

## · 综述 ·

## 人工智能在结直肠息肉性质鉴别中的应用进展

吴锦珍 谢玥 王新颖

南方医科大学珠江医院消化内科, 广州 510280

通信作者: 王新颖, Email: helenwxy@smu.edu.cn

**【摘要】** 在信息化和智能化浪潮的推动下, 计算机辅助内镜下病变的发现和鉴别因具有较高的诊断准确率而日益受到关注, 特别是深度学习和卷积神经网络的出现, 极大推动了智能化内镜的发展。结直肠息肉的人工智能化检测, 是人工智能消化内镜应用领域中发展最快的方向, 近年来不断涌现结直肠息肉智能检测和性质鉴别的突破性研究成果。本文就目前国内外关于计算机辅助诊断和人工智能在结直肠息肉性质鉴别中的研究进展进行综述。

**【关键词】** 人工智能; 诊断, 计算机辅助; 结肠镜检查; 肠息肉; 息肉性质鉴别

DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20200610-00515

结直肠癌是常见的恶性肿瘤之一, 其发病率在全球居恶性肿瘤第 3 位, 死亡率高居第 2 位<sup>[1]</sup>。研究表明, 约 90% 的结直肠癌由肠息肉演变而来, 特别是腺瘤性和锯齿状息肉, 二者均属癌前息肉, 发展至浸润性癌的平均时间为 10 年<sup>[2]</sup>。早期发现并切除结直肠息肉, 特别是癌前息肉可有效预防结直肠癌。因此, 提高结直肠息肉的检出率和分类准确率具有重要临床意义。内镜下对息肉进行活检病理仍是判断息肉组织学类型的金标准, 但在结肠镜检查过程中, 切除所有发现的息肉并全部进行病理活检, 将耗费大量的物力和财力, 不利于大力推进结直肠癌预防工作。为了提高息肉特别是癌前息肉的检出率和性质鉴别能力, 除了通过规范化培训和加强实践操作提升内镜医师的检查水平外<sup>[3]</sup>, 技术的改革创新是医疗及科技工作者努力的新方向, 后者包括两大方面: 改进设备和开发计算机支持技术。

作为一门综合性前沿学科, 人工智能 (artificial intelligence, AI) 广泛应用于经济、军事、医学及生活中。伴随 AI 技术在医疗领域的迅猛发展, 其强大的计算和深度学习能力已引起全球医疗领域人士的关注。消化内镜作为 AI 图像识别应用的重要领域, 也受到越来越多的关注。结直肠息肉 AI 检测在 AI 消化内镜领域应用中发展最快, 也最接近实用化。该领域应用的技术为计算机辅助诊断 (computer-aided diagnosis, CAD) 技术, 从应用目的出发可分为息肉检出和息肉性质分类两大类, 即计算机辅助检测 (computer-aided detection, CADe) 和计算机辅助定性 (computer-aided characterization, CADx)<sup>[4]</sup>。

结直肠息肉性质的实时鉴别是目前 AI 结肠镜领域的研究焦点之一。目前 AI 技术可实现对结直肠息肉等病变的组织学分类, 旨在检测并预测息肉的病理类型 (如肿瘤性或非肿瘤性), 帮助内镜医师进行实时、准确的内镜下光学诊断, 可以减少对非肿瘤性息肉的不必要切除, 实现肿瘤性息肉的

选择性切除。先进的成像技术与 CAD 技术的结合, 如放大-窄带光成像内镜 (magnifying endoscopy with narrow-band imaging, ME-NBI)<sup>[5-11]</sup>、细胞内镜 (endocytoscopy, EC)<sup>[12-17]</sup>、共聚焦激光显微内镜 (confocal laser endomicroscopy, CLE)<sup>[18-19]</sup>、激光诱导荧光光谱 (laser-induced fluorescence spectroscopy, LIFS)<sup>[20-21]</sup> 和自发荧光内镜 (autofluorescence endoscopy, AFE)<sup>[22-29]</sup> 等, 极大促进了结直肠息肉性质鉴别的发展。此外, 较新的方法已将先进的计算机辅助技术, 包括深度学习纳入非放大常规内镜领域<sup>[24-28]</sup>, 并取得了可喜的成绩。本文就 CAD 技术和 AI 在结直肠息肉性质鉴别中的研究进展作一综述。

### 一、CAD 与 ME-NBI

2010 年, Tischendorf 等<sup>[5]</sup>报道了一种基于血管模式的结直肠息肉自动分类方法, 在理想的设置下其敏感度、特异度和总体准确率分别可达 90.0%、70.2% 和 85.3%。该团队进一步的研究中实现了 95.0% 的敏感度、90.3% 的特异度和 93.1% 的准确率<sup>[6]</sup>, 这一表现可与专家组的分析相媲美, 并优于非专家组, 证实 CAD 可以为经验不足的内镜医师提供有力支持。然而, 这 2 项研究都是对静态 ME-NBI 图像等前瞻性数据进行回顾性分析, 且算法未进行实时操作。后续日本的其他团队<sup>[7-9]</sup>相继报道了更适合临床应用的稳健算法, 采用直方图视觉算法, 使图像分析系统更加高效, 从而有助于息肉病理的实时预测。Takemura 等<sup>[7-8]</sup>开发的“HuPAS”软件能自动提取所识别的腺管开口的 6 个形状描述符并进行定量分析, 该半自动化软件在放大色素内镜图像中的总体准确率达 98.5%<sup>[7]</sup>。后期的研究根据 ME-NBI 图像中的表面结构和微血管特征将息肉分为 A 型 (非肿瘤性) 和 B-C 型 (肿瘤性), 总体准确率为 97.8%, 对 B-C3 型病变的敏感度和特异度分别为 97.8% 和 97.9%, CADx 系统与内镜专家的诊断符合率为 98.7%<sup>[8]</sup>。然而, 该算法仍需由经验丰富的

内镜医师选择与手动提取感兴趣区域,后期需要继续开发自动选择感兴趣区域的算法,以便在结肠镜检查期间自动选择感兴趣区域以及进行实时计算机评估。Kominami 等<sup>[9]</sup>利用改进版软件进行前瞻性分析,新版软件以 20 帧/s 的速度输出支持向量机实时决策,诊断准确率、敏感度、特异度和阴性预测值分别为 93.2%、93.0%、93.3% 和 93.3%,与内镜医师的诊断符合率为 97.5%。Chen 等<sup>[10]</sup>创新性地利用 ME-NBI 图像结合深度卷积神经-计算机辅助诊断(DNN-CAD)系统鉴别增生性和肿瘤性息肉,该系统的准确率、敏感度、特异度和阴性预测值分别为 90.1%、96.3%、78.1% 和 91.2%。此外,DNN-CAD 系统在(0.45±0.07) s 内输出鉴别结果,显著短于内镜专家和年轻内镜医师所需的时间。Zhang 等<sup>[11]</sup>利用深度卷积神经网络结合迁移学习训练并验证 CAD 模型,研究表明,与内镜医师的目视检查相比,该模型具有相似的精确度(87.3%比 86.4%),但召回率(87.6%比 77.0%)和准确率(85.9%比 74.3%)更高。

## 二、CAD 与 EC

EC 是在放大内镜基础上发展而来的一种具有超高分辨率、超高放大倍数的接触型内镜,利用活体染色和显微探针接触组织表面,侧重于观察上皮表浅层细胞、细胞核、结构异型性,与组织病理学诊断过程类似,实现了实时活检。Mori 等<sup>[12-14]</sup>对 CAD 在 EC 中的应用进行了深入研究,通过多个模型探索,大大提高了 EC-CAD 系统的诊断敏感度和特异度。Mori 等<sup>[12]</sup>提取细胞核的 6 个特征构建算法,该 EC-CAD 系统仅需 0.3 s 即可完成诊断,敏感度和准确率分别达 92.0% 和 89.2%,可与内镜专家媲美,明显优于经验不足的内镜医师(非专家);特异度为 79.5%,与专家组和非专家组差异无统计学意义。第二代 EC-CAD 由同一团队使用基于网络的图像进行评估<sup>[13]</sup>,这种更先进的算法注重提取细胞核和腺管管腔等纹理特征,共提取 296 个特征,使用支持向量机将 EC 图像分为非肿瘤性病变、腺瘤性病变和浸润性癌,最终同时输出概率预测和病理预测。结果显示,EC-CAD 对息肉的诊断准确率、敏感度和特异度分别为 89.0%、89.0% 和 88.0%,诊断能力可媲美专家,且仅需 0.2 s 即可完成诊断。为了进一步评估 EC-CAD 系统在临床环境中的性能,Mori 等<sup>[14]</sup>进行的回顾性研究对 144 例微小息肉进行评估,AI 系统的敏感度、特异度、准确率、阳性预测值和阴性预测值分别为 98.0%、71.0%、81.0%、67.0% 和 98.0%。Takeda 等<sup>[15]</sup>使用第二代 EC-CAD 区分浸润性癌和腺瘤性病变,敏感度、特异度、准确率、阳性预测值和阴性预测值分别为 89.4%、98.9%、94.1%、98.8% 和 90.1%,在高置信度诊断(具有≥90%的正确概率)情况下,对应指标分别为 98.1%、100.0%、99.3%、100.0% 和 98.8%。为了克服标准 EC 需要对病灶进行染色剂染色的局限性,研究者有效结合 NBI 技术与 EC,开发了 EC-NBI。Misawa 等<sup>[16]</sup>利用 EC-NBI 图像建立和验证 CADx 模型的性能,该模型在 0.3 s 内输出诊断结果,对腺瘤性病变的总体准确率、敏感度和特异度分别为

90.0%、84.5% 和 97.6%,高置信度诊断时,诊断能力进一步提高,准确率、敏感度和特异度分别为 96.9%、97.6% 和 95.8%。经过几个初步研究后<sup>[12-16]</sup>,Mori 等<sup>[17]</sup>进行了一项更大规模的前瞻性研究,使用来自日本 5 个内镜中心获得的 EC 数据进行训练,病理预测的成功率为 98.1%,其中微小乙状结肠直肠腺瘤的敏感度、特异度、阳性预测值和阴性预测值分别为 91.4%、91.7%、88.9% 和 93.7%。

## 三、CAD 与 CLE

André 等<sup>[18]</sup>探讨 CAD 系统在基于探头的共聚焦激光显微内镜(probe-based CLE, pCLE)中的诊断性能,结果显示,该系统区分腺瘤性息肉和非腺瘤性息肉的诊断性能(准确率、敏感度和特异度分别为 89.6%、92.5% 和 83.3%)与内镜专家的诊断性能(准确率、敏感度和特异度分别为 89.6%、91.4% 和 85.7%)差异无统计学意义。Ștefănescu 等<sup>[19]</sup>收集 1 035 个无伪影的 CLE 图像,采用两层前馈神经网络进行训练和自动诊断,使用交叉熵和决策精确度表示结果,分别为训练组 0.53、16.14%,验证组 1.17、17.42%,测试组 1.17、15.48%。

## 四、CAD 与 LIFS

LIFS 使用一根光纤对结直肠息肉进行活检,该光纤引进活检系统(WavSTAT),纤维发射的激光被靶向组织吸收,CAD 系统自动分析息肉产生的自体荧光信号,能快速预测结直肠息肉的病理类型。Kuiper 等<sup>[20]</sup>的前瞻性研究显示 WavSTAT3 的准确率、敏感度、特异度、阴性预测值和阳性预测值分别为 74.4%、85.3%、58.8%、73.5% 和 74.8%。Rath 等<sup>[21]</sup>报道 WavSTAT4 允许在 1 s 内提供决策输出,总体准确率、敏感度、特异度和阴性预测值分别为 84.7%、81.8%、85.2% 和 96.1%,当仅考虑远端结直肠微小息肉时,对应指标分别可达 82.4%、100.0%、80.6% 和 100.0%。研究证实,利用 WavSTAT 技术的 LIFS 光学活检可以准确实时预测微小息肉的组织学类型。

## 五、CAD 与 AFE

Inomata 等<sup>[22]</sup>纳入 88 例患者的前瞻性研究表明,进行实时颜色分析的 CAD 软件鉴别肿瘤性病变和非肿瘤性病变的总体准确率、敏感度、特异度和阴性预测值分别为 82.8%、83.9%、82.6% 和 95.6%,判断浸润深度的总体准确率、敏感度、特异度和阴性预测值分别为 84.1%、84.0%、84.4% 和 92.6%。由此可见,基于新型 AFE 的 CAD 颜色分析系统可有效鉴别肿瘤性病变和非肿瘤性病变,且有可能作为预测结直肠癌浸润深度的方法,但仍需要进一步的研究来确定颜色分析在预测结直肠肿瘤侵袭深度方面的有效性。Aihara 等<sup>[23]</sup>报道采用 1.01 作为绿色、红色比值(G/R)临界值时,CADx 系统的敏感度、特异度、阳性预测值和阴性预测值分别为 94.2%、88.9%、95.6% 和 85.2%。

## 六、CAD 与非放大常规结肠镜

Byrne 等<sup>[24]</sup>构建的 DNN-CAD 模型,几乎实时输出组织学预测结果(每帧延迟 50 ms),总体诊断准确率为 94.0%,对腺瘤的诊断敏感度、特异度、阴性预测值和阳性预测值分

别为 98.0%、83.0%、97.0% 和 90.0%。Mesejo 等<sup>[25]</sup>设计并开发了一个结合机器学习和计算机视觉算法的框架,可以对增生性息肉、锯齿状腺瘤和腺瘤进行虚拟活检,该系统的平均表现优于专家组,具有竞争力,其中最佳模型对 3 类息肉的平均准确率、敏感度和特异度分别为 82.46%、72.74% 和 85.88%。Renner 等<sup>[26]</sup>利用深度学习结合迁移学习训练并验证 DNN-CAD 模型,实现了 78.0% 的准确率、92.3% 的敏感度和 62.5% 的特异度,且预测性能与专家组差异无统计学意义。Sánchez-Montes 等<sup>[27]</sup>利用高分辨率白光内镜图像评估一种基于息肉表面特征的 CAD 模型性能,该模型的总体准确率、敏感度、特异度和阴性预测值分别为 91.1%、92.3%、89.2% 和 87.1%,诊断性能与内镜医师差异无统计学意义,提示基于白光下息肉表面特征的计算机视觉系统能准确预测结直肠息肉的组织学诊断。陈肖等<sup>[28]</sup>使用 24 259 张临床采集的不做任何删减、修改和图像增强处理的图像进行测试,深度学习模型的敏感度、特异度和准确率分别为 98.30%、88.10% 和 92.92%。赵胜兵<sup>[29]</sup>构建了基于深度学习算法的 CNN-CAD 模型,回顾性收集全国 20 个内镜中心的白光内镜图像组成数据集进行训练和测试,该模型在测试数据集中展现了良好的诊断效能,对检出息肉性质分类(腺瘤性和非腺瘤性)的准确率、敏感度和特异度分别高达 93%、95% 和 99%,而且进一步的临床结肠镜验证过程证实该系统可以帮助肠镜医师识别更多的息肉和腺瘤,但后期仍需开展多中心、大规模的随机对照试验来进一步确认其临床诊断效能。Komeda 等<sup>[30]</sup>设计的 CNN-CAD 系统在体外鉴别息肉的性质,经 10 折交叉验证后,准确率为 0.751。研究证实,常规结肠镜下 CNN-CAD 系统可用于结直肠息肉的快速诊断,但还需要在体内进行进一步的前瞻性研究证实其有效性。

## 七、总结

尽管 CAD 下结直肠病变的性质鉴别已显示出较高的准确率,但其局限性亦不容忽视。首先,目前大多数研究都通过使用存储的静态和视频图像来开发和评估 CADx 系统,理想化条件下的结果不能真正代表真实世界的有效性,在临床实践中可能无法重现。其次,目前 CADx 训练和验证通常以病理活检结果为“基础事实”,但该标准并不统一,如无蒂锯齿状病变的病理诊断存在较大的观察者间差异,限制了人工智能的定性分析效能。最后,目前已开展的智能化研究大多是由非临床医师发起的体外实验,缺乏在特殊肠道情况下(如炎症性肠病、肠道出血等)的研究数据,尚需更多大规模、高质量的临床研究探索其临床适用性和可推广性。

综上所述,尽管发展时间较短,结肠镜检查中人工智能的应用为息肉病理学分类预测方面开拓了崭新的视野,但在投入广泛的临床应用之前,必须克服技术、医学和实践上的障碍。为了促进结直肠息肉智能化研究的进一步发展,需要临床医学领域和工科领域强有力的合作,寻求更多大规模、多中心、高质量的前瞻性研究、随机对照研究和体内研究等循证医学证据的支持。在智能化和信息化浪潮的推动下,结

直肠息肉的智能鉴别发展之路值得期待。

**利益冲突** 所有作者声明不存在利益冲突

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 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 ] Benson AB, Venook AP, Cederquist L, et al. Colon cancer, version 1.2017, NCCN clinical practice guidelines in oncology[J]. J Natl Compr Canc Netw, 2017, 15(3):370-398. DOI: 10.6004/jncn.2017.0036.
- [ 3 ] Bernal J, Sánchez FJ, Fernández-Esparrach G, et al. WMDOVA maps for accurate polyp highlighting in colonoscopy: Validation vs. saliency maps from physicians [J]. Comput Med Imaging Graph, 2015, 43: 99-111. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2015.02.007.
- [ 4 ] Vinsard DG, Mori Y, Misawa M, et al. Quality assurance of computer-aided detection and diagnosis in colonoscopy [J]. Gastrointest Endosc, 2019, 90(1):55-63. DOI: 10.1016/j.gie.2019.03.019.
- [ 5 ] Tischendorf JJ, Gross S, Winograd R, et al. Computer-aided classification of colorectal polyps based on vascular patterns: a pilot study [J]. Endoscopy, 2010, 42(3):203-207. DOI: 10.1055/s-0029-1243861.
- [ 6 ] Gross S, Trautwein C, Behrens A, et al. Computer-based classification of small colorectal polyps by using narrow-band imaging with optical magnification [J]. Gastrointest Endosc, 2011, 74(6):1354-1359. DOI: 10.1016/j.gie.2011.08.001.
- [ 7 ] Takemura Y, Yoshida S, Tanaka S, et al. Quantitative analysis and development of a computer-aided system for identification of regular pit patterns of colorectal lesions [J]. Gastrointest Endosc, 2010, 72(5):1047-1051. DOI: 10.1016/j.gie.2010.07.037.
- [ 8 ] Takemura Y, Yoshida S, Tanaka S, et al. Computer-aided system for predicting the histology of colorectal tumors by using narrow-band imaging magnifying colonoscopy (with video) [J]. Gastrointest Endosc, 2012, 75(1):179-185. DOI: 10.1016/j.gie.2011.08.051.
- [ 9 ] Kominami Y, Yoshida S, Tanaka S, et al. Computer-aided diagnosis of colorectal polyp histology by using a real-time image recognition system and narrow-band imaging magnifying colonoscopy [J]. Gastrointest Endosc, 2016, 83(3):643-649. DOI: 10.1016/j.gie.2015.08.004.
- [ 10 ] Chen PJ, Lin MC, Lai MJ, et al. Accurate classification of diminutive colorectal polyps using computer-aided analysis [J]. Gastroenterology, 2018, 154(3):568-575. DOI: 10.1053/j.gastro.2017.10.010.
- [ 11 ] Zhang R, Zheng Y, Mak TW, et al. Automatic detection and classification of colorectal polyps by transferring low-level CNN features from nonmedical domain [J]. IEEE J Biomed Health

- Inform, 2017, 21 ( 1 ): 41-47. DOI: 10.1109/JB-HI.2016.2635662.
- [12] Mori Y, Kudo SE, Wakamura K, et al. Novel computer-aided diagnostic system for colorectal lesions by using endocytoscopy (with videos)[J]. *Gastrointest Endosc*, 2015, 81(3):621-629. DOI: 10.1016/j.gie.2014.09.008.
- [13] Mori Y, Kudo SE, Chiu PW, et al. Impact of an automated system for endocytoscopic diagnosis of small colorectal lesions: an international web-based study[J]. *Endoscopy*, 2016, 48(12): 1110-1118. DOI: 10.1055/s-0042-113609.
- [14] Mori Y, Kudo SE, Mori K. Potential of artificial intelligence-assisted colonoscopy using an endocytoscope (with video)[J]. *Dig Endosc*, 2018, 30(Suppl 1):52-53. DOI: 10.1111/den.13005.
- [15] Takeda K, Kudo SE, Mori Y, et al. Accuracy of diagnosing invasive colorectal cancer using computer-aided endocytoscopy[J]. *Endoscopy*, 2017, 49 ( 8 ): 798-802. DOI: 10.1055/s-0043-105486.
- [16] Misawa M, Kudo SE, Mori Y, et al. Characterization of colorectal lesions using a computer-aided diagnostic system for narrow-band imaging endocytoscopy[J]. *Gastroenterology*, 2016, 150(7):1531-1532. e3. DOI: 10.1053/j.gastro.2016.04.004.
- [17] Mori Y, Kudo SE, Misawa M, et al. Real-time use of artificial intelligence in identification of diminutive polyps during colonoscopy: a prospective study[J]. *Ann Intern Med*, 2018, 169(6): 357-366. DOI: 10.7326/M18-0249.
- [18] André B, Vercauteren T, Buchner AM, et al. Software for automated classification of probe-based confocal laser endomicroscopy videos of colorectal polyps[J]. *World J Gastroenterol*, 2012, 18(39):5560-5569. DOI: 10.3748/wjg.v18.i39.5560.
- [19] Ștefănescu D, Streba C, Cârțână ET, et al. Computer aided diagnosis for confocal laser endomicroscopy in advanced colorectal adenocarcinoma[J]. *PLoS One*, 2016, 11(5): e0154863. DOI: 10.1371/journal.pone.0154863.
- [20] Kuiper T, Alderlieste YA, Tytgat KM, et al. Automatic optical diagnosis of small colorectal lesions by laser-induced autofluorescence[J]. *Endoscopy*, 2015, 47(1):56-62. DOI: 10.1055/s-0034-1378112.
- [21] Rath T, Tontini GE, Vieth M, et al. In vivo real-time assessment of colorectal polyp histology using an optical biopsy forceps system based on laser-induced fluorescence spectroscopy [ J ]. *Endoscopy*, 2016, 48 ( 6 ): 557-562. DOI: 10.1055/s-0042-102251.
- [22] Inomata H, Tamai N, Aihara H, et al. Efficacy of a novel autofluorescence imaging system with computer-assisted color analysis for assessment of colorectal lesions [ J ]. *World J Gastroenterol*, 2013, 19(41):7146-7153. DOI: 10.3748/wjg.v19.i41.7146.
- [23] Aihara H, Saito S, Inomata H, et al. Computer-aided diagnosis of neoplastic colorectal lesions using 'real-time' numerical color analysis during autofluorescence endoscopy [ J ]. *Eur J Gastroenterol Hepatol*, 2013, 25 ( 4 ): 488-494. DOI: 10.1097/MEG.0b013e32835c6d9a.
- [24] Byrne MF, Chapados N, Soudan F, et al. Real-time differentiation of adenomatous and hyperplastic diminutive colorectal polyps during analysis of unaltered videos of standard colonoscopy using a deep learning model[J]. *Gut*, 2019, 68(1): 94-100. DOI: 10.1136/gutjnl-2017-314547.
- [25] Mesejo P, Pizarro D, Abergel A, et al. Computer-aided classification of gastrointestinal lesions in regular colonoscopy[J]. *IEEE Trans Med Imaging*, 2016, 35(9):2051-2063. DOI: 10.1109/TMI.2016.2547947.
- [26] Renner J, Philipsen H, Haller B, et al. Optical classification of neoplastic colorectal polyps—a computer-assisted approach (the COACH study)[J]. *Scand J Gastroenterol*, 2018, 53(9):1100-1106. DOI: 10.1080/00365521.2018.1501092.
- [27] Sánchez-Montes C, Sánchez FJ, Bernal J, et al. Computer-aided prediction of polyp histology on white light colonoscopy using surface pattern analysis [ J ]. *Endoscopy*, 2019, 51 ( 3 ): 261-265. DOI: 10.1055/a-0732-5250.
- [28] 陈肖,蔡建庭,陈佳敏,等.结肠镜人工智能辅助诊断模型的构建[J].*中华消化内镜杂志*,2019,36(4):251-254. DOI:10.3760/cma.j.issn.1007-5232.2019.04.006.
- [29] 赵胜兵.优化结肠镜检查质量及人工智能辅助结肠息肉检出系统诊断效能验证的系列研究[D].上海:中国人民解放军海军军医大学,2019.
- [30] Komeda Y, Handa H, Watanabe T, et al. Computer-aided diagnosis based on convolutional neural network system for colorectal polyp classification: preliminary experience [ J ]. *Oncology*, 2017, 93(Suppl 1):30-34. DOI: 10.1159/000481227.

(收稿日期:2020-06-10)

(本文编辑:朱悦)