

Research Progress of Artificial Intelligence Technology in Bowel Preparation Optimization

Jin Zhang¹ Ying Xiong^{2*}

1. Graduate College of Chengde Medical College, Chengde, Hebei, 067000, China

2. Department of Gastroenterology, Baoding First Central Hospital, Baoding, Hebei, 071000, China

Abstract

With the continuous advancement of medical technology, digestive endoscopy has become an important tool for diagnosing gastrointestinal diseases. However, the quality of bowel preparation directly affects the accuracy of the examination results and the comfort of the patient. In recent years, the rapid development of artificial intelligence technology has provided new opportunities for optimizing bowel preparation. AI-based technologies, particularly deep learning, data analysis, and image recognition, have made significant progress in bowel cleanliness assessment and the development of personalized bowel preparation plans. Through intelligent assistance systems, the efficiency of bowel preparation can be improved, patient discomfort reduced, and more precise and personalized bowel preparation can be achieved.

Keywords

Artificial Intelligence; endoscopy; bowel preparation

人工智能技术在肠道准备优化中的研究进展

张津¹ 熊英^{2*}

1. 承德医学院研究生学院, 中国·河北承德 067000

2. 保定市第一中心医院消化内科科, 中国·河北保定 071000

摘要

随着医学技术的不断进步, 消化内镜检查已成为诊断胃肠疾病的重要手段。然而, 肠道准备的质量直接影响到检查结果的准确性与患者的舒适度。近年来, 人工智能技术的迅速发展为优化肠道准备提供了新的机遇。基于人工智能的技术, 尤其是深度学习、数据分析和图像识别技术, 已在肠道清洁度评估、个性化肠道准备方案的制定等方面取得显著进展。通过智能化的辅助系统, 能够提高肠道准备的效率, 减少患者不适, 且有助于实现肠道准备的精准化和个性化。

关键词

人工智能; 结肠镜检查; 肠道准备

1 引言

结直肠癌是全球范围内发病率和死亡率较高的恶性肿瘤之一。结肠镜检查联合镜下息肉切除术已被证实可有效降低结直肠癌的发病风险^[1]。结肠镜检查质量受到肠道准备质量的显著影响。研究发现, 结肠镜检查遗漏的腺瘤有 35% 到 42% 是由于肠道准备不足^[2]。充分的肠道准备能够提供更清晰的视野, 使内镜医师准确直观地发现结直肠病变, 从而提高息肉检出率, 缩短筛查间隔。据估计, 高达 20%-30% 的结肠镜检查患者存在肠道准备不充分的情况^[3]。不充

分的肠道准备不仅导致腺瘤漏诊、增加重复结肠镜检查的频率和医疗负担, 还可能使患者错失早期干预的最佳时机^[4]。近年来, 随着人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 技术在医学领域的不断发展, 基于 AI 的肠道准备优化方案逐渐在国内外引起了广泛关注。人工智能技术通过大数据分析、深度学习和图像识别等手段, 精准评估肠道准备程度, 也可根据患者个体需求, 从而实现个性化和高质量的肠道准备。

尽管传统的肠道准备方法已被广泛应用, 但仍存在患者依从性差、不良反应发生率高等问题, 导致肠道准备质量欠佳, 甚至掩盖病变的存在。造成这一现状的原因是多方面的: 一方面, 患者耐受性差、饮食限制依从性低、对肠道准备方法理解不足等因素影响最终肠道准备质量。现有的肠道准备方法往往依赖于肠道清洁剂, 患者需要在检查前一天进行肠道准备, 常常需要禁食并服用大量泻药。虽然效果显著, 但往往给患者造成有较大的生理和心理负担, 同时较大的饮

【作者简介】张津 (1998-), 男, 中国河北廊坊人, 在读硕士, 从事消化内科学研究。

【通讯作者】熊英 (1980-), 男, 中国河北保定人, 博士, 主任医师, 从事消化内科学研究。

水量及口感可能导致患者出现恶心、呕吐、腹痛、腹胀等不良反应^[5]。尽管肠道清洁剂种类繁多，但部分清洁剂适用人群有限。此外，患者在检查前只能依靠纸质或电子版说明书自行判断肠道准备是否完成。判断标准通常是“排出清水样便”，患者对粪便性状的判断缺乏客观参照，部分患者误将淡黄色液体视为“清水样”。研究显示，患者自行判断与内镜医师评估的一致性并不理想，导致信息不对称^[6]。部分准备已充分的患者因不确信而过度清肠，另外部分准备尚不充分的患者误以为已达标准，导致检查时发现肠道残留大量粪水或粪渣。另一方面，肠道准备质量的评估是决定能否进镜、是否需要中止检查并重新准备的关键环节。目前国际最常用的评分标准是波士顿肠道准备量表（Boston Bowel Preparation Scale, BBPS），它将结肠分为右半结肠、横结肠、左半结肠三部分，分别进行0-3分的评分，满分9分，总分≥6分且各段均≥2分视为准备充分。肠道准备的评估是内镜医师在操作过程中进行评分，由于不同年资、不同背景的内镜医师可能对肠道准备质量的理解不尽相同，这一过程可能存在一定的主观性，进而影响清洁效果的评定^[7]。同时，BBPS评分是在内镜检查过程中完成的，无法在检查前对肠道准备质量较差的患者进行预判和干预，若在检查过程中发现准备不充分，已无法补救，患者只能择期重复检查，增加患者经济负担和二次进镜的风险。为了解决这些问题，探索肠道准备方法及其优化方案成为研究的重点。因此，如何提高肠道准备的质量，成为内镜检查中亟待解决的课题。

随着深度学习，特别是卷积神经网络（Convolutional Neural Network, CNN）在医学图像识别领域取得的突破性进展，人工智能技术在医学领域得到广泛应用^[8]。AI肠道准备评估系统的开发通常需要先收集大量结肠镜图像或视频，由多位高年资的内镜医师进行BBPS评分标注，建立数据集；然后利用数据对CNN模型进行训练，建立图像特征与评分之间的联系；最后，利用数据集验证模型的准确性。AI系统主要通过以下三个方面在肠道准备中发挥作用：首先，AI通过对图像进行识别和分析后，形成自动识别病变区域的模式，辅助医生根据患者的具体情况制定个性化的肠道准备方案，提高肠道准备的效率和质量。其次，深度学习和图像识别技术在肠道准备过程中实时监测患者肠道准备情况，通过自动化评估和反馈机制，及时调整肠道准备方案，确保肠道准备质量。最后，AI还能够通过智能化系统，提供更加直观的准备进度和清洁效果分析，帮助患者了解和调整自身的准备情况，提高患者依从性^[9]。综上所述，人工智能在辅助肠道准备过程中具有检查前介入、提供即时客观反馈的优势。

2 人工智能在肠道准备评估中的应用

AI在肠道清洁度评估中的应用逐步改变了传统的评估方式。AI能够自动分析肠道内镜图像，从中识别出残留的

粪便、分泌物以及其他杂质，评估肠道清洁程度。同时，还可以将肠道内镜图像进行数字化处理，通过与清洁标准相对比，自动标记出肠道清洁不足的区域，并及时向内镜医生反馈评估结果，从而提供更有效的辅助决策^[10]。目前，大多数AI系统是直接基于专家根据BBPS对肠道的评分进行训练，使模型尽可能接近专家评分的准确度^[11]；另外，部分AI系统采用粪-黏膜比值作为客观指标，通过计算图像中粪便覆盖面积与黏膜暴露面积的比例来量化清洁程度^[12]，但目前研究的多样性和数量较少。与人工评估方法相比，AI辅助评估不仅具有更高的肠道准备评估的精度，减少人为误差，还能大幅度提高效率，使内镜医师能够将精力集中于其他更为复杂的诊断任务。Su等^[13]人建立了图像训练的CNN模型，对肠道准备BBPS评分进行分类，发现图像识别准确率达96.64%。将AI辅助肠道准备评估（AI-BPS组）与专家BBPS评分进行比较。结果显示，AI-BPS达到与专家相当的水平，甚至现优于专家评分^[14-16]。更重要的是，有研究进一步验证了AI-BPS评分有助于提高腺瘤检出率、息肉检出率，降低腺瘤漏诊率^[17]。由此可见，AI评分不仅能够达到专家级别的主观判断，也有助于发现病变，进而降低结肠癌的发生发展。

3 人工智能在结肠镜检查前肠道准备的应用

在消化内镜检查前的肠道准备过程中，人工智能技术逐渐开始展现其潜力。将AI的应用从内镜检查时提前至肠道准备过程中，通过实时反馈帮助患者调整肠道准备方案，尽可能实现在检查开始前就将肠道准备质量控制在理想水平。一方面，AI技术能够通过大数据分析和机器学习，为不同个体提供个性化的肠道准备方案。AI可以利用患者的体质、饮食习惯、病史等信息，推荐最适合的清肠方案，提高患者的配合度与肠道清洁质量。另一方面，对患者在服用泻药的过程中，用手机拍摄每次排便的粪便照片，AI模型对这些照片进行分析，判断当前肠道清洁程度是否已达到检查要求，随后向患者推送相应建议^[18]。AI的介入使患者从被动参与者转变为主动决策者，提高了患者依从性。我国一项前瞻性多中心随机对照研究，纳入1650名接受分剂量聚乙二醇电解质散肠道清洁方案的患者。干预组通过AI实时分析患者拍摄的粪便图像，动态调整泻药剂量；对照组采用传统自评方案。结果显示，AI组在保证清洁质量的前提下，显著降低了肠道清洁剂的总用量，患者舒适度明显提高^[19]。Gimeno等^[20]人开展的另一项多中心随机对照研究，纳入774例患者，干预组患者将上传最近一次排便的照片上传至系统，并接收是否已达标的反馈。意向性分析显示，干预组总体清洁合格率显著高于对照组（91% vs 84.2%），右半结肠和左半结肠的清洁质量亦优于对照组。日本开发了基于MobileNetV3-Small架构的AI-PREPOO模型，用于自动识别肠道准备是否完成。该研究收集了37例患者的282张粪

便图像,经数据增强后训练模型。结果显示,受试者工作曲线下面积达 0.95,灵敏度 0.93,特异度 0.86,表现出均衡的诊断性能^[21]。除直接指导剂量调整外, AI 技术还可通过提升对患者的宣教效果间接改善肠道准备质量。智能手机的应用程序可整合视频教学、定时提醒、饮食指导等功能,配合 AI 反馈形成综合干预。研究显示,与传统纸质说明相比,接受 AI 辅助指导的患者肠道准备质量更高、依从性更好。这些研究的共同特点是将 AI 从评估工具转变为干预工具,从被动观察转变为主动指导,实现了肠道准备过程的闭环管理。总之, AI 的使用对患者提供了即时反馈和明确指导,减少紧张焦虑情绪和不必要的过度清肠,而且减少了因准备不充分导致的取消或重复检查,提高了结肠镜检查的效率和质量。

4 人工智能在肠道准备优化中的挑战与发展

尽管人工智能技术在肠道准备中的应用取得了显著进展,但随之而来的挑战也应正面对。在临床实践方面,由于患者个体差异性较大,临床实验面临着样本量、数据质量和技术适应性等多方面的挑战。临床实验能够帮助评估人工智能系统在不同患者群体中的适用性和准确性,同时验证其对提高肠道准备质量和减少患者不适的效果^[22]。为确保 AI 在实际医疗中的可靠性和有效性,仍需要进行大量的临床实验研究。在 AI 技术方面,不同 AI 系统采用的算法架构、训练数据、验证方法各不相同,导致研究结果难以直接比较和荟萃分析。此外,粪便图像的采集的光照、角度、距离等方面的差异可能影响模型稳定性,如何保证 AI 在实际应用中的兼容性仍需进一步探索。在内镜医师方面,如果内镜医师长期依赖 AI 评分,可能会影响自身对肠道准备的判断能力,这一问题在 AI 辅助息肉检测方面曾有讨论,同样适用于肠道准备评估,值得前瞻性关注^[23]。此外,医生和患者的接受度也是 AI 应用的一大难题。部分医生可能对新技术的信任不足,或者认为 AI 技术无法替代临床经验,导致其在实际工作中的应用受限。同时,患者对于 AI 辅助的检查过程可能缺乏足够的理解和信任^[24]。

AI 在消化内镜检查中的综合效益体现在多个方面。首先,计算机辅助息肉检测系统能够通过自动化图像识别和数据分析,辅助内镜检查中病变识别,减少遗漏,提高息肉检出率,降低结肠镜检查后结直肠癌的发生发展^[25]。其次, AI 辅助的肠道准备方案能够根据患者的具体情况提供个性化指导,优化肠道清洁度,进而提高内镜检查的成功率。同时,人工智能在缩短检查时间和患者不适感方面也发挥着积极作用。智能系统能够实时监控患者肠道准备的情况,并根据反馈做出即时调整,避免患者过度依赖泻药,降低其肠道不适。另外, AI 系统还可对结肠镜检查进行质量控制。目前多个 AI 系统通过对回盲部的监测,从而得出达盲率、退镜时间和速度,实现计算机辅助质量管理。我国一项研究构

建了一种 AI 辅助结肠镜退镜速度实时监控系統,该模型分类识别回盲部、非盲肠图片的准确率达 95.80%,并根据平均退镜速度设定了安全和预警退镜速度^[26]。此外,计算机辅助诊断系统还能够辅助内镜医师快速评估检查结果,自动筛查出疑似病变区域,辅助决策,为患者提供更高效、更精准的诊疗服务。未来,人工智能可能将结合其他先进技术,如物联网、生物传感器和实时数据采集系统,进一步推动肠道准备过程的自动化和智能化^[27]。这种技术融合的优势在于尽可能实现肠道准备的统一标准,同时又能根据患者的需求进行个性化定制,最大程度地提高肠道准备质量、降低不良反应发生率。

总之,人工智能技术在结肠镜检查中的应用,特别是在肠道准备优化方面,展现了巨大的潜力和前景。AI 系统能够对肠道准备实现的客观、标准、连续量化的评估,性能已达甚至超越专家水平。AI 的实时反馈策略可在检查前指导患者动态调整清肠方案,显著提高肠道准备合格率、减少泻药用量,具有较高的临床实用价值。尽管 AI 技术的应用带来了诸多优势,但仍处于发展早期,技术标准化、普遍性和兼容性仍需进一步探。未来,随着技术的不断创新与完善,人工智能将在消化内镜检查中发挥更加重要的作用,有助于实现更高效、更安全的肠道准备,进而提高患者结肠镜检查质量和舒适度。

参考文献

- [1] Xu H, Tang R S Y, Lam T Y T, et al. Artificial intelligence-assisted colonoscopy for colorectal cancer screening: a multicenter randomized controlled trial[J]. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 2023, 21(2): 337-346. e3.
- [2] Leibold B, Kastrinos F, Glick M et al. The impact of suboptimal bowel preparation on adenoma miss rates and the factors associated with early repeat colonoscopy. *Gastrointest Endosc* 2011; 73: 1207-1214.
- [3] Hong S N, Lee C K, Im J P, et al. Efficacy and safety of split-dose bowel preparation with 1 L polyethylene glycol and ascorbate compared with 2 L polyethylene glycol and ascorbate in a Korean population: a phase IV, multicenter, randomized, endoscopist-blinded study[J]. *Gastrointestinal Endoscopy*, 2022, 95(3): 500-511. e2.
- [4] Hassan C, East J, Radaelli F et al. Bowel preparation for colonoscopy: European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) Guideline Update 2019. *Endoscopy* 2019; 51: 775-794.
- [5] Reumkens A, van der Zander Q, Winkens B, et al. Electrolyte disturbances after bowel preparation for colonoscopy: Systematic review and meta-analysis. *Digestive Endoscopy*, 2022, 34(5): 913-926.
- [6] 梁豪,岳昇星,崔曼莉,等. 人工智能赋能消化内镜早诊早治:现状及未来[J]. *实用医院临床杂志*, 2025, 22(5): 13-19.

- [7] Zhou W, Yao L, Wu H, et al. Multi-step validation of a deep learning-based system for the quantification of bowel preparation: a prospective, observational study. *Lancet Digit Health*. 2021;3(11):e697-e706.
- [8] Noor bakhsh-Sabet N, Zand R, Zhang Y, Abedi V. Artificial intelligence transforms the future of health care. *Am J Med*. (2019) 132:795–801.
- [9] 祖雅琪,徐鹏,汪燕红,等. 基于CiteSpace国内外人工智能在胃肠疾病领域的应用研究热点和趋势分析[J]. 中国医药导报,2025,22(11):106-113,119.
- [10] Hassan C, Spadaccini M, Iannone A et al. Performance of artificial intelligence in colonoscopy for adenoma and polyp detection: a systematic review and meta-analysis. *Gastrointest Endosc* 2021; 93: 77–85.e76.
- [11] Cold K M, Ali A, Konge L, et al. Bowel preparation assessment using artificial intelligence: A systematic review[J]. *Endoscopy International Open*, 2025.
- [12] Cold KM, Heen A, Vamadevan A et al. Development and validation of the Open-Source Automatic Bowel Preparation Scale. *Gastrointestinal Endoscopy* 2025; 101: 1201–1210
- [13] Su JR, Li Z, Shao XJ, Ji CR, Ji R, Zhou RC, et al. Impact of a real-time automatic quality control system on colorectal polyp and adenoma detection: a prospective randomized controlled study (with videos). *Gastrointest Endosc*. (2020) 91:415–424.e4.
- [14] Zhou J, Wu L, Wan X, Shen L, Liu J, Zhang J, et al. A novel artificial intelligence system for the assessment of bowel preparation (with video). *Gastrointest Endosc*. (2020) 91:428–435.e2.
- [15] Lee JY, Calderwood AH, Karnes W, Requa J, Jacobson BC, Wallace MB. Artificial intelligence for the assessment of bowel preparation. *Gastrointest Endosc*. (2022) 95:512–518.e1.
- [16] Feng L, Xu J, Ji X, et al. Development and validation of a three-dimensional deep learning-based system for assessing bowel preparation on colonoscopy video. *Front Med (Lausanne)*. 2023;10:1296249. Published 2023 Dec 18.
- [17] Hassan C, Spadaccini M, Iannone A et al. Performance of artificial intelligence in colonoscopy for adenoma and polyp detection: a systematic review and meta-analysis. *Gastrointest Endosc* 2021; 93: 77–85.e76.
- [18] Wonggom P, Rattanakanokchai S, Suebkinorn O. Effectiveness of bowel preparation innovative technology instructions (BPITIs) on clinical outcomes among patients undergoing colonoscopy: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep* 2023; 13: 10783.
- [19] Lu YB, Lu SC, Huang YN, et al. Artificial intelligence-tailored bowel preparation reduces laxative burden and promotes sustainable endoscopy. *Gut*. Published online August 12, 2025.
- [20] Gimeno-García AZ, Benítez-Zafra F, Redondo-Zaera I, et al. An Artificial Intelligence-Guided Strategy to Reduce Poor Bowel Preparation: A Multicenter Randomized Controlled Study. *Am J Gastroenterol*. Published online January 20, 2026.
- [21] Kojima K, Takahashi K, Maruyama H, et al. Artificial Intelligence Model for Automated Identification of Bowel Preparation for Colonoscopy (AI-PREPOO): A Multicenter Study. *J Gastroenterol Hepatol*. 2026;41(2):678-685.
- [22] Lee JY, Park J, Lee HJ et al. Automatic assessment of bowel preparation by an artificial intelligence model and its clinical applicability. *J Gastroenterol Hepatol* 2024; 39: 1917–1923.
- [23] Troya J, Fitting D, Brand M, et al. The influence of computer-aided polyp detection systems on reaction time for polyp detection and eye gaze[J]. *Endoscopy*, 2022, 54(10): 1009-1014.
- [24] 王俊敏,王学红,王姗,等. 人工智能在消化内镜中的应用进展[J]. 胃肠病学和肝病学杂志,2025,34(8):1223-1228.
- [25] Xu H, Tang RSY, Lam TYT, et al. Artificial Intelligence-Assisted Colonoscopy for Colorectal Cancer Screening: A Multicenter Randomized Controlled Trial. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2023;21(2):337-346.e3.
- [26] 朱晓芸, 吴练练, 李素琴, 等. 人工智能技术在结肠镜退镜速度实时监控中的应用 [J] . 中华消化内镜杂志, 2020,37(2):125-130.
- [27] Cold KM, Ali A, Konge L, Bjerrum F, Lovat L, Ahmad O. Bowel preparation assessment using artificial intelligence: Systematic review. *Endosc Int Open*. 2025;13:a26256327. Published 2025 Jul 1.