SM 3病灶49张 ME-NBI图像。主要用于验证特征可视 化系统预测 SESCC 浸润深度(EP-SM1/SM2-SM3) 的诊断效能。

三、模型构建

特征可视化系统由4个模型构成:模型1,用于 SESCC病灶ME-NBI图像中IPCL区域的分割;模型 2,用于SESCC病灶ME-NBI图像中AVA区域的分 割;模型3,用于获取SESCC病灶ME-NBI图像中的 PCC;模型4,用于预测SESCC浸润深度(图1)。

1.模型1:使用基于U-net++的卷积神经网络进行构建。在构建前,由2名内镜操作超过10年的专家医师使用Adobe Photoshop 19.0 对数据集1的ME-NBI图像中的IPCL进行标记,获得一致性同意的图像用于模型1的构建。将标记好且获得一致性同意的IPCL图像与其原ME-NBI图像成对输入深度学习模型进行训练,使该模型实现IPCL自动标记。该模型的开发共使用187张ME-NBI图像,其中152张用于模型训练、35张用于模型测试。输入ME-NBI图像(图2A)后,可获取其IPCL分割图像(图2B)。

2.模型2:使用基于U-net++的卷积神经网络进行构建。在构建前,由2名内镜操作超过10年的专家医师使用在线图像注释工具VGG Annotator 对数据集1的ME-NBI图像中的AVA进行标记,获得一致性同意的图像用于模型2的构建。将标记好且获得一致性同意的AVA图像与其原ME-NBI图像成对输入深度学习模型进行训练,使该模型实现AVA自动标记。该模型的开发共使用了860张ME-NBI图像,其中753张用于模型训练、107张用于模型测试。输入ME-NBI图像后,可获取其AVA分割图像(图2C)。

3.模型3:使用K均值聚类算法进行构建。共使用了数据集1中627张ME-NBI图像。输入





注:模型1用于提取ME-NBI图像的上皮乳头内毛细血管袢(IPCL)特征;模型2用于提取ME-NBI图像的乏血管区(AVA)特征;模型3用于提取ME-NBI图像的颜色主成分(PCC)特征;模型4用于预测SESCC浸润深度

图1 窄带光成像放大内镜(ME-NBI)下特征可视化浅表食管鳞状细胞癌(SESCC)浸润深度预测系统组成

ME-NBI图像后,可获取其PCC图像(图2D)。

4.模型4:在模型构建之前对数据集进行了扩充,具体做法如下:(1)在模型1和2输出结果交并比(Intersection over Union, IoU)变化不大的前提下改变模型阈值,数据集2中的1张ME-NBI图像可以得到11张IPCL图像和11张AVA图像;(2)将来自于同一张ME-NBI图像、不同阈值条件下的IPCL图像(11张)和AVA图像(11张)进行组合,然后再与该张ME-NBI图像的PCC图像进行配对,从而1张ME-NBI图像可扩充得到121张合成图像;(3)将获得的的所有合成图像按照其原ME-NBI图像对应的病理深度分成EP-SM1和SM2-SM3两类,根据不同的阈值组合来训练模型,选出效果最佳的前二十种的阈值组合,并以此将数据集2扩充20倍,最终获得21380张合成图像(图2E),最后使用最终获得的21380张合成图像构建模型4。。

三、性能比较

1.多种训练模型间比较:为了探索可视化系统相比传统深度学习模型的优势,我们基于 Resnet 50构建了传统深度学习模型,使用数据集2的ME-NBI图像进行验证。同时,为了探索可视化系统相比单项特征模型的优势,我们分别开发了模型5(仅使用IPCL图像构建模型)、模型6(仅使用AVA图像构建模型)和模型7(仅使用PCC图像构建模型),这三个单项特征模型均使用数据集2的ME-NBI图像进行训练,均使用数据集3的ME-NBI 图像进行验证。 2.人机大赛:我们还邀请了4名内镜操作超过 10年的专家医师(专家医师组)和5名内镜操作超 过5年的高年资医师(高年资医师组)参与人机大 赛,参与模型构建的内镜医师不参与人机大赛。使 用数据集3作为验证集,只有标注医师及计算机工 程师对验证集的影像学和组织学诊断知情,而9名 进行人机大赛的内镜医师不知情。内镜医师被要 求独立完成相同的验证图像,每组的诊断性结果取 该组所有内镜医师的均值。

3.数据分析:使用 SPSS 22统计学软件处理数据。用准确率、灵敏度、特异度来评价模型或内镜 医师预测或诊断 SESCC 浸润深度(EP-SM1/SM2-SM3)的诊断效能,组间比较采用 X²检验, P<0.05为差异有统计学意义。

结 果

一、模型间比较结果

1.特征可视化系统与传统深度学习模型的比较结果:特征可视化系统预测SESCC浸润深度的诊断特异度与传统深度学习系统相同(P=1.00),诊断准确率和敏感度均明显高于传统深度学习模型(P<0.01),见表1。

特征可视化系统与单项特征模型的比较结果: 特征可视化系统预测 SESCC 浸润深度的诊断准确 率明显高于模型 5(单项 IPCL 特征模型, χ^2 =3.95, P=0.047)、模型 6(单项 AVA 特征模型, χ^2 =27.52,P< 0.01) 和模型 7(单项 PCC 特征模型, χ^2 =7.70,P< 0.01);特征可视化系统预测SESCC浸润深度的诊断敏感度明显高于模型 $6(\chi^2=18.33, P<0.01)$ 和模型 $7(\chi^2=5.60, P=0.02)$,与模型5比较差异无统计学意义 $(\chi^2=2.51, P=0.11)$;特征可视化系统预测SESCC浸润深度的诊断特异度明显高于模型 $6(\chi^2=9.42, P<0.01)$,与模型 $5(\chi^2=1.52, P=0.22)$ 、模型 $7(\chi^2=2.11, P=0.15)$ 比较差异均无统计学意义,

见表2。

二、人机大赛结果

特征可视化系统预测 SESCC 浸润深度的诊断 准确率明显高于高年资医师组(χ^2 =20.61, P<0.01) 和专家医师组(χ^2 =9.51, P<0.01);特征可视化系统 预测 SESCC 浸润深度的诊断敏感度略高于高年资 医师组(χ^2 =1.59, P=0.21)、略低于专家医师组(χ^2 =



图2 浅表食管鳞状细胞癌窄带光成像放大内镜(ME-NBI)图像及提取的特征图像 2A:ME-NBI图像;2B:提取的上皮乳头内毛细血管袢 (IPCL)特征图像;2C:提取的乏血管区(AVA)特征图像;2D:提取的颜色主成分(PCC)特征图像;2E:IPCL、AVA、PCC特征的合成图像

表1	特征可视化系统与传统深度学习模型预测 ME-NBI下	SESCC浸润深度的诊断效能比较
----	----------------------------	------------------

诊断方法	准确率	敏感度	特异度
特征可视化系统	83.08%(162/195)	82.88%(121/146)	83.67%(41/49)
传统深度学习模型	60.00%(117/195)	52.05%(76/146)	83.67%(41/49)
χ^2 值	25.50	31.60	0.00
P值	<0.01	< 0.01	1.00

注:ME-NBI指窄带光成像放大内镜;SESCC指浅表食管鳞状细胞癌;95%CI指95%置信区间

表 2	特征可视化系统	与3种单项特征模型预测	ME-NBI下S	SESCC浸润深度的	的诊断效能比较
-----	---------	-------------	----------	------------	---------

诊断方法	准确率	敏感度	特异度
特征可视化系统	83.08%(162/195)	82.88%(121/146)	83.67%(41/49)
模型5	74.87%(146/195) ^a	75.34%(110/146)	73.47%(36/49)
模型6	58.97%(115/195) ^a	60.27%(88/146) ^a	55.10%(27/49) ^a
模型7	71.28%(139/195) ^a	71.23%(104/146) ^a	71.43%(35/49)

注:ME-NBI指窄带光成像放大内镜;SESCC指浅表食管鳞状细胞癌;模型5为单项IPCL特征模型;模型6为单项AVA特征模型;模型7为单项PCC特征模型;与特征可视化系统比较,"P<0.05

0.89, *P*=0.35);特征可视化系统预测SESCC浸润深度的诊断特异度明显高于高年资医师组(*x*²=44.71, *P*<0.01)和专家医师组(*x*²=43.57, *P*<0.01),见表3。

讨 论

在本研究中,我们开发了一种基于深度学习的 食管鳞状细胞癌特征可视化系统,在ME-NBI下预 测SESCC的浸润深度。可视化系统与传统深度学 习系统相比,在灵敏度相同的情况下,特异度和准 确率都得到了显著提升,能以较高的精度预测 SESCC的浸润深度。

虽然近年来食管腺癌患者数量不断增加,但 ESCC患者人数仍占食管癌患者的绝大多数^[3]。 SESCC主要治疗方式有内镜治疗和手术治疗,其治 疗方式主要取决于 SESCC 的浸润深度^[56]。早期 SESCC远处淋巴转移风险低,宜采取内镜治疗,五 年生存率可超过90%^[19]。晚期 SESCC远处淋巴转 移风险高,宜采取手术治疗及放化疗,五年生存率 低于20%^[20]。与手术治疗相比,内镜治疗 SESCC有 术后出血少、并发症少等优点,这对改善患者预后 至关重要。因此,术前准确诊断 SESCC 的浸润深度 对治疗方式的选择至关重要。

ME-NBI是一种术前预测SESCC浸润深度的有效检查手段^[7]。但是,内镜医师在NBI下诊断SESCC的浸润深度需要很强的经验性,经验不足的内镜医师仅有53%的诊断灵敏度,远低于有经验的内镜医师^[14]。内镜医师诊断SESCC浸润深度的灵敏度受其诊断信心的影响,对于同水平的内镜医师,灵敏度的增大意味着特异度的减小,反之亦

然^[21-22]。在本研究中,尽管5名高年资医师诊断 SESCC浸润深度(EP-SM1/SM2-SM3)的准确率相 当(62.05%~69.74%),但5名高年资医师诊断 SESCC浸润深度的灵敏度差异较大(62.33%~ 88.36%),进一步说明尽管具有相当的诊疗水平,在 经验和诊疗习惯的影响下,医师的内镜下预测会呈 不同程度的保守或激进,因此一项客观、准确的辅 助预测系统的开发十分必要。

近年来,人工智能在消化内镜领域取得了快速 发展,广泛应用于消化道病灶的检出、识别等^[1547]。 目前已经有一些研究对 ME-NBI下预测 SESCC 浸 润深度进行了初步尝试,但现有的研究数量较少, 且存在着一定的不足。Uema等^[23]使用卷积神经网 络开发了对 IPCL 进行分类的人工智能系统,且开 发的系统对 IPCL 分类取得了良好的效果。目前认 为,IPCL 形态与 SESCC 浸润深度密切相关。但已 有研究表明,对于 B2 型血管,SESCC 浸润深度的过 度诊断和诊断不足的概率极高,ESCC 浸润深度的 D镜下诊断准确率还有待进一步提高^[24]。虽然对 IPCL 的类别进行分类对诊断 SESCC 浸润深度有重 要意义,但直接预测 SESCC 浸润深度才是临床诊断 和治疗的最终目标。当前对于直接预测 SESCC 浸 润深度的研究尚处于起步阶段,研究成果较少。

我们的研究有以下几个优点:(1)我们使用了 一种新的方法,通过特征提取和特征合成两步,构 建了SESCC内镜下特征可视化合成图像。本研究 开发的可视化系统利用合成图像中IPCL、AVA和 PCC进行综合浸润深度预测,预测性能显著优于单 项特征对SESCC浸润深度的预测。(2)传统深度学 习模型仅输入与输出过程可视,其"黑盒"问题是临

组别	准确率	敏感度	特异度
特征可视化系统组	83.08%(162/195)	82.88%(121/146)	83.67%(41/49)
高年资医师组	66.67% ^a	78.22%	32.24% ^a
高年资医师1	63.08%(123/195) ^a	74.66%(109/146)	28.57%(14/49) ^a
高年资医师2	69.74%(136/195) ^a	88.36%(129/146)	$14.29\%(7/49)^{a}$
高年资医师3	62.05%(121/195) ^a	62.33%(91/146) ^a	61.22%(30/49) ^a
高年资医师4	68.72%(134/195) ^a	82.88%(121/146)	26.53%(13/49) ^a
高年资医师5	69.74%(136/195) ^a	82.88%(121/146)	30.61%(15/49) ^a
专家医师组	72.31% ^a	85.96%	31.63% ^a
专家医师1	72.82%(142/195) ^a	80.82%(118/146)	48.98%(24/49) ^a
专家医师2	73.85%(144/195) ^a	91.78%(134/146) ^a	$20.41\%(10/49)^{a}$
专家医师3	71.79%(140/195) ^a	87.67%(128/146)	24.49%(12/49) ^a
专家医师4	70.77%(138/195) ^a	83.56%(122/146)	32.65%(16/49) ^a

表3 特征可视化系统与内镜医师预测 ME-NBI下 SESCC 浸润深度的诊断效能比较

注:ME-NBI指窄带光成像放大内镜;SESCC指浅表食管鳞状细胞癌;与特征可视化系统组比较,*P<0.05

www.zhxhnjzz.com

床应用的重大阻碍。而本研究开发的可视化模型 旨在揭示SESCC浸润深度预测的原理,将先前研究 中提出的IPCL等视觉特征进行可视化,形成直观 呈现内镜下诊断依据的合成图像。根据可视化系 统呈现的合成图像,我们可以精准掌握病灶的内镜 特征,理解系统的预测过程。(3)在临床工作中,对 IPCL、AVA等指标的判断,主要依赖于内镜医师的 操作和经验,带有很强的主观性^[14],可视化图像将 复杂的内镜影像提取为简单的特征影像,有利于 IPCL、AVA等特征的大小、直径等定量测量。

在SESCC的ME-NBI图像中,除了对诊断浸润 深度有用的特征外,还有黏液、出血等干扰因素。 Horie 等^[25]的研究中,传统深度学习系统的假阳性 分析中阴影等干扰因素就超过了一半。 Oura 等^[26] 的研究证明了黏液等噪音影响下医师检出病灶的 灵敏度显著降低。Oyama等^[11]的研究表明, IPCL、 AVA 等特征对预测 SESCC 浸润深度有至关重要的 作用。我们的可视化系统可以直接提取对诊断 SESCC 浸润深度有意义的特征, 使医师更好地专注 于有效诊断信息。在临床实践中,可视化系统可以 避免各种视觉噪声对SESCC浸润深度诊断信息的 干扰,简化了复杂的内镜图像,提高诊断效能。我 们提出的方法可以解决传统深度学习中黏液、光晕 等噪音对系统诊断效能的影响,有助于识别病灶的 主要特征,增加可使用图像的数量。这可能是本研 究中可视化系统相比于传统深度学习系统的准确 率和特异度显著升高的原因之一。

当前观点一致认为,大量的数据可以提高模型 的图像分析水平^[27]。在特征提取模型中,我们在获 取SESCC特征几乎不变的前提下,通过改变特征提 取模型的阈值,1张ME-NBI图像的某一特征可以 获取多张图像,再将这些图像合成,就获得了20张 合成图像,这样可以大大增加数据量。得到极大扩 充的数据集可以改善系统的稳定性和鲁棒性,提高 系统对真实世界的适应性和泛化性。这也可能是 可视化系统相比于传统深度学习系统诊断效能显 著提升的原因之一。

本研究仍然存在一定的局限性。(1)这是一项 多中心回顾性研究,使用高质量静态图像进行系统 的训练及测试,还需要在视频和临床环境中验证可 视化系统的准确性。(2)我们仅使用高质量的 ME-NBI图像进行训练和测试,我们不能确定该系 统对低质量的ME-NBI图像的诊断效能。人工智能 系统对低质量图像的稳定性可以通过在模型构建 过程中使用低质量图像来实现;然而,使用低质量 图像来构建模型可能降低模型的诊断准确率,这需 要技术的进一步发展来解决。

综上所述,我们提出了一种新的方法开发了一种基于深度学习的特征可视化SESCC识别系统,这种深度学习模型在预测SESCC浸润深度方面表现出良好的诊断效能,该系统有望为SESCC的临床治疗提供有价值的支持。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 罗任权:设计实验,实施研究,文章撰写;张丽辉: 设计实验,实施研究,对文章的知识性内容作批评性审阅;罗侪杰: 采集、分析、解释数据;于红刚:对文章的知识性内容作批评性审 阅,获取研究经费,行政、技术、材料支持

参考文献

- Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2018, 68(6): 394-424. DOI: 10.3322/ caac.21492.
- [2] Arnold M, Soerjomataram I, Ferlay J, et al. Global incidence of oesophageal cancer by histological subtype in 2012[J]. Gut, 2015, 64(3):381-387. DOI: 10.1136/gutjnl-2014-308124.
- [3] Arnold M, Abnet CC, Neale RE, et al. Global burden of 5 major types of gastrointestinal cancer[J]. Gastroenterology, 2020, 159(1): 335-349. e15. DOI: 10.1053/j. gastro.2020.02.068.

 Yamashina T, Ishihara R, Nagai K, et al. Long-term outcome and metastatic risk after endoscopic resection of superficial esophageal squamous cell carcinoma[J]. Am J Gastroenterol, 2013, 108(4):544-551. DOI: 10.1038/ajg.2013.8.

- [5] Kitagawa Y, Uno T, Oyama T, et al. Esophageal cancer practice guidelines 2017 edited by the Japan esophageal society: part 2[J]. Esophagus, 2019, 16(1): 25-43. DOI: 10.1007/s10388-018-0642-8.
- [6] Pimentel-Nunes P, Dinis-Ribeiro M, Ponchon T, et al. Endoscopic submucosal dissection: European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) guideline[J]. Endoscopy, 2015, 47(9):829-854. DOI: 10.1055/s-0034-1392882.
- [7] Goda K, Dobashi A, Yoshimura N, et al. Narrow-band imaging magnifying endoscopy versus Lugol chromoendoscopy with pink-color sign assessment in the diagnosis of superficial esophageal squamous neoplasms: a randomised noninferiority trial[J]. Gastroenterol Res Pract, 2015, 2015: 639462. DOI: 10.1155/2015/639462.
- [8] Katada C, Tanabe S, Wada T, et al. Retrospective assessment of the diagnostic accuracy of the depth of invasion by narrow band imaging magnifying endoscopy in patients with superficial esophageal squamous cell carcinoma[J]. J Gastrointest Cancer, 2019, 50(2): 292-297. DOI: 10.1007/ s12029-018-0075-6.
- [9] Yoshida T, Inoue H, Usui S, et al. Narrow-band imaging system with magnifying endoscopy for superficial esophageal lesions[J]. Gastrointest Endosc, 2004, 59(2): 288-295. DOI: 10.1016/s0016-5107(03)02532-x.

- [10] Kubo K, Fujino MA. Ultra-high magnification endoscopy of the normal esophageal mucosa[J]. Gastrointest Endosc, 1997, 46(1):96-97.
- [11] Oyama T, Inoue H, Arima M, et al. Prediction of the invasion depth of superficial squamous cell carcinoma based on microvessel morphology: magnifying endoscopic classification of the Japan Esophageal Society[J]. Esophagus, 2017, 14(2): 105-112. DOI: 10.1007/s10388-016-0527-7.
- [12] Goda K, Tajiri H, Ikegami M, et al. Magnifying endoscopy with narrow band imaging for predicting the invasion depth of superficial esophageal squamous cell carcinoma[J]. Dis Esophagus, 2009, 22(5): 453-460. DOI: 10.1111/ j.1442-2050.2009.00942.x.
- [13] Kanzaki H, Ishihara R, Ishiguro S, et al. Histological features responsible for brownish epithelium in squamous neoplasia of the esophagus by narrow band imaging[J]. J Gastroenterol Hepatol, 2013, 28(2):274-278. DOI: 10.1111/jgh.12059.
- [14] Ishihara R, Takeuchi Y, Chatani R, et al. Prospective evaluation of narrow-band imaging endoscopy for screening of esophageal squamous mucosal high-grade neoplasia in experienced and less experienced endoscopists[J]. Dis Esophagus, 2010, 23(6): 480-486. DOI: 10.1111/ j.1442-2050.2009.01039.x.
- [15] Rex DK, Berzin TM, Mori Y. Artificial intelligence improves detection at colonoscopy: why aren't we all already using it?
 [J]. Gastroenterology, 2022, 163(1): 35-37. DOI: 10.1053/j. gastro.2022.04.042.
- [16] Rex DK, Mori Y, Sharma P, et al. Strengths and weaknesses of an artificial intelligence polyp detection program as assessed by a high-detecting endoscopist[J]. Gastroenterology, 2022, 163(2):354-358.e1. DOI: 10.1053/j.gastro.2022.03.055.
- [17] Sharma P, Hassan C. Artificial intelligence and deep learning for upper gastrointestinal neoplasia[J]. Gastroenterology, 2022, 162(4):1056-1066. DOI: 10.1053/j.gastro.2021.11.040.
- [18] Chan HP, Samala RK, Hadjiiski LM, et al. Deep learning in

medical image analysis[J]. Adv Exp Med Biol, 2020, 1213: 3-21. DOI: 10.1007/978-3-030-33128-3_1.

- [19] Ciocirlan M, Lapalus MG, Hervieu V, et al. Endoscopic mucosal resection for squamous premalignant and early malignant lesions of the esophagus[J]. Endoscopy, 2007, 39(1): 24-29. DOI: 10.1055/s-2006-945182.
- [20] Siegel RL, Miller KD, Jemal A. Cancer statistics, 2020[J]. CA Cancer J Clin, 2020, 70(1):7-30. DOI: 10.3322/caac.21590.
- [21] 张添辉,陈芸,古志聪,等.高、低年资规培医师应用 PI-RADS教学的培训效果分析[J].继续医学教育,2021, 35(9):32-33. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6763.2021.09.018.
- [22] 李丹玲.基于灵敏度和特异度任意赋权的评价诊断试验的统计推断方法[D].广州:南方医科大学,2013.
- [23] Uema R, Hayashi Y, Tashiro T, et al. Use of a convolutional neural network for classifying microvessels of superficial esophageal squamous cell carcinomas[J]. J Gastroenterol Hepatol, 2021, 36(8):2239-2246. DOI: 10.1111/jgh.15479.
- [24] Kimura H, Yoshida M, Tanaka M, et al. Preoperative indicators of misdiagnosis in invasion depth staging of esophageal cancer: pitfalls of magnifying endoscopy with narrow-band imaging[J]. Dig Endosc, 2020, 32(1):56-64. DOI: 10.1111/den.13464.
- [25] 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. DOI: 10.1016/j.gie.2018.07.037.
- [26] Oura H, Matsumura T, Fujie M, et al. Development and evaluation of a double-check support system using artificial intelligence in endoscopic screening for gastric cancer[J]. Gastric Cancer, 2022, 25(2): 392-400. DOI: 10.1007/ s10120-021-01256-8.
- [27] Koppe G, Meyer-Lindenberg A, Durstewitz D. Deep learning for small and big data in psychiatry[J]. Neuropsychopharmacology, 2021, 46(1): 176-190. DOI: 10.1038/s41386-020-0767-z.

•插页目次•

富士胶片(中国)投资有限公司	封2	济川药业集团有限公司	786b
宾得医疗器械(上海)有限公司	对封2	江苏唯德康医疗科技有限公司	804a
深圳开立生物医疗科技股份有限公司	对中文目次1	爱尔博(上海)医疗器械有限公司	804b
爱尔博(上海)医疗器械有限公司	对中文目次2	安徽养和医疗器械设备有限公司	814a
深圳市康哲药业有限公司	对英文目次1	河北武罗药业有限公司	814b
上海澳华内镜股份有限公司	对英文目次2	南微医学科技股份有限公司	封3
北京华亘安邦科技有限公司	对正文	奥林巴斯(北京)销售服务有限公司	封4
四川健能制药开发有限公司	786a		



苏城广审(文) 250226-24752号 苏城注准 20212061554 苏城注准 20212061309 南微医学科技股份有限公司生产 Version:CY-240815

禁忌内容或注意事项详见说明书 仅限专业医疗人员使用



南微医学科技股份有限公司

◎ 南京高新开发区高科三路10号
□ 025 5874 4269
□ info@micro-tech.com.cn





- 特别为高频电切/机械切除灵活交替的使用需求而设计
- 细且坚韧的线圈支持了干净迅速的切除

一次性使用高频圈套器 SD-400U-10/15

奥林巴斯(北京)销售服务有限公司 北京总部:北京市朝阳区新源南路1-3号平安国际金融中心A座8层 代表电话:010-58199000 本资料仅供医学专业人士阅读。 禁忌内容或注意事项详见说明书。 所有类比均基于本公司产品,特此说明。 模格、设计及附件如有变更,请以产品注册信息为准。 国械注通20213010092 沪城广审(文)第260325-23681号

AD00695V V01-2112

广告