

DOI: 10.12235/E20220185  
文章编号: 1007-1989 (2023) 02-0001-07

论著

## 深度学习在内镜下内痔诊断及危险分级中的应用\*

陆建英, 沈文娟, 顾莹, 沈琳霞, 张叶群, 袁金丹, 张芝芝, 许春芳, 朱锦舟

(苏州大学附属第一医院 消化内科, 江苏 苏州 215000)

**摘要: 目的** 建立内镜下内痔诊断及危险分级的深度学习模型, 探讨人工智能辅助内镜下内痔诊疗的可行性。**方法** 收集该院内镜中心的肛齿状线上倒镜图片, 分为内痔组和正常组 (A任务); 根据LDRf分级标准, 将内痔组进一步分为Rf0组、Rf1组和Rf2组 (B任务)。选取基于卷积神经网络 (CNN) 框架的Xception、ResNet和EfficientNet, 以及基于Transformer框架的ViT和ConvMixer等5个神经网络, 建立针对A、B两项计算机视觉任务的深度学习模型。模型评价指标包括准确率、召回率、精确度、F1值和读片时间。将深度学习模型的读片表现与两位不同年资内镜医生进行比较。**结果** 5种深度学习模型在A与B任务测试集中皆展现出较好的准确性。其中, 最优模型为ConvMixer, 准确性最高 (0.961和0.911), 其次为EfficientNet (0.956和0.901), 均优于高年资内镜医生 (0.952和0.881) 和低年资内镜医生 (0.913和0.832)。同时, 所有深度学习模型在验证集中读片用时均 < 10 s, 速度快于内镜医生 (均 > 300 s)。此外, 笔者采用梯度加权分类激活映射 (Grad-CAM) 方法突出图像中对模型判断较重要的区域。**结论** 建立的内痔诊断及危险分级的深度学习模型, 其表现优于内镜医生。基于深度学习的计算机视觉模型可辅助内镜医师进行内痔诊断和分级, 展现出潜在的临床应用前景。

**关键词:** 深度学习; 内痔; 消化内镜; LDRf分级; 梯度加权分类激活映射

**中图分类号:** R657.18

## Deep learning in the diagnosis and risk stratification of internal hemorrhoids in endoscopy\*

Jian-ying Lu, Wen-juan Shen, Ying Gu, Lin-xia Shen, Ye-qun Zhang, Jin-dan Yuan,  
Zhi-zhi Zhang, Chun-fang Xu, Jin-zhou Zhu

(Department of Gastroenterology, the First Affiliated Hospital of Soochow University,  
Suzhou, Jiangsu 215000, China)

**Abstract: Objective** To develop deep learning models for the diagnosis and risk stratification of internal hemorrhoids in endoscopy. **Methods** Endoscopic images in upper anus dentate line were collected, which were divided into normal group and internal hemorrhoids group (Task A). Based on the LDRf standard, internal hemorrhoids group was further classified into Rf0, Rf1 and Rf2 (Task B). Five deep learning models, included: Xception, ResNet, EfficientNet (based on CNNs architecture) and ViT, ConvMixer (Transformer architecture), were chosen to be trained on the two computer vision tasks. The models were evaluated by accuracy, recall, precision, F1 and prediction time. Their performances were compared with two endoscopists. **Results** The five models showed

收稿日期: 2022-03-30

\* 基金项目: 国家自然科学基金 (No: 82000540); 苏州市科技计划 (No: SKY2021038); 苏州市科教兴卫项目 (No: KJXW2019001)

[通信作者] 朱锦舟, E-mail: jzhu@zju.edu.cn; Tel: 16606155197

good performance in the validation dataset of the two tasks. The best was the ConvMixer model (accuracy 0.961 in Task A and 0.911 in Task B), followed by the EfficientNet model (0.956 and 0.901), which were both higher than the endoscopists (senior 0.952 and 0.881; junior 0.913 and 0.832). Meanwhile, in terms of prediction time in the validation dataset, all models (<10 s) cost significantly less time than the endoscopists (> 300 s). Furthermore, the Grad-CAM promoted model's visualization and explanation. **Conclusion** This study trained deep learning models to diagnose and stratify internal hemorrhoids in endoscopy, whose performance was better than endoscopists. Computer vision models, based on deep learning, could assist endoscopists to diagnose and stratify internal hemorrhoids, which show promise in future clinical practice.

**Keywords:** deep learning; internal hemorrhoids; endoscopy; LDRf standard; gradient-weighted class activation mapping (Grad-CAM)

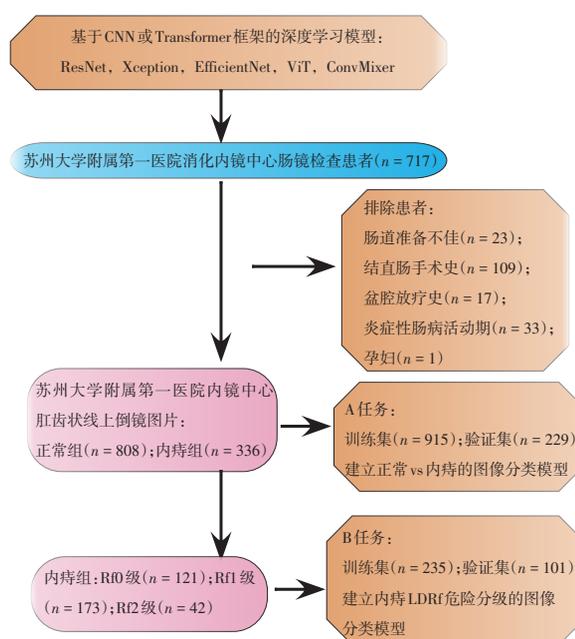
痔疮是肛肠常见病，我国 2015 年流行病学调查显示，成年人中超过一半患有肛肠疾病，98% 有痔疮症状<sup>[1]</sup>。内痔占痔疮患者的 60%，常见症状包括：出血、脱垂及肛门瘙痒等<sup>[2]</sup>。以往，国内外在内痔诊治方面的研究往往是由肛肠外科或中医科主导。随着软式消化内镜设备与技术的飞速发展，其在内痔临床诊疗中逐渐发挥了重要作用。相比传统的硬式肛肠镜，利用消化内镜，特别是在胃镜倒镜下，观察肛齿状线上形态特征，具有视野广阔、图像清晰和操控灵活等优点<sup>[3]</sup>。但由于大多数消化内镜医生缺乏肛肠疾病诊疗经验，对内痔内镜下特征及分级并不熟悉。近年来，基于深度学习的人工智能系统在消化内镜诊疗方面取得了令人瞩目的进展<sup>[4]</sup>。本研究旨在通过建立内镜下内痔诊断及危险分级的深度学习模型，探讨人工智能辅助内镜下内痔诊疗的可行性。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

本研究纳入 2020 年 3 月—2022 年 1 月苏州大学附属第一医院内镜中心肠镜检查患者的资料，根据 2021 年中华医学会消化内镜学分会内痔协作组发布的“中国消化内镜内痔诊疗指南及操作共识 (2021)”<sup>[2]</sup>，将肛齿状线上倒镜图片分为内痔组和正常组 (A 任务)。另外，根据指南中 LDRf 分类的危险因素<sup>[2]</sup>，将内痔组进一步分为 Rf0 组、Rf1 组和 Rf2 组 (B 任务)。内镜图像由 3 名高年资内镜医师 (> 10

年内镜工作经验) 共同判读，作为内痔诊断及分级标准。研究流程见图 1。



图片相关数字为原始图片张数

图 1 研究流程

Fig.1 Flowchart of the study

纳入标准：①同意参与本项研究；②采集肛齿状线上清晰的倒镜图像。排除标准：①肠道准备不佳，影响图像质量；②肛直肠手术史；③盆腔放疗史；④炎症性肠病活动期；⑤孕妇。本研究经苏州大学附属第一医院伦理委员会审批通过 (批号：2022098)。

## 1.2 设备

奥林巴斯260、290机型及富士601机型等。

## 1.3 资料收集与体格检查

**1.3.1 病史资料** ①是否存在便血、肛门脱垂和疼痛等情况;②饮食和生活习惯;③排便的频率和大便性状,是否有久坐久蹲等不良生活习惯等;④个人史、服药史和家族史等。

**1.3.2 体格检查** ①肛门区视诊:是否有内痔脱垂、外痔和血栓等情况;②直肠指诊:是否存在肛门狭窄,观察指套有无黏液和脓血等。

**1.3.3 肠镜检查** ①记录是否有结直肠肿瘤、炎症性肠病和缺血性肠病等情况;②记录是否有内痔,包括:痔核大小、数量、部位和表面纹理等特征;③有无瘘管和血栓形成等。

## 1.4 深度学习网络

**1.4.1 图像输入** 原始内镜图像经缩放至相同格式,即:3通道 $331 \times 331$ 像素,像素值归一化到0至1。经预处理后进行图像增强,避免因样本量小而造成过拟合,而后载入深度学习。

**1.4.2 模型选择** 在Keras模块或TensorFlow-hub中,获取经ImageNet数据库预训练后的所需模型,包括:Xception, ResNet50V2 (ResNet), EfficientNet-V2s (EfficientNet), Vision Transformer s16 (ViT)以及ConvMixer-768/32 (ConvMixer)。前三者为卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)框架,后两者为Transformer框架的深度学习网络。

**1.4.3 迁移学习** 将上述神经网络,去掉头端的分类层,仅保留特征提取层。将网络框架及参数冻结,并在头端新建5个全连接层(层数分别为1 024, 512, 256, 64及2)。前4层激活函数为ReLU,最后输出层(即模型新分类器)为Sigmoid(A任务)或ReLU(B任务)激活函数。完成迁移学习框架的构建,利用反向传播,训练新建层的参数。

**1.4.4 训练参数** 在Keras模块(TensorFlow为其后端)中,部署上述CNN框架或Transformer框架的深度学习网络,针对A与B两项计算机视觉任务,进行迁移学习,并建立图像分类模型。训练过程采用Adam优化器,双交叉熵损失函数,固定0.0001的学

习率。此外,图像载入批量化,每批为32张。

**1.4.5 模型评价** 包括:准确率、召回率、精确度、F1值及读片时间。读片结果与两位不同年资的内镜医生(低年资:<5年内镜工作经验;高年资:>10年内镜工作经验)进行比较。

**1.4.6 模型可视化** 为了理解计算机视觉模型在图像任务中的分类依据,笔者采用了梯度加权分类激活映射(gradient-weighted class activation mapping, Grad-CAM)方法进行可视化解释<sup>[5]</sup>,即在原始图片基础上绘制热力图,展示深度学习模型对内痔内镜图片的理解。

**1.4.7 实验平台** 以上模型建立、训练及评价过程,均在Python(3.9版本)中实现。深度学习采用的是TensorFlow平台(2.8.0)。实验硬件条件为Mac mini,具有8核Apple M1处理器(内建GPU),16 G内存。

## 2 结果

### 2.1 深度学习模型在内痔诊断(A任务)中的表现

对于肛齿状线上倒镜图片,3个CNN框架网络和2个Transformer框架网络在区分正常组和内痔组(即A任务)中皆展现出较好的表现。其中,最优模型为ConvMixer,在验证集上准确性最高(0.961),同时其召回率(0.955)、精确度(0.914)以及F1值(0.934)均最高。见图2。

### 2.2 深度学习模型在内痔分级(B任务)中的表现

上述5种深度学习模型在B任务测试集中也表现良好。最优模型仍为ConvMixer,其在验证集上准确性最高(0.911)。见图3。

### 2.3 深度学习模型与内镜医师的表现比较

在A任务中,最佳模型ConvMixer(0.961)以及EfficientNet(0.956)在准确性方面均优于高年资内镜医生(0.952);所有深度学习模型优于低年资内镜医生(0.913)。在B任务中,模型ConvMixer(0.911)、EfficientNet(0.901)以及ViT(0.891)的准确性均优于高年资内镜医生(0.881);所有深度学习模型均优于低年资内镜医生(0.832)。

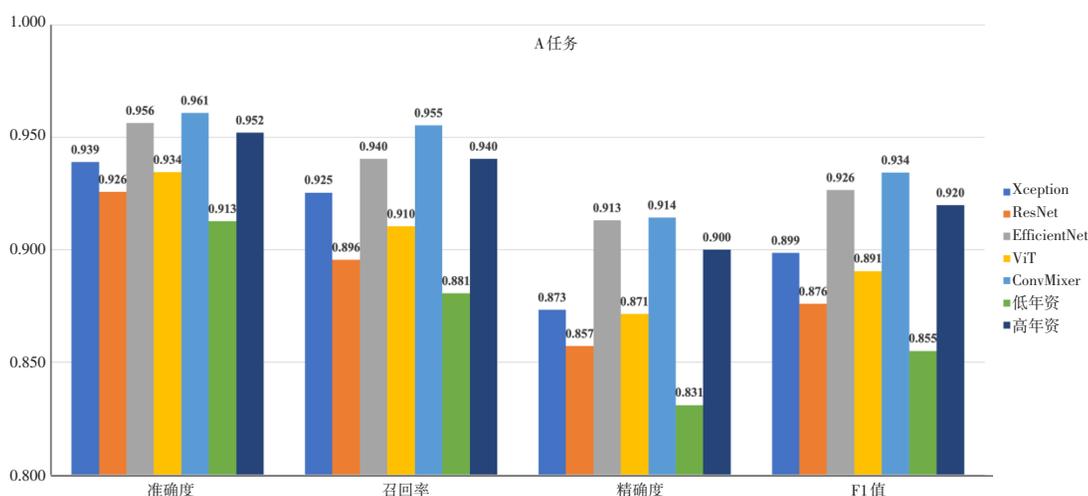


图2 深度学习模型与内镜医生在验证集中A任务的表现

Fig.2 Performance of deep learning models and endoscopists in the A task in the validation dataset

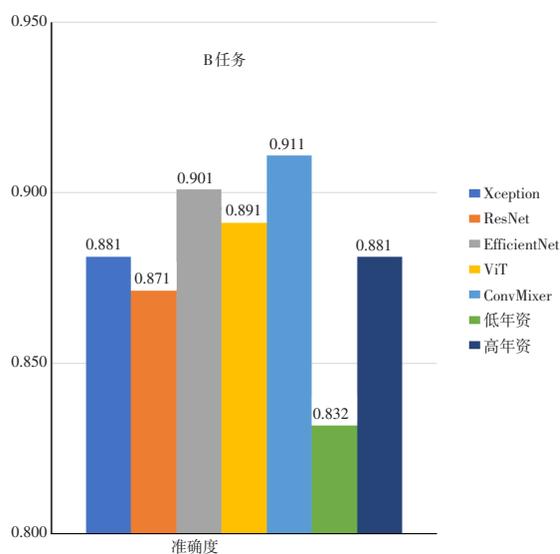


图3 深度学习模型与内镜医生在验证集中B任务的表现

Fig.3 Performance of deep learning models and endoscopists in the B task in the validation dataset

### 2.4 深度学习模型与内镜医师在验证集中的读片用时

在A与B任务中，所有深度学习模型在验证集中读片用时均<10 s，速度快于内镜医生（均>300 s）。见图4。

### 2.5 深度学习可解释性呈现

采用Grad-CAM方法为内镜图片生成可视化激活图，通过对原始图像着色来突出图像中对模型判断较

重要的区域。3组内镜图片中，最左侧为原始内镜图像，中间为神经网络特征提取输出层的像素化激活层（即热力图），最右侧为原始图像基础上覆盖了可视化激活层（即热力图），呈现的是模型判断出的病变部位，橘红色部分为深度学习模型判断依据的高权重区域，即：模型认为内痔在图像中的位置。见图5。

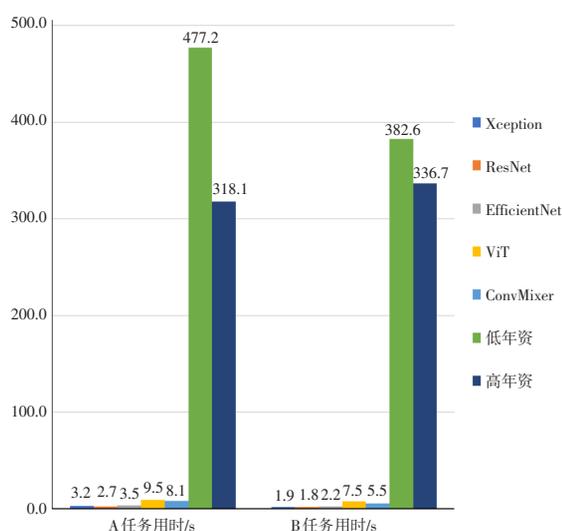
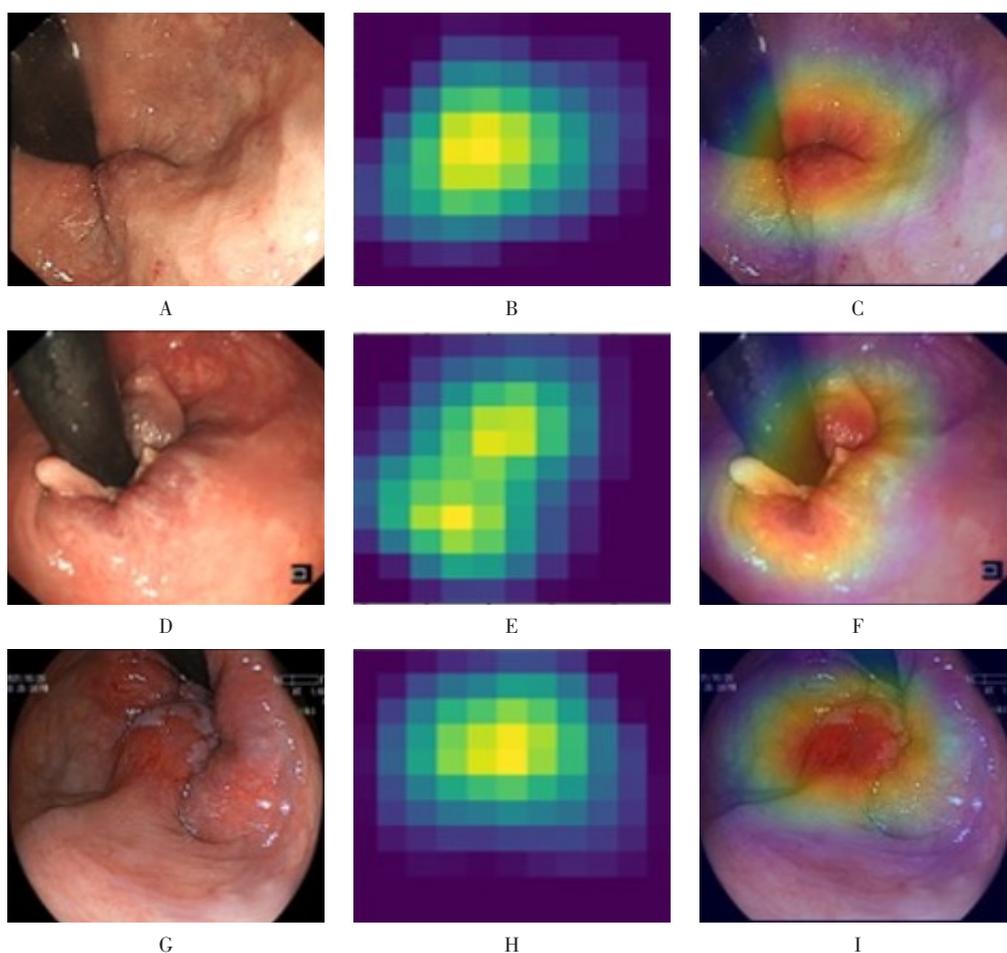


图4 深度学习模型与内镜医生在2项任务验证集中的读片用时(s)

Fig.4 Reading time of deep learning models and endoscopists in the validation dataset (s)



A: Rf0级原始内镜图片; B: Rf0级热力图; C: Rf0级热力图覆盖于原始内镜图片; D: Rf1级原始内镜图片; E: Rf1级热力图; F: Rf1级热力图覆盖于原始内镜图片; G: Rf2级原始内镜图片; H: Rf2级热力图; I: Rf2级热力图覆盖于原始内镜图片

图5 Grad-CAM可视化激活图

Fig.5 The visualized heatmaps of Grad-CAM

### 3 讨论

#### 3.1 内痔的传统诊治方法

传统的内痔诊治工作往往由肛肠外科或中医科通过肛门镜实现。由于肛门镜的直视硬镜工作原理,其应用受到视野较窄和操作不灵活等缺点的限制<sup>[6-7]</sup>。近年来,消化内镜诊疗飞速发展,临床上将成熟的内镜技术运用在肛肠疾病中。通过电子软镜进行内痔等肛肠疾病的诊疗,具有以下优势:兼具正镜和倒镜,操作视野较好;可借助窄带成像技术、放大内镜和超声内镜等,了解病变性质、结构及范围等信息;能同时进行全结肠检查,明确结直肠其他疾患;减少并发症,患者痛苦少,术后恢复快<sup>[2, 8]</sup>。2021年发布的消

化内镜内痔诊疗指南<sup>[2]</sup>,进一步规范了消化内镜下内痔的微创诊疗方法。

#### 3.2 内痔的临床表现

内痔最常见的临床表现是出血和脱垂,严重影响着患者的生活质量。长期反复便血或者急性大出血,可导致继发性贫血,情况危重者甚至出现休克等状况,需要急诊手术干预。因此,提早识别内痔,进行危险分级,对于内痔患者的临床管理尤为重要。令狐恩强等<sup>[9]</sup>对内镜下内痔表现提出了LDRf标准,对内痔危险因素进行了分级。本研究旨在建立针对内镜下内痔诊断及危险分级的深度学习模型,以探讨人工智能辅助内痔诊疗的可行性。

### 3.3 人工智能的临床应用

随着临床数据的指数级增长,同时机器学习中神经网络新算法(即深度学习)的出现,人工智能在医疗实践中的应用也得到了快速发展,并取得了一系列瞩目的成绩。人工智能在消化内镜中的应用,集中在计算机视觉的图像任务<sup>[10]</sup>。其中,已进入或接近临床应用阶段的技术包括:结直肠息肉的智能检测<sup>[11]</sup>,消化道早癌的辅助识别<sup>[12]</sup>,胶囊内镜视频筛查<sup>[13]</sup>,以及内镜检查质量控制<sup>[14]</sup>等。目前,国内外对深度学习应用于内镜下内痔辅助诊疗的相关报道较罕见。

本研究收集本院内镜中心的肛齿状线上倒镜图片,根据最新指南<sup>[2]</sup>,选用基于 CNN 框架和 Transformer 框架的多个深度学习模型,对内痔进行诊断和分级任务训练。结果显示:深度学习模型在判断正常与内痔内镜照片中,准确性优于不同年资的内镜医生;同时,根据内镜下内痔 LDRf 危险分级的分类判断中,深度学习模型同样优于内镜医生。此外,在读片用时方面,深度学习模型速度快于内镜医生。最后,为避免深度学习“黑盒”的不可解释性,笔者通过 Grad-CAM 方法呈现了模型对图片的判断依据,高亮出模型认为的内痔所在区域。

综上所述,收集肛齿状线上倒镜图像,建立内痔诊断和危险分级的人工智能模型,经模型训练及验证后,发现深度学习模型在准确性和读片速度方面均优于内镜医生。基于深度学习的计算机视觉模型可辅助内镜医师进行内痔诊断和分级,展现出潜在的临床应用前景。

#### 参 考 文 献 :

- [1] 江维,张虹玺,隋楠,等.中国城市居民常见肛肠疾病流行病学调查[J].中国公共卫生,2016,32(10):1293-1296.
- [1] JIANG W, ZHANG H X, SUI N, et al. Common anorectal diseases among urban residents in China[J]. Chinese Journal of Public Health, 2016, 32(10): 1293-1296. Chinese
- [2] 中华医学会消化内镜学分会内痔协作组.中国消化内镜内痔诊疗指南及操作共识(2021)[J].中华消化内镜杂志,2021,38(9):676-687.
- [2] Internal Hemorrhoids Cooperative Group of Chinese Society of Digestive Endoscopy. Chinese digestive endoscopic practice guidelines and operation consensus for internal hemorrhoids (2021)[J]. Chinese Journal of Digestive Endoscopy, 2021, 38(9): 676-687. Chinese
- [3] 王明辉,李文波,刘晓峰.内痔的内镜治疗进展[J].中华消化内镜杂志,2021,38(9):757-761.
- [3] WANG M H, LI W B, LIU X F. Progress in endoscopic treatment of internal hemorrhoids[J]. Chinese Journal of Digestive Endoscopy, 2021, 38(9): 757-761. Chinese
- [4] 唐承薇.消化内镜人工智能:使命促进跨界合作研究[J].中华消化杂志,2020,40(11):742-744.
- [4] TANG C W. Artificial intelligence for gastrointestinal endoscopy: the mission promotes collaborative research across disciplines[J]. Chinese Journal of Digestion, 2020, 40(11): 742-744. Chinese
- [5] HE T, GUO J X, CHEN N, et al. MediMLP: using Grad-CAM to extract crucial variables for lung cancer postoperative complication prediction[J]. IEEE J Biomed Health Inform, 2020, 24(6): 1762-1771.
- [6] LOHSIRIWAT V. Hemorrhoids: from basic pathophysiology to clinical management[J]. World J Gastroenterol, 2012, 18(17): 2009-2017.
- [7] 刘俊.内痔的消化内镜微创治疗:消化内镜的新领域[J].中华消化内镜杂志,2021,38(9):673-675.
- [7] LIU J. Endoscopic minimally invasive treatment of internal hemorrhoids: a new field of digestive endoscopy[J]. Chinese Journal of Digestive Endoscopy, 2021, 38(9): 673-675. Chinese
- [8] GANZ R A. The evaluation and treatment of hemorrhoids: a guide for the gastroenterologist[J]. Clin Gastroenterol Hepatol, 2013, 11(6): 593-603.
- [9] 令狐恩强.2009静脉曲张及出血的内镜诊断和治疗规范试行方案注解[J].中华腔镜外科杂志:电子版,2011,4(5):331-333.
- [9] LINGHU E Q. 2009 interpretation on the diagnosis and treatment of varicose vein and bleeding[J]. Chinese Journal of Laparoscopic Surgery: Electronic Edition, 2011, 4(5): 331-333. Chinese
- [10] 赵胜兵,钱维,柏愚,等.人工智能在消化内镜诊疗领域的应用研究进展[J].中华消化内镜杂志,2019,36(4):293-296.
- [10] ZHAO S B, QIAN W, BAI Y, et al. The progress of the application of AI in the field of endoscopy[J]. Chinese Journal of Digestive Endoscopy, 2019, 36(4): 293-296. Chinese
- [11] GONG D X, WU L L, ZHANG J, et al. Detection of colorectal adenomas with a real-time computer-aided system (ENDOANGEL): a randomised controlled study[J]. Lancet Gastroenterol Hepatol, 2020, 5(4): 352-361.
- [12] 王智杰,高杰,孟茜茜,等.基于深度学习的人工智能技术在早期胃癌诊断中的应用[J].中华消化内镜杂志,2018,35(8):551-556.
- [12] WANG Z J, GAO J, MENG Q Q, et al. Artificial intelligence based on deep learning for automatic detection of early gastric

- cancer[J]. Chinese Journal of Digestive Endoscopy, 2018, 35(8): 551-556. Chinese
- [13] 周莉函, 褚晔, 郭昊新, 等. 卷积神经网络在胶囊内镜图像自动诊断中的应用[J]. 中华消化杂志, 2020, 40(6): 429-432.
- [13] ZHOU L H, CHU Y, GUO H X, et al. The application of convolutional neural networks in the automated diagnosis of capsule endoscopy[J]. Chinese Journal of Digestion, 2020, 40(6): 429-432. Chinese
- [14] ZHOU W, YAO L W, WU H L, et al. Multi-step validation of a deep learning-based system for the quantification of bowel preparation: a prospective, observational study[J]. Lancet Digit

Health, 2021, 3(11): e697-e706.

(吴静 编辑)

**本文引用格式:**

陆建英, 沈文娟, 顾莹, 等. 深度学习在内镜下内痔诊断及危险分级中的应用[J]. 中国内镜杂志, 2023, 29(2): 1-7.

LU J Y, SHEN W J, GU Y, et al. Deep learning in the diagnosis and risk stratification of internal hemorrhoids in endoscopy[J]. China Journal of Endoscopy, 2023, 29(2): 1-7. Chinese