

# 人工智能技术在消化内镜诊断及质量控制中的研究进展

华雯俏<sup>1</sup>, 林文<sup>2</sup>, 王姝<sup>3</sup>

<sup>1</sup>青岛市市立医院消化内二科, 山东 青岛

<sup>2</sup>聊城市第三人民医院外二科, 山东 聊城

<sup>3</sup>青岛大学附属医院消化内科, 山东 青岛

Email: 806921750@qq.com

收稿日期: 2020年11月2日; 录用日期: 2020年11月20日; 发布日期: 2020年11月27日

## 摘要

近年来, 人工智能(AI)技术发展迅速, 它具有强大的学习能力以及计算能力, 现已能应用于医学众多领域。消化内镜领域以图片作为诊断基础, 与人工智能辅助诊断领域能够完美交融, 关于人工智能技术在消化内镜领域的研究也成了近年的热点, 在AI辅助下, 内镜医师的诊断水平可大水平提升。此文章就目前人工智能在胃肠镜下疾病诊断的应用进行综述。

## 关键词

内窥镜检查, 人工智能, 消化系统, 深度学习

# Research Progress of Artificial Intelligence Technology in Diagnosis and Quality Control of Digestive Endoscopy

Wenqiao Hua<sup>1</sup>, Wen Lin<sup>2</sup>, Shu Wang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Gastroenterology II, Qingdao Municipal Hospital, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Department of General Surgery II, Liaocheng Third People's Hospital, Liaocheng Shandong

<sup>3</sup>Department of Gastroenterology, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

Email: 806921750@qq.com

Received: Nov. 2<sup>nd</sup>, 2020; accepted: Nov. 20<sup>th</sup>, 2020; published: Nov. 27<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

Artificial intelligence (AI) technology has developed rapidly in recent years. It has strong learning ability and computing ability. It can be applied in many fields of medicine. The field of digestive endoscopy is based on pictures, which can be perfectly integrated with the field of artificial intelligence assisted diagnosis. The research on artificial intelligence technology in the field of digestive endoscopy has also become a hot topic in recent years. With the aid of AI, the diagnostic level of endoscopists can be greatly improved. This article reviews the application of artificial intelligence in the diagnosis of gastrointestinal diseases under gastrointestinal endoscopy.

## Keywords

Endoscopy, Artificial Intelligence, Digestive System, Deep Learning

Copyright © 2020 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. 前言

在图像识别领域人工智能技术发展迅猛,深度学习和卷积神经网络(convolution neural network, CNN)的出现使得提取数据特征变得更加高效且完全,大大提高了人工智能技术在图像辅助诊断方面研究的效率。在实际的临床工作中,消化内镜检查需要由内镜医师人工完成,并肉眼识别病灶、病理活检诊断,效率慢且耗费大量人力及物力,人工智能技术则能帮助广大临床消化医生更加准确、高效的识别出消化系统疾病,减少无效活检,减少误诊、漏诊率。并且可以将人工智能与内镜质控相结合,以求推动诊疗规范。

## 2. 人工智能简介

上世纪五十年代首次出现了人工智能的概念,上世纪七十年代英国利兹大学首次研发出了医学界人工智能系统 AAPHELP [1],有学者认为人工智能(Artificial Intelligence, AI)的定义可分为认知角度以及行为角度两方面,前者注重的是机器对于自身推理过程的理解,而后者更注重在制造一种机器,可以完成以人智力为基础才能完成的工作[2],本文所指的 AI 即为后者。深度学习(deep learning, DL)可以理解为机器学习的一个分支,它可应用卷积神经网络(convolution neural network, CNN),以神经网络为构架,自动学习所提供数据中的低级特征,经过数次迭代,提取出其中更加复杂高级的特征,使得模型能够自动识别所提供图片中的特征并推算出相应诊断[3]。目前,人工智能技术在医学各个领域均的研究均有较大进展,如乳腺癌的筛查,肺癌、阿尔兹海默症、糖尿病视网膜病变、糖尿病黄斑水肿、皮肤癌[4] [5] [6] [7] [8]的辅助诊断等领域。其中最为活跃的研究方向为医学影像学,计算机断层成像(CT)以及磁共振成像(MRI)都涉及到计算机视觉的基础方法,而 AI 在图像视觉识别方面表现卓越。在内窥镜领域,深度学习算法可以弥补人类视觉捕捉不全、易于疲劳等缺点,对视野中的目标自动捕捉。AI 的发展将给消化内镜检查带来重大变革,如若能广泛应用,将大大提升我国医疗水平,提高工作效率,对医疗行业的发展意义重大。

### 3. AI 在胃镜中的应用

1) Barrett 食管(Barrett's esophagus, BE)的诊断: BE 的计算机辅助诊断是目前的研究热点之一。AI 辅助诊断能帮助内镜医师发现病灶,减少漏诊,定点活检。随机活检对不典型增生的敏感性仅为 64% [9]。但精确的定位活检对高级别上皮内瘤变及食管腺癌诊断的敏感性可高达 90%,特异性达到 80%,阴性预测值为 98% [10]。Johanson JF 等[11]利用 AI 对食管刷片结果进行分析,发现可以提高 BE 的发现率。

2) 食管癌的诊断: 我国是食管癌高发国家,由于其早期症状缺乏特异性,多数患者确诊时即为中晚期,预后不良。因此,食管癌的早筛、早诊、早治显得尤为重要。白光内镜是目前食管疾病的主要检出方法,加用碘染色可增加早期食管癌检出率,但仍无法避免特异性低无法判断良恶性、患者痛苦、操作难度大等缺点,且炎性病变更可导致假阳性。后来随着技术的发展出现了窄带成像(narrow-band imaging, NBI)技术,它可以提高病理检出率,减少患者不适,但设备昂贵,且对内镜医师要求较高,内镜医师需经过大量强化训练。AI 的辅助诊断能大大降低医师的学习成本,提高早期食管癌的检出率。我国腾讯公司研发的腾讯觅影筛查一个内镜检查不超过 4 秒,发现早期食管癌的准确率达到 90% [12]。Horie 等[13]建立的 AI 模型对 384 例食管癌患者的共 8428 张内镜图片进行学习,结果显示对于癌灶检出的敏感性为 98%,阳性预测值为 40%。

3) 辅助诊断是否有幽门螺旋杆菌(Helicobacter pylori, Hp)感染: Hp 感染是慢性胃炎、胃癌等疾病的重要致病因素之一[14]。但其在内镜下诊断的准确率受内镜医师的经验影响很大[15]。Schichijo 等[16]构建了两个深度学习(deep learning, DL)模型,选取 32,208 张胃镜图像进行训练,其中一个模型对否有 HP 感染诊断的灵敏度、特异度、准确度分别为 81.9%、83.4%、83.1%;另一模型的灵敏度、特异度、特异度达到了 88.9%、87.4%、87.7%。说明 DL 模型对 Hp 感染性胃炎的诊断也有重要意义。Yasuda 等[17]使用支持向量机(SVM)构建了一个自动诊断 Hp 感染的 AI 系统,应用 LCI 图像进行训练,最终 AI 系统诊断 Hp 感染的准确性、敏感性、特异性,分别为 87.6%、90.5%和 85.7%,其准确性高于没有经验的医生。但该研究不是内镜下实时诊断,此处仍有欠缺。总体来说,AI 在辅助诊断 H.p 感染方面具有很强的应用潜力。

4) 胃早癌的诊断: 在全球范围内,胃癌都是严重影响人民健康的疾病之一。近年来,得益于国民健康意识的提升以及国家医疗水平的提高,我国胃癌的发病率趋于平缓甚至有下降趋势,但仍高于世界平均水平。我国人口基数庞大且老龄化日益严重,2020 年我国胃癌总体发病人数仍会增加,全国新发病例数预计为 35.6 万人,全国的胃癌发病率预估为 24.30/10 万[18]。早期胃癌定义为癌组织局限于黏膜或黏膜下层者,无论有无淋巴结转移。与食管癌一样,早期胃癌病灶小,症状及体征不典型,确诊病例多已进展为中晚期,我国胃早癌的诊治率仅为 10%左右,远低于韩国和日本水平[19],因此提高早期胃癌筛查率显得尤为重要。王智杰等[20]收集 5159 张胃镜图片,投入深度学习模型中进行训练及验证并与内镜医师比较,结果显示其早期胃癌诊断的敏感度为 88.8% (206/232),特异度为 89.7% (429/478),总准确度为 89.4% (635/710),均比内镜医师组高,总体结果令人满意。Yusuke Horiuchi 等[21]将 CNN 模型应用于放大内镜窄带成像(ME-NBI)相结合以鉴别早期胃癌及胃炎,发现该模型对于 ME-NBI 图像诊断的准确率为 85.3% (220/258),灵敏度为 95.4%,特异性为 71.0%,151 张早期胃癌图像中有 7 张被识别为胃炎,而 107 张胃炎图像中有 31 张被识别早期胃癌总体诊断速度为 51.83 图像/秒(0.02 s/图像)。说明 ME-NBI 的 CNN 系统能在短时间内鉴别早期胃癌和胃炎,可作为 ME-NBI 的补充进一步协助临床操作。

### 4. AI 在结肠镜中的应用

1) 辅助结直肠息肉的诊断: 腺瘤性息肉属于癌前病变[22],93%的结直肠癌(colorectal cancer, CRC)

都是从腺瘤演变而来的[23]。因此早期诊断并治疗结直肠息肉,有助于降低CRC的发病率。结肠镜检查结合活组织病理是目前结直肠息肉及CRC的主要确诊手段,如何提高息肉的检出率,及时切除并定期复查是降低CRC发病率、死亡率的关键所在。Cesare Hassan等[24]将一种新型的检测结肠息肉AI系统与有经验的内镜专家进行验证比较,用白光内窥镜视频数据集来训练、验证该AI系统,结果显示该AI系统的灵敏度为99.7% ( $n = 337/338$ ),在整个结肠镜检查不到1%的帧中出现假阳性帧,与内镜专家相比,人工智能系统在82%的病例中反应时间更快( $n = 277/337$ , 差异  $1.27 + 3.81$ )。目前AI在结肠镜领域的另一个研究热点是鉴别结直肠息肉性质。Chen等[25]开发并测试了一个用深度神经网络分析肿瘤性息肉及增生性息肉窄带图像的计算机辅助诊断系统,该系统鉴别两种息肉的敏感性、特异性分别为96.3%、78.1%,平均用时也明显比低年资、高年资内镜医师短。虽然目前CNN系统在结肠息肉病理诊断领域尚且缺乏大型数据的训练,但是该系统在临床应用方面有很大的前景。

2) 辅助炎症性肠病(inflammatory bowel disease, IBD)的诊断:近年来,我国IBD的发病率逐年上升[26]。然而IBD和肠结核(intestinal tuberculosis, ITB)内镜下表现很相似。尤其是ITB和克罗恩病(Crohn's disease, CD),中国大约有65%的CD患者曾被误诊为ITB[27],而40%的CD患者接受了抗结核的试验性治疗[28]。Tong等[28]应用应用随机森林(Random Forest, RF)和卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)方法构建了一个区分溃疡性结肠炎(ulcerative colitis, UC)、CD、ITB的三分类器,分别对UC和CD、UC和ITB、CD和ITB进行两两比较,最终结果显示该分类器具有极高的敏感性和特异性。然而由于在纳入研究的患者中,具有典型内镜下特征(如铺路石样改变)的患者较少,分类器未将溃疡的典型特征(如纵性溃疡、铺路石样改变等)视为对CD和ITB进行鉴别诊断的重要特征。

## 5. AI 在无线胶囊内窥镜检查中的应用

无线胶囊内窥镜(WCE)目前主要的适应征为小肠疾病,WCE智能化的主要研究方向也在小肠疾病领域。WCE没有传统插入式内镜耐受性差等缺点,但一方面,一次胶囊内镜检查会产生上万张图像,阅片工作量巨大,想从中筛选出病变图片要消耗大量的时间。而且由于内镜医师水平参差不齐,导致该检查疾病的漏诊率也较高[29]。当前WCE智能化的热点之一就是如何在大量的检查图片中筛查出病变图片。另一方面,胶囊内镜在消化道内运动时不受人工控制,且易受胆汁等影响,图片质量难以保证,进一步加大了疾病诊断的难度。2019年国内已经上线了胶囊内镜大数据平台,但是由于数据难保存,数据量大,各医院系统独立,各单位报告术语不统一等原因,数据提取仍有难度[30]。有相关学者做了关于以深度学习为基础的系统作为小肠胶囊内窥镜检查的首次筛查的研究,结果显示经过该系统筛选后,内窥镜医师小肠切片的平均读取时间显著缩短,病变检出率没有显著下降,但受内镜医师阅片水平影响较大[31]。He等[32]提出了一种新的用于WCE图像的深度钩虫检测框架,该框架能同时对钩虫的视觉形态和管状模式进行建模,该模型也取得了较高的疾病诊断灵敏度、特异度。Xiao等[33]选取1000张内镜图片(800张正常图片,200张出血图片)训练AI模型,结果显示该模型诊断消化道出血准确度高达94.79%。目前欧洲各医疗机构也在不断尝试着新的研究突破,如实现WCE的定位活检、实现WCE在体腔内的磁悬浮运动等,发展前景都很客观。

## 6. AI 在消化内镜质量控制中的应用

近年来,内镜医师数量不断增长,有内镜检查或治疗的需求也越来越多,各地区、医院的消化内镜都在飞速发展。然而,迅速的发展也暴露出了问题所在。消化内镜质控指标繁杂,缺乏有效的监控手段等原因都使得消化内镜的质控难以保证。有研究发现,3.5%的CRC患者在近3年内均做过结肠镜检查,然而未能提前检出病变[34]。可以将AI与消化内镜质控相结合,规范内镜医师的操作,提高内镜下病变

检出率。

在实际内镜检查中,有医师存在观察时间不够、未检查完整的消化道或结肠镜检查退镜过快,时间小于6分钟的情况。退镜时间的长短会明显影响腺瘤的检出率,当退镜时间少于6分钟时,腺瘤检出率仅仅为11.8%,而超过6分钟时,腺瘤检出率即可提高到28.8% [35]。利用AI可监测精确的检查时间及观察范围,监测医师是否检查完所有的消化道,从而规范内镜医师操作,提高疾病检出率。这样既能规范医生操作,也可用于教学,也可以培训和考核年轻医师,培养优秀、合格、年轻的消化内镜医师。

## 7. AI 在消化领域的不足之处

AI在消化内镜领域的发展还面临很多问题,不同于医学影像领域,消化内镜AI的研发难度较大。受检查特殊性的影响,消化内镜图像缺乏统一标准,图像质量难控制。并且,目前用来训练和验证模型的数据都是回顾性收集的图片及数据,经过人工挑选,缺乏前瞻性。并且各单位采图习惯不同,图像质量不一,AI缺乏多种情况下的训练,缺乏多中心、大量数据的研究支持。

## 8. 总结及展望

消化内镜的智能化研究时间不长,其对于内镜下病变的辅助识别已有令人满意的准确性。但目前消化内镜智能化还主要停留在内镜下疾病的诊断上,关于AI在内镜下治疗、超声内镜、内镜逆行胰胆管造影等领域的报导较少,未来AI在上述领域中的应用令人期待。推进AI在我国消化内镜领域中的应用,可协助我国医师更加高效的发现病灶,提高医师内镜诊疗水平,降低漏诊、误诊率。可更准确的判断病人病情并帮助医生预估病情可能的发展,实现更精准的个体化治疗。同时能缩短内镜医师培训时长,快速高效的培养出高质量的内镜医师,改善内镜医生少、待检查患者多的“供不应求”的局面。AI的应用可全方位的涵盖自培训医师、辅助诊断到质控等各个方面,将来甚至有望于应用于内镜下治疗,促进我国消化事业不断发展。

## 参考文献

- [1] Suzuki, K. (2017) Overview of Deep Learning in Medical Imaging. *Radiological Physics & Technology*, **10**, 257-273. <https://doi.org/10.1007/s12194-017-0406-5>
- [2] 宋欣, 孙菁. 人工智能在消化系统疾病诊治中的应用和展望[J]. 胃肠病学, 2018, 23(9): 552-556.
- [3] Bengio, Y., Courville, A. and Vincent, P. (2013) Representation Learning: A Review and New Perspectives. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **35**, 1798-1828. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2013.50>
- [4] 崔凤至, 弓婷婷, 刘建华, 等. 人工智能在胸部疾病诊断中的研究进展[J]. 中国医疗设备, 2019(9): 164-167.
- [5] Anthimopoulos, M., Christodoulidis, S., Ebner, L., et al. (2016) Lung Pattern Classification for Interstitial Lung Diseases Using a Deep Convolutional Neural Network. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, **35**, 1207-1216.
- [6] Sarraf, S. and Tofghi, G. (2016) Classification of Alzheimer's Disease Structural MRI Data by Deep Learning Convolutional Neural Networks.
- [7] Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., et al. (2016) Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs. *JAMA the Journal of the American Medical Association*, **316**, 2402-2410. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.17216>
- [8] Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R.A., et al. (2017) Dermatologist-Level Classification of Skin Cancer with Deep Neural Networks. *Nature*, **542**, 115-118. <https://doi.org/10.1038/nature21056>
- [9] Sharma, P., Hawes, R.H., Bansal, A., et al. (2013) Standard Endoscopy with Random Biopsies versus Narrow Band Imaging Targeted Biopsies in Barrett's Oesophagus: A Prospective, International, Randomised Controlled Trial. *Gut*, **62**, 15-21. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2011-300962>
- [10] Appannagari, A., Soudagar, A., Pietrzak, C., et al. (2015) Are Gastroenterologists Willing to Implement Imaging-Guided Surveillance for Barrett's Esophagus? Results from a National Survey. *Endoscopy International Open*, **3**, E181-E185. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1391413>

- [11] Johanson, J.F., Frakes, J., Eisen, D., *et al.* (2011) Computer-Assisted Analysis of Abrasive Transepithelial Brush Biopsies Increases the Effectiveness of Esophageal Screening: A Multicenter Prospective Clinical Trial by the EndoCDx Collaborative Group. *Digestive Diseases & Sciences*, **56**, 767-772. <https://doi.org/10.1007/s10620-010-1497-6>
- [12] 人工智能腾讯科技. 腾讯发布一个 AI 神器有望攻克食管癌早筛难题[J]. 信息与电脑(理论版), 2017(15): 10.
- [13] Horie, Y., *et al.* (2018) Diagnostic Outcomes of Esophageal Cancer by Artificial Intelligence Using Convolutional Neural Networks. *Gastrointestinal Endoscopy*, **89**, 25-32.
- [14] Hiyama, T., Haruma, K., Kitadai, Y., Masuda, H., Miyamoto, M., Ito, M., Kamada, T., Tanaka, S., Uemura, N., Yoshihara, M., Sumii, K., Shimamoto, F. and Chayama, K. (2001) Clinicopathological Features of Gastric Mucosa-Associated Lymphoid Tissue Lymphoma: A Comparison with Diffuse Large B-Cell Lymphoma without a Mucosa-Associated Lymphoid Tissue Lymphoma Component. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, **16**, 734-739. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1746.2001.02519.x>
- [15] 蔡雅莉, 王雯. 幽门螺旋杆菌感染诊断进展[J]. 临床医学进展, 2020, 10(3): 172-178.
- [16] Nakashima, H., Kawahira, H., Kawachi, H., *et al.* (2018) Artificial Intelligence Diagnosis of *Helicobacter pylori* Infection Using Blue Laser Imaging-Bright and Linked Color Imaging: A Single-Center Prospective Study. *Annals of Gastroenterology*, **31**, 462-468. <https://doi.org/10.20524/aog.2018.0269>
- [17] Yasuda, T., Hiroyasu, T., Hiwa, S., Okada, Y., Hayashi, S., Nakahata, Y., Yasuda, Y., Omatsu, T., Obora, A., Kojima, T., Ichikawa, H. and Yagi, N. (2020) Potential of Automatic Diagnosis System with Linked Color Imaging for Diagnosis of *Helicobacter pylori* Infection. *Digestive Endoscopy*, **32**, 373-381. <https://doi.org/10.1111/den.13509>
- [18] 杨之洵. 中国胃癌发病趋势及预测[J]. 中国肿瘤, 2019, 28(5): 321-326.
- [19] Baptista, V., Singh, A. and Wassef, W. (2012) Early Gastric Cancer: An Update on Endoscopic Management. *Current Opinion in Gastroenterology*, **28**, 629-635. <https://doi.org/10.1097/MOG.0b013e328358e5b5>
- [20] 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.
- [21] Horiuchi, Y., Aoyama, K., Tokai, Y., *et al.* (2019) Convolutional Neural Network for Differentiating Gastric Cancer from Gastritis Using Magnified Endoscopy with Narrow Band Imaging. *Digestive Diseases and Sciences*, **65**, 1355-1363. <https://doi.org/10.1007/s10620-019-05862-6>
- [22] 薛伟彩, 王建立, 许建成, 等. 结直肠息肉和结直肠癌中 CD24 和 Lgr5 的表达[J]. 中国老年学杂志, 2018, 38(13): 3116-3119.
- [23] Morson, B. (1974) The Polyp-Cancer Sequence in the Large Bowel. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, **67**, 451-457. <https://doi.org/10.1177/00359157740676P115>
- [24] Hassan, C., Wallace, M., Sharma, P., *et al.* (2019) New Artificial Intelligence System: First Validation Study versus Experienced Endoscopists for Colorectal Polyp Detection. *Gut*, **69**, 799-800. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2019-319914>
- [25] Chen, P.J., Lin, M.C., Lai, M.J., *et al.* (2017) Accurate Classification of Diminutive Colorectal Polyps Using Computer-aided Analysis. *Gastroenterology*, **154**, 568-575.
- [26] 赵慧, 黄丽萍. 超声在炎症性肠病中的应用进展[J]. 中国医学影像学杂志, 2020, 28(9): 717-720.
- [27] Lee, Y.J., Yang, S.K., Byeon, J.S., Myung, S.J., Chang, H.S., Hong, S.S., Kim, K.J., Lee, G.H., Jung, H.Y., Hong, W.S., Kim, J.H., Min, Y.I., Chang, S.J. and Yu, C.S. (2006) Analysis of Colonoscopic Findings in the Differential Diagnosis between Intestinal Tuberculosis and Crohn's Disease. *Endoscopy*, **38**, 592-597. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924996>
- [28] Tong, Y., Lu, K., Yang, Y., Li, J., Lin, Y., Wu, D., Yang, A., Li, Y., Yu, S. and Qian, J. (2020) Can Natural Language Processing Help Differentiate Inflammatory Intestinal Diseases in China? Models Applying Random Forest and Convolutional Neural Network Approaches. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, **20**, 248. <https://doi.org/10.1186/s12911-020-01277-w>
- [29] 夏季, 潘骏, 夏天, 等. 深度学习人工智能在胶囊内镜领域中的应用[J]. 中华消化内镜杂志, 2019, 36(12): 877-880.
- [30] 江学良, 王金山, 何健华. 第二届胶囊内镜全球高峰论坛纪要[J]. 世界华人消化杂志, 2019, 27(24): 1513-1516.
- [31] Aoki, T., Yamada, A., Aoyama, K., *et al.* (2019) Clinical Usefulness of a Deep Learning-Based System as the First Screening on Small-Bowel Capsule Endoscopy Reading. *Digestive Endoscopy*, **32**, 585-591. <https://doi.org/10.1111/den.13517>
- [32] He, J.Y., Wu, X., Jiang, Y.G., *et al.* (2018) Hookworm Detection in Wireless Capsule Endoscopy Images with Deep Learning. *IEEE Transactions on Image Processing*, **27**, 2379-2392.
- [33] Jia, X. and Meng, Q.H. (2017) Gastrointestinal Bleeding Detection in Wireless Capsule Endoscopy Images Using

Handcrafted and CNN Features. *39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Seogwipo, 11-15 July 2017. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2017.8037526>

- [34] Than, M., Witherspoon, J., Shami, J., *et al.* (2015) Diagnostic Miss Rate for Colorectal Cancer: An Audit. *Annals of Gastroenterology*, **28**, 94-98.
- [35] Barclay, R.L., Vicari, J.J., Doughty, A.S., *et al.* (2006) Colonoscopic Withdrawal Times and Adenoma Detection during Screening Colonoscopy. *New England Journal of Medicine*, **355**, 2533-2541. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa055498>