·短篇论著·

基于应用程序的人工智能辅助结肠镜检查肠道准备的研究

陈霞红[1]　汪茜雅[2]　关欣宇[3]　刘蕊蕊[3]
[1]太仓市港区医院护理部，苏州 215434；[2]苏州大学附属第一医院消化内镜中心，苏州 215006；[3]苏州大学苏州医学院护理学院，苏州 215006
通信作者：汪茜雅，Email：48308929@qq.com

【提要】 为评价基于应用程序的人工智能辅助结肠镜检查肠道准备的效果，采用随机对照研究，选取2024年6月至2024年12月于苏州大学附属第一医院消化内镜中心行结肠镜检查肠道准备的门诊患者300例，根据随机数字表法将患者分为干预组（常规肠道准备指导和使用应用程序）和对照组（常规肠道准备指导）。比较两组患者的肠道准备合格率、波士顿肠道量表（Boston bowel preparation scale，BBPS）总分、息肉和腺瘤检出率、不良反应发生率方面的差异，并评估患者对应用程序的体验度。干预组和对照组各纳入150例患者。干预组肠道准备合格率高于对照组[90.67%（136/150）比79.33%（119/150），χ^2=10.73，P=0.001]，BBPS总分也高于对照组[（6.37±0.74）分比（5.57±0.72）分，t=-4.29，P<0.001]。干预组息肉检出率[30.00%（45/150）比24.00%（36/150），χ^2=1.85，P=0.174]和腺瘤检出率[12.00%（18/150）比8.67%（13/150），χ^2=4.75，P=0.374]与对照组相比，差异无统计学意义。不良反应发生率明显低于对照组[7.33%（11/150）比24.67%（37/150），χ^2=17.55，P<0.001]。干预组患者对应用程序系统质量、信息质量、界面质量及整体评价的平均分值均低于整体评估可用性问卷的最佳基准。基于应用程序的人工智能辅助结肠镜检查肠道准备能够提升肠道合格率和结肠镜检查效果，且患者对应用程序体验度好，具有较好的临床应用价值。

【关键词】 人工智能；　肠道准备；　结肠镜检查；　应用程序

优先出版

Bowel preparation based on application for artificial intelligence-assisted colonoscopy

Chen Xiahong[1], Wang Xiya[2], Guan Xinyu[3], Liu Ruirui[3]
[1]Department of Nursing, Taicang Gangqu Hospital, Suzhou 215434, China; [2]Department of Digestive Endoscopy Center, The First Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215006, China; [3]School of Nursing, Suzhou Medical College of Soochow University, Suzhou 215006, China
Corresponding author: Wang Xiya, Email: 48308929@qq.com

【Summary】 To evaluate the effectiveness of bowel preparation based on application for artificial intelligence-assisted colonoscopy, a randomized controlled trial was conducted. A total of 300 outpatients who underwent bowel preparation for colonoscopy at the endoscopy center of the First Affiliated Hospital of Soochow University from June to December 2024 were selected and randomly divided into the intervention group (with conventional bowel preparation guidance and the use of an application) and the control group (with only conventional bowel preparation guidance). The qualified rate of bowel preparation, the Boston bowel preparation scale (BBPS) total score, the detection rates of polyps and adenomas, and the incidence of adverse reactions were compared. The patients′ experience with the application was also assessed. The intervention group and the control group each included 150 patients. The qualified rate of bowel preparation in the intervention group was higher than that in the control group [90.67% (136/150) VS 79.33% (119/150), χ^2=10.73, P=0.001]. The total score of BBPS in the intervention group was higher than that in the control group [6.37±0.74 points VS 5.57±0.72 points, t=−4.29, P<0.001]. There were no significant differences in

DOI：10.3760/cma.j.cn321463-20250928-00248
收稿日期　2025-09-28　　**本文编辑**　钱程
引用本文：陈霞红，汪茜雅，关欣宇，等. 基于应用程序的人工智能辅助结肠镜检查肠道准备的研究[J]. 中华消化内镜杂志，XXXX，XX(XX)：1-4. DOI：10.3760/cma.j.cn321463-20250928-00248.

the polyp detection rate [30.00% (45/150) VS 24.00% (36/150), χ^2=1.85, P=0.174] or the adenoma detection rate [12.00% (18/150) VS 8.67% (13/150), χ^2=4.75, P=0.374] between the intervention group and the control group. The incidence of adverse reactions in the intervention group was significantly lower than that in the control group [7.33% (11/150) VS 24.67% (37/150), χ^2=17.55, P<0.001]. The mean scores of the application in terms of quality system, information quality, interface quality, and overall evaluation were all below the best benchmark of post-study system usability questionnaire. The bowel preparation based on application for artificial intelligence-assisted colonoscopy can improve bowel preparation qualified rate and enhance the efficacy of colonoscopy. Patients have a good experience with the application, indicating significant clinical application value.

【**Key words**】 Artificial intelligence;　Bowel preparation;　Colonoscopy;　Application

结直肠癌是世界上常见的癌症之一，其在全球范围内的癌症死亡率和发病率排第二位，也已成为我国第三大癌症[1]。结肠镜检查是早期检测和切除结直肠病变最常用的方法。结肠镜检查质量与肠道准备是否充分密切相关。然而，研究报道有18%~30.5%的结肠镜检查患者肠道准备不足[2]，直接影响结肠镜检查的诊断精确性和治疗安全性，且在肠道准备过程中患者由于主观因素影响误判肠道清洁度也可导致肠道准备不足。近年来，人工智能技术在医疗领域的应用日益广泛[3]，临床中可采集患者粪便图片，利用人工智能技术的深度卷积神经网络对粪便图片进行自动分类识别，以此判断患者是否肠道准备充分，实现肠道准备质量的准确评估[4]。本研究团队开发了一款人工智能辅助肠道准备的应用程序，能够客观地评价患者肠道清洁度并对肠道准备过程进行动态化管理。为进一步探究应用程序对患者肠道准备情况和结肠镜检查效果的影响，本研究团队开展了在行结肠镜肠道准备门诊患者中应用该程序的研究。

一、研究对象

将2024年6月至2024年12月于苏州大学附属第一医院消化内镜中心行结肠镜肠道准备的门诊连续患者采用随机数字表法分为干预组和对照组，干预组接受常规肠道准备指导并使用应用程序进行肠道准备，对照组仅接受常规肠道准备指导（口头宣教结合书面告知）。纳入标准：（1）年龄≥18岁的行门诊结肠镜检查患者；（2）知情同意，自愿参加研究；（3）无语言沟通障碍及认知障碍者；（4）干预组患者及主要照顾者掌握并使用智能手机。排除标准：（1）无法自主吞咽；（2）消化道梗阻或穿孔；（3）结直肠切除术史；（4）严重心肺疾病无法耐受肠镜检查；（5）既往有严重精神病史；（6）对复方聚二乙醇电解质散（polyethylene glycol powder，PEG）成分过敏；（7）肠道准备未完成。剔除标准：（1）中途退出本研究或失联；（2）因各种原因未能完成全部结肠镜检查的患者。本研究通过苏州大学附属第一医院伦理委员会批准，批号为（2024）伦研批第042号。

二、样本量估计

采用两样本率比较的样本量估计公式：$n_1=n_2=2\bar{p}\bar{q}(Z_\alpha+Z_\beta)^2/(P_1-P_2)^2$，$\alpha$=0.05，$Z_\alpha$=0.96，$\beta$=0.1，$Z_\beta$=1.28，以肠道准备合格率作为主要结局指标，根据文献资料[5]所得P_1=87%，P_2=81%，计算得到样本量为每组60例，考虑10%~20%样本流失率和临床样本可取的便利性，最终确定每组样本150例，共计300例。

三、肠道准备方法

1.人工智能辅助肠道准备应用程序的使用方法

应用程序具有实时监测患者肠道准备质量、自动检测患者肠道清洁度、肠道准备措施指导等功能，其包括三个模块，①拍摄模块：为智能手机拍摄技术指导板块，指导患者拍摄粪便照片的时机、光线、角度、拍摄范围等注意事项和操作指导。②检测模块：为应用程序检测粪便图片的板块，患者上传完粪便照片后，应用程序自动检测粪便质量并得出肠道清洁度。③宣教模块：根据肠道清洁度结果，应用程序将指导患者采取相应措施，包括如何服用肠道准备的药物、运动、辅助措施、检查指导以及如何应对不良反应。患者开始服用PEG时即可使用智能手机扫描二维码（图1）下载应用程序，首先按照应用程序提示选择当前服用的PEG液体量，应用程序可对患者服药情况进行分类；其次根据拍摄要求拍摄粪便图片并上传至应用程序，随即应用程序自动检测粪便图片并得出患者当前的肠道清洁度，分为通过、不通过（较差）和不通过（差）三种。



图1　人工智能辅助肠道准备应用程序

2.操作方法

（1）干预组：患者预约肠镜时接受常规肠道准备指导并收到1份附有应用程序二维码的肠道准备宣教单上，护理人员教会患者及家属应用程序使用方法。研究采用的肠道准备药物为PEG（商品名：和爽®，规格：68.56 g/袋，深圳万和制药有限公司），服用方法为上午检查患者，检查前1天18点，1 000 mL温水泡服一包PEG；检查当天，检查前6 h，2 000 mL温水泡服2包PEG，检查前3 h停止饮水。下午检查患者，检查当天，检查前6 h，3 000 mL温水泡服3包PEG，分次服用，2 h内服用完所有PEG，检查前3 h停止饮水。患者得到肠道清洁度检测结果“不通过（较差）”和“不通过（差）”时，继续按照应用程序提示进行肠道准备，患者得到检测结果“通过”时，可按照预约时间来院行结肠镜检查。

（2）对照组：患者预约肠镜时接受常规肠道准备指导并

优先出版

收到1份肠道准备宣教单。研究采用的肠道准备药物及服用方法同干预组。患者自己评估肠道清洁度合格即可按照预约时间来院进行检查。

所有患者采用Olympus CV 290系列进行结肠镜检查，且结肠镜检查均由从事内镜工作10年以上的内镜医师操作。

四、观察指标

由2名经过统一培训的研究人员收集各临床资料。观察指标包括肠道清洁度、肠道准备合格率、息肉检出率、腺瘤检出率、不良反应发生率和患者体验度。

肠道清洁度采用波士顿肠道量表（Boston bowel preparation scale，BBPS）评估[6]，BBPS需要观察结肠的3个肠段：右半结肠、横结肠和左半结肠。BBPS总分为3个肠段分值之和。肠道准备合格定义为BBPS≥6分且所有肠段评分≥2分。息肉和腺瘤检出率为至少检出1枚息肉或腺瘤的结肠镜检查例次数占结肠镜检查例次总数的比例。患者体验度采用整体评估可用性问卷（post-study system usability questionnaire，PSSUQ）评估[7]，包括系统质量（6个条目）、信息质量（6个条目）和界面质量（6个条目）及整体评价（1个条目），共4个维度。采用Liker 7级评分法计分，1~7分代表“非常同意”至“非常不同意”，得分用均分评估，各维度得分为相应条目总分的平均值，得分越低表示用户对应用程序满意度越高，体验度更好。可与PSSUQ开发者经过研究提供的最佳基准进行比较[8]。

五、统计学分析

采用SPSS 26.0进行统计分析。计数资料用例（%）描述，组间比较采用卡方检验；符合正态分布且方差齐性的计量资料采用$\bar{x}\pm s$描述，组间比较用两独立样本t检验，不符合正态分布或方差齐性的计量资料比较采用Mann-Whitney U检验。所有统计检验为双侧检验，P<0.05为差异有统计学意义。

六、结果

1. 基线特征比较：本研究共选取了967例患者，按照纳入、排除标准和剔除标准，最终纳入300例患者，干预组和对照组各150例。两组患者在性别、年龄、体重指数、合并基础疾病、腹部手术史、结肠镜检查史、结肠镜检查原因方面差异均无统计学意义（P>0.05，表1）。

2. 观察指标比较：干预组的肠道准备合格率高于对照组（P=0.001），BBPS总分也高于对照组（P<0.001）；干预组的息肉检出率和腺瘤检出率略高于对照组（P>0.05）；干预组的不良反应发生率也明显低于对照组（P<0.001），见表2。干预组患者对应用程序系统质量、信息质量、界面质量及整体评价的平均分值均低于PSSUQ的最佳基准，见表3。

讨论　肠道准备是一个看似简单，实则复杂的医疗流程。研究证明，吸烟、肥胖、年龄≥65岁、男性、受教育程度、精神疾病、便秘、既往腹部手术史、检查时间间隔、住院状态、使用三环类抗抑郁药、钙通道阻滞剂和阿片类药物等都为肠道准备不足的危险因素[9]。肠道准备不足目前仍是一个普遍问题，约有四分之一结肠镜检查患者无法达到充分的肠道准备[10]，而国内外指南均规定肠道准备的合格率应≥90%[11-12]。大多数结肠镜检查患者无肠道准备相关经验，仅靠医务人员面对面宣教和纸质宣教单难以达到理想的肠道准备效果。当前临床上常采用肉眼观察法来评估肠道清洁度，Fatima等[13]研究指出，肠道准备患者肉眼观察肠道清洁度结果和内镜下医师观察的结果之间，*Kappa*值为0.067，一致性较差，患者肉眼观察法不是评估肠道准备质量的可靠预测指标。此外，肉眼观察法目前尚缺统一标准，评估肠道清洁度效果存在争议。因此，我们需要一种客观的肠道清洁度评价方法以便准确判断患者肠道准备是否充分。

随着数字健康时代的到来，人工智能技术辅助肠道准备正逐渐成为未来医疗发展的主流趋势，也预示着一个全

表1　不同肠道准备方案患者基线特征比较

项目	干预组	对照组	统计量	P值
例数	150	150		
男[例（%）]	69（46.00）	73（48.67）	χ^2=0.01	0.947
年龄（岁，$\bar{x}\pm s$）	44.53±13.16	45.05±12.81	t=−0.06	0.954
体重指数（kg/m^2，$\bar{x}\pm s$）	24.73±4.08	25.75±3.90	t=−0.17	0.856
合并基础疾病[例（%）]	68（45.33）	64（42.67）	χ^2=0.74	0.389
腹部手术史[例（%）]	35（23.33）	34（22.67）	χ^2=0.65	0.512
结肠镜检查史[例（%）]	47（31.33）	44（29.33）	χ^2=0.34	0.547
结肠镜检查原因[例（%）]			χ^2=0.58	0.995
症状评估	126（84.00）	123（82.00）		
筛查	10（6.67）	11（7.33）		
息肉监测	14（9.33）	16（10.67）		

注：干预组采用常规肠道准备指导和使用应用程序；对照组采用常规肠道准备指导

表2　不同肠道准备方案患者观察指标比较

项目	干预组	对照组	统计量	P值
例数	150	150		
肠道准备合格[例（%）]	136（90.67）	119（79.33）	χ^2=10.73	0.001
BBPS总分（分，$\bar{x}\pm s$）	6.37±0.74	5.57±0.72	t=−4.29	<0.001
息肉检出[例（%）]	45（30.00）	36（24.00）	χ^2=1.85	0.174
腺瘤检出[例（%）]	18（12.00）	13（8.67）	χ^2=4.75	0.374
不良反应发生[例（%）]	11（7.33）	37（24.67）	χ^2=17.55	<0.001

注：干预组采用常规肠道准备指导和使用应用程序；对照组采用常规肠道准备指导

表3　干预组肠道准备患者整体评估可用性问卷得分与最佳基准的比较

问卷维度	最佳基准		干预组得分	
	平均分值	99%置信区间	平均分值	99%置信区间
系统质量	2.80	2.57~3.02	1.97	1.89~2.06
信息质量	3.02	2.79~3.24	2.16	2.05~2.27
界面质量	2.49	2.28~2.71	1.76	1.68~1.83
整体评价	2.82	2.62~3.02	1.99	1.91~2.07

注：干预组采用常规肠道准备指导和使用应用程序

优先出版

新的医疗模式正在形成。人工智能技术的介入，使得患者执行肠道准备更加高效和个性化[14]。本研究的应用程序借助计算机人工智能技术，充分应用其强大的自动特征提取以及数据处理能力，以及其不受主观因素影响的优势，通过对肠道准备过程中粪水图片的采集分析，对肠道清洁度进行自动鉴别，从而实现肠道准备质量的客观准确评估。本研究结果证实了基于应用程序的人工智能辅助结肠镜检查患者肠道准备的优势，相较于常规肠道准指导，患者的肠道清洁度和肠道准备合格率都有显著提高。本研究的应用程序内容覆盖面广，不仅包括肠道准备健康宣教，还涵盖实时的粪便检测及评估流程，确保患者能够及时发现并采取补救措施应对肠道准备不足。此外，应用程序可根据总液体服用量和粪便检测结果对肠道准备过程实施分阶段指导，逐步引导患者按照既定步骤有序地进行肠道准备。应用程序还详细规定了出现不良反应的处理措施，保障了患者的安全和舒适。本研究结果显示，干预组患者的不良反应发生率仅为7.33%，低于对照组的24.67%，表明应用程序能够明显改善患者因在短时间内服用大量泻药引起胃肠道等不适症状，有效预防了患者不良反应的发生。

本研究的应用程序内容通俗易懂，指导措施简便易行，便于患者居家进行肠道准备；且满足广大结肠镜检查肠道准备患者的共性需求，与我国目前的肠道准备现状相契合，便于临床中的落实和开展。本研究结果显示，干预组的息肉和腺瘤检出率略高于对照组，差异无统计学意义，提示患者在肠道准备使用应用程序虽能提升结肠镜检查效果，但在实际操作中进镜方式、退镜时间、医师经验、患者体位、检查设备等均能对其产生影响[15-17]，需更深层次的研究分析讨论。干预组患者对应用程序系统质量、信息质量、界面质量及整体评价的平均分值均低于PSSUQ的最佳基准，表明应用程序的整体可用性优异，患者能够获得较为满意的肠道准备体验。患者对人工智能辅助肠道准备这种创新的干预模式接受度较好。在未来后续开发过程中，仍要重视患者具体反馈，持续优化应用程序功能与用户体验，精简操作步骤，提升应用程序的交互性，让它更贴合患者使用习惯，以此进一步提高患者满意度和肠道准备成效。

综上所述，基于应用程序的人工智能辅助结肠镜检查患者肠道准备可以提高肠道清洁度和结肠镜检查效果，且应用程序的整体可用性好，患者体验度佳。但应用程序的使用高度依赖于智能手机，研究中需排除部分无法使用智能手机的患者，导致本研究结果可能存在一定偏差。这种依赖性也限制了应用程序的使用和推广。未来的研究和开发应当考虑如何使应用程序能够兼容更多类型的设备，或者设计出不依赖于特定设备的解决方案，以便惠及更多患者。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明　陈霞红：实验操作、论文撰写；刘蕊蕊、关欣宇：数据整理、统计学分析；汪茜雅：研究指导、论文修改、经费支持

参　考　文　献

[1] Bray F, Laversanne M, Sung H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2024,74(3):229-263. DOI: 10.3322/caac.21834.

[2] Tian X, Shi B, Chen H, et al. Comparative efficacy of 2 L polyethylene glycol alone or with ascorbic acid vs. 4 L polyethylene glycol for colonoscopy: a systematic review and network meta-analysis of 12 randomized controlled trials[J]. Front Med (Lausanne), 2019, 6: 182. DOI: 10.3389/fmed.2019.00182.

[3] Goodfellow I, Bengio Y, Courville A. Deep learning[M]. Cambridge, MA:The MIT Press,2016.

[4] Zhu Y, Zhang DF, Wu HL, et al. Improving bowel preparation for colonoscopy with a smartphone application driven by artificial intelligence[J]. NPJ Digit Med, 2023, 6(1): 41. DOI: 10.1038/s41746-023-00786-y.

[5] 宿敬然. 基于人工智能的结肠镜质量控制模型研发及应用研究[D]. 山东:山东大学, 2020.

[6] 叶静, 罗昊, 杨群, 等. 结肠镜等待时间对结肠癌患者肠道准备质量的影响[J]. 现代消化及介入诊疗, 2023, 28(2): 213-216. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2159.2023.02.016.

[7] Lewis JR. Psychometric evaluation of the PSSUQ using data from five years of usability studies[J]. Int J Hum Comput Interact,2002,14(3):463-488.

[8] 杰夫·邵罗,詹姆斯·刘易斯. 用户体验度量:量化用户体验的统计学方法[M]. 殷文婧,徐沙,杨晨燕,等译. 北京:机械工业出版社, 2014.

[9] Beran A, Abourshеid T, Ali AH, et al. Risk factors for inadequate bowel preparation in colonoscopy: a comprehensive systematic review and meta-analysis[J]. Am J Gastroenterol, 2024, 119(12): 2389-2397. DOI: 10.14309/ajg.0000000000003073.

[10] Kastenberg D, Bertiger G, Brogadir S. Bowel preparation quality scales for colonoscopy[J]. World J Gastroenterol, 2018, 24(26):2833-2843. DOI: 10.3748/wjg.v24.i26.2833.

[11] 中国医师协会内镜医师分会消化内镜专业委员会, 中国抗癌协会肿瘤内镜学专业委员会. 中国消化内镜诊疗相关肠道准备指南(2019,上海)[J]. 中华消化内镜杂志,2019,36(7): 457-469. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-5232.2019.07.001.

[12] Hassan C, East J, Radaelli F, et al. Bowel preparation for colonoscopy: European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) Guideline - Update 2019[J]. Endoscopy, 2019, 51(8): 775-794. DOI: 10.1055/a-0959-0505.

[13] Fatima H, Johnson CS, Rex DK. Patients′ description of rectal effluent and quality of bowel preparation at colonoscopy[J]. Gastrointest Endosc, 2010,71(7):1244-1252.e2. DOI: 10.1016/j.gie.2009.11.053.

[14] 盛如莉. 人工智能辅助肠道准备应用系统的建立与初步验证[D]. 河南:新乡医学院,2022.

[15] 徐起, 宫爱霞, 张经文, 等. 退镜时间对结肠息肉检出率影响的研究[J]. 中华消化内镜杂志,2019,36(12):936-938. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-5232.2019.12.013.

[16] 程景然. 水交换结肠镜检查与空气充气结肠镜检查对腺瘤检出率影响的Meta分析[D] 重庆:重庆医科大学,2024.

[17] 王智慧. 透明帽辅助、体位及退镜时间对结直肠息肉检出率影响的应用研究[D]. 重 庆:重庆医科大学,2024.

作者出版