doi:10.11659/jjssx.12E024123

·综 述·

人工智能在结直肠癌术前肠道准备中的应用及研究进展

唐 皎,肖 颖,李立奇,陈玉佳,黄婧琼 (陆军军医大学第二附属医院普通外科,重庆 400037)

[摘 要] 结直肠癌是世界范围内高发的消化道恶性肿瘤,手术是其主要的治疗手段。术前肠道准备质量在很大程度上决定着手术的可视化程度、术中并发症发生率以及术后康复效果。然而,传统的术前肠道准备方法存在清洁效果不稳定、患者依从性差等不足。随着人工智能(AI)技术的快速发展,AI在医学影像分析、预测模型构建及个体化治疗方案制定等方面的潜力正逐步显现。本文基于当前文献,系统探讨AI在结直肠癌术前肠道准备中的具体应用场景与最新研究进展,包括AI辅助的肠道清洁度评估、个体化用药指导以及远程监测等,并进一步展望该领域未来的发展趋势与挑战。通过对相关研究结果进行分析与整合,期望为提高结直肠癌围术期管理水平及改善患者预后提供借鉴与思路。

[关键词] 结直肠癌;人工智能;术前肠道准备

[中图分类号] R735.34;TP18 [文献标志码] A [收稿日期] 2024-12-21

Application and research progress of artificial intelligence in preoperative intestinal preparation for colorectal cancer

TANG Jiao, XIAO Ying, LI Li-qi, CHEN Yu-jia, HUANG Jing-qiong (Department of General Surgery, Second Affiliated Hospital of Army Medical University, Chongqing 400037, China)

Abstract: Colorectal cancer is a globally prevalent malignancy of the gastrointestinal tract, and surgery is the main treatment method for it. The quality of preoperative intestinal preparation significantly determines the visualization degree of the surgery, the incidence of intraoperative complications and the postoperative rehabilitation effect. However, the traditional preoperative intestinal preparation methods have shortcomings such as unstable cleaning effects and poor patient compliance. With the rapid development of artificial intelligence (AI)

[基金项目] 重庆市自然科学基金面上项目(CSTB2023NSCQ-MSX0956)

[通信作者] 黄婧琼,E-mail:huangjingqiong@tmmu.edu.cn

[14] Eva I, Rosario V, Guglielmo R, et al. Laparoscopic surgery: a randomised controlled trial comparing intraoperative hemodynamic parameters and arterial-blood gas changes at two different pneumoperitoneal pressure values[J]. Ann Med Surg (Lond), 2022, 81: 104562. doi: 10.1016/j.amsu.2022.104562.

[15] Maissan IM, Hollestelle RV, Rijs K, et al. Intravenous lidocaine attenuates distention of the optical nerve sheath, a correlate of intracranial pressure, during endotracheal intubation[J]. Minerva Anestesiol, 2023, 89(3): 131-137. doi: 10.23736/S0375-9393.22.16574-0.

[16] Rehab OM, Elsharkawy MS, Bakr DM, et al. Effect of systemic lidocaine infusion on optic nerve sheath diameter during laparoscopic hysterectomy: a randomized controlled study[J]. Minerva Anestesiol, 2024, 90(9): 727-738. doi: 10.23736/S0375-9393.24.18204-1.

[17] Kim EJ, Koo BN, Choi SH, et al. Ultrasonographic optic nerve sheath diameter for predicting elevated intracranial pressure during laparoscopic surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. Surg Endosc, 2018, 32(1): 175-182. doi: 10.1007/s00464-017-5653-3.

[18] Omur B, Ciftci B, Karaaslan P. Evaluation of optic nerve sheath diameter in patients undergoing laparoscopic surgery in the Trendelenburg position: a prospective observational study[J]. Ann Saudi Med, 2024, 44(5): 319-328. doi: 10.5144/0256-4947.2024.319.

[19] Foo I, Macfarlane A, Srivastava D, et al. The use of intravenous lidocaine for postoperative pain and recovery: international consensus statement on efficacy and safety[J]. Anaesthesia, 2021, 76(2): 238-250. doi: 10.1111/ana.15270.

[20] 卢振和,高崇荣,何雁冰. 利多卡因对脑氧耗和脑血管功能的影响[J]. 中华麻醉学杂志,1999(6):14-15.

[21] 陈 卫,井发强,谭金明,等. 利多卡因对AMI动物模型星状神经节内心交感神经元电活动的影响[J]. 重庆医学,2015,44(17):2327-2329. doi:10.3969/j.issn.1671-8348.

[22] Grover VK, Reddy GM, Kak VK, et al. Intracranial pressure changes with different doses of lignocaine under general anaesthesia[J]. Neurol India, 1999, 47(2): 118-121.

[23] Danic MJ, Chow M, Alexander G, et al. Anesthesia considerations for robotic-assisted laparoscopic prostatectomy: a review of 1,500 cases[J]. J Robot Surg, 2007, 1(2): 119-123. doi: 10.1007/s11701-007-0024-z.

[24] Hiroki K, Nobumasa A, Daisuke K, et al. Influence of pneumoperitoneum and head-down maneuver on the cerebral microvasculature in rabbits[J]. BMC Anesthesiol, 2022, 22(1): 370. doi: 10.1186/s12871-022-01911-2.

[25] 张龙新,陈婵娟,周 敏. 静脉输注利多卡因在妇科腹腔镜手术麻醉中的应用研究[J]. 中国医学创新,2020,17(32):42-45. doi:10.3969/j.issn.1674-4985.2020.32.011.

(编辑:杨 颖)

technology, the potential of AI in medical image analysis, predictive model construction, and the formulation of individualized treatment plans is gradually emerging. Based on current literature, this article systematically explores the specific application scenarios and the latest research progress of AI in preoperative intestinal preparation for colorectal cancer, including AI-assisted intestinal cleanliness assessment, individualized medication guidance and remote monitoring, and further looks forward to the future development trends and challenges in this field. By analyzing and integrating the relevant research results, it is expected to provide reference and ideas for improving the perioperative management level of colorectal cancer and the prognosis of patients.

Keywords: colorectal cancer; artificial intelligence; preoperative intestinal preparation

结直肠癌是全球范围内常见的恶性肿瘤之一，其发病率和病死率均呈上升趋势[1-2]。完善的术前准备对于结直肠癌患者而言至关重要，而其中肠道准备的质量直接影响到手术视野清晰度、手术和麻醉风险以及并发症发生率。传统的结直肠癌术前肠道准备通常依赖患者自我管理及医患沟通，易受患者依从性、个体差异以及医护资源等多种因素的影响，往往存在准备效果不理想、术前评估不准确等问题，从而影响手术质量和预后[3]。人工智能（artificial intelligence, AI）在医学领域的迅猛发展为结直肠癌的诊治提供了新的思路和手段。尤其在术前肠道准备这一环节中，AI技术可利用大数据、机器学习、深度学习等方法，对患者术前数据和相关特征进行智能化分析与决策，帮助医护人员制定个体化、精准化的准备方案。此外，智能监测及远程管理工具的应用也能有效提升患者的依从性，保证肠道准备质量，为后续的手术操作提供更好的安全保障[4-5]。有别于传统“依赖医者经验”的模式，AI通过对海量临床和影像数据进行自动化挖掘与分析，可在肠道准备质量评估、个体化用药策略规划等环节提供更客观、更高效的支持。本文将聚焦AI在结直肠癌术前肠道准备中的应用现状与研究进展，通过综述目前国内外的相关文献与研究成果，探讨AI技术在个体化方案制定、智能监测与患者管理、术前效果评估等方面的可行性和优势，并展望未来在临床实践和研究上的发展方向，以期为临床工作者以及科研人员提供有价值的参考，为进一步提高结直肠癌术前准备质量与效率做出贡献。

1 结直肠癌术前肠道准备的现状与难点

外科手术依然是结直肠癌综合治疗的重要手段之一[6-8]。为了降低手术并发症发生率、提高手术可视化效果及准确性，术前肠道准备至关重要。良好的术前肠道准备不仅可为术中操作提供更清晰的视野，还可以降低感染风险、减少手术残留物，从而提高肿瘤清除的彻底性，改善患者预后。然而，传统肠道准备方法（如口服泻剂、灌肠及手工清洗等）存在清洁度不稳定、操作不便以及患者依从性不足等问题[9-10]。部分患者因个体差异、耐受性或出现并发症状而难以保证足够的清洁度；另一些患者则可能因过度清洁导致电解质失衡或脱水[11]。同时，单纯使用经验或临床常规方案，难以对复杂的患者因素（年龄、基础疾病、肠道结构差异等）进行快速、精细地量化评估。因此，探索更先进、精准且个体化的肠道准备新策略成为临床关注热点。

随着精准医学理念的不断深化，个体化的肠道准备方案越发受到重视。然而，针对患者多维度信息（如生理特征、饮食结构、肠道菌群等）进行整合与动态监测，往往超出人力所及，也需要更先进的数据分析工具。AI技术在此背景下成为可行的解决方案之一，为临床提供了从预测到干预的多方位支持。

2 AI技术在医学领域的应用概述

AI技术是一门综合了计算机科学、统计学以及认知科学等多学科理论与技术的交叉学科，核心在于使机器具备模拟或延伸人类智能的能力[12]。目前，在医疗健康领域，AI技术主要通过机器学习、深度学习、计算机视觉等方法对海量的医疗数据（包括图像、文本、生物信息学数据等）进行分析，从而实现疾病筛查、诊断预测、疗效评估等多方面的智能化辅助[13]。尤其在影像学诊断领域，AI技术已经能自动识别并标记病灶，部分系统的诊断准确率甚至不亚于经验丰富的医师[14-15]。

3 AI在肠道影像学分析与清洁度评估中的角色

3.1 自动化图像分割与清洁度量化

结直肠镜成像能直观地反映肠道内部情况，但传统评估主要依靠医生的主观判断，难以避免观察者间的差异。基于深度学习的图像分割算法（如U-Net、Mask R-CNN等）可自动识别并分离肠壁、黏液及残余物等区域，从而量化清洁度[16-17]。这种客观指标既可帮助医生在术前或检查中及时调整清洁方案，也为多中心研究提供了统一的影像学数据标准。

3.2 动态监测与多模态影像融合

除了结直肠镜图像，CT、MRI、超声等多模态医学影像亦可辅助肠道状态评估和术前规划。通过融合多源数据，AI可更全面地评估肠道形态学差异与潜在

病变部位,帮助识别需要重点清洁的区域,并为后续外科操作制定精准化预案[18]。

3.3 结合病变检测提升整体准备效果

许多AI算法在识别息肉、早期肿瘤等病变上已有较为成熟的成果[16,19]。一些研究表明,若在术前检查阶段就能精准定位可疑病灶,后续肠道清洁策略可基于这些区域进行针对性强化,以最大化清洁效果与降低术中意外[20]。这种"病灶检测-肠道准备"一体化流程有望进一步提升术前管理效率。

4 基于AI的个体化肠道准备方案制定

4.1 多因素交叉分析的决策支持

肠道准备受多因素影响,包括患者年龄、体质量指数、饮食习惯、既往肠道疾病、个人耐受性与心理状况等[21]。传统上,医生根据经验或临床指南做出大致判断,难以及时、全面地量化各因素的权重。AI通过整合患者电子健康记录、实验室指标、生活行为数据等,构建多元回归或分类模型,对"清洁不足风险"及"并发症倾向"进行精准预测。例如,邓少琦等[22]采用多种机器学习算法对患者肠道准备不充分的风险进行分层,结果显示AI较传统*Logistic*回归方法在准确度和敏感度方面均明显提升。此类AI模型不仅可在术前提供风险预警,也能为医生制定个体化的泻剂类型、剂量及准备时程提供量化参考。

4.2 实时反馈与动态优化

在实际应用中,由于患者身体状况和用药反应存在波动,肠道准备效果也可能随时间动态变化[23]。若能实时监测患者关键指标(如排便次数、腹痛程度、电解质水平等),AI可通过强化学习或自适应算法根据更新的数据自动调整决策,并给予患者或医护人员及时的用药及饮食指引。这样一来,可将"静态方案"转变为"闭环管理",显著提高准备效率并减少药物浪费或副作用。

4.3 基于肠道微生态学的深化研究

近年来临床对肠道菌群的研究日益深入。部分患者对同类泻剂或相同剂量的反应截然不同,其中一个原因在于其肠道微生态环境存在差异[24]。未来若能将菌群测序及代谢组学指标纳入AI模型,将为个体化肠道准备开辟新的思路,如针对高风险菌群失调者提前进行针对性调节或益生菌干预。

5 AI对复杂病例和特殊人群的临床决策支持

5.1 老年与多病共存患者

老年患者往往存在多种慢性疾病,如糖尿病、高血压等,且肠道功能随年龄变化而减弱。AI可综合血糖水平、药物相互作用、营养状态等多重因素,预测患者对特定清洁方案的耐受度,帮助临床医生进行更加细化的风险控制[25]。

5.2 炎症性肠病合并肿瘤患者

对于兼有克罗恩病、溃疡性结肠炎等炎症性肠病的结直肠癌患者,肠道壁薄弱且局部炎症反复发作,准备过程更易出现出血、穿孔等意外。AI可辅助临床团队在制定准备方案前,结合患者既往影像、内镜、组织病理和病程演变数据,量化评估潜在风险,并给出更保守或分次清洁的建议[26-28]。

5.3 特殊手术方式或术式改变患者

部分结直肠癌患者在以往手术中行吻合口、造口或接受过放化疗,导致术前肠道状态更为复杂。借助AI对既往手术记录、造影结果与病理资料的综合分析,医生可针对残余结肠或造口区域加强局部准备,从而尽量降低再次手术的干扰与风险。

6 当前局限与未来展望

尽管AI在结直肠癌术前肠道准备中展现出显著潜力,其大规模临床应用仍面临诸多挑战。现有研究大多聚焦于算法的可行性与少量临床样本的初步测试,缺乏多中心、大规模的前瞻性验证,使不同AI系统间的数据标准和评价指标不一致,难以进行有效对比和整合。若要进一步推进AI技术在临床的可靠性与可推广性,建立统一的技术标准及临床评估体系势在必行。与此同时,AI模型的训练和部署往往需要收集大量的临床及影像数据,个人隐私和数据安全问题因此更为凸显。如何在保证数据有效共享的同时妥善保护患者隐私,并在出现误判时厘清责任、完善纠纷处理机制,亦亟待从法律和伦理层面予以充分讨论和规范[29-31]。

值得关注的是,随着精准医学、分子影像学、肠道微生态研究等领域的交融与发展,AI在术前肠道准备中的应用或将超越单一的图像分析及泻剂指导,通过整合基因组学、代谢组学、微生物组学等多模态数据,为更全面、准确的个体化策略提供支持。这一深度融合需要医学、计算机科学与卫生政策等多方力量的密切协作,唯有共同推动技术创新、规范制定和政策完善,方能助力AI在结直肠癌术前肠道准备中取得更加广泛与长远的应用价值。

7 结论

AI在结直肠癌术前肠道准备中体现出巨大的应用价值,既能通过自动化图像分析评估清洁质量,也可基于预测模型和远程管理平台为患者提供个体化的准备方案。现有研究结果表明,AI可明显提升肠道准备的准确性与效率,并减少因准备不足导致的重复

检查。然而,AI的大规模临床推广仍需解决数据规范、伦理监管、多学科协作等多方面问题。未来,随着算法性能的提升和临床大数据的不断积累,AI有望在结直肠癌术前肠道准备中发挥更为卓越的作用,为结直肠癌围术期管理及患者长期生存获益做出更大贡献。

[参考文献]

[1] Patel SG, Dominitz JA. Screening for colorectal cancer[J]. Ann Intern Med, 2024, 177(4): ITC49-ITC64. doi: 10.7326/aitc202404160.

[2] Song M. Global epidemiology and prevention of colorectal cancer[J]. Lancet Gastroenterol Hepatol, 2022, 7(7): 588-590. doi: 10.1016/s2468-1253(22)00089-9.

[3] Eng C, Jácome AA, Agarwal R, et al. A comprehensive framework for early-onset colorectal cancer research [J]. Lancet Oncol, 2022, 23(3): e116-e128. doi: 10.1016/s1470-2045(21)00588-X.

[4] Raza Z, Saqib SU, Bajwa AA. Integrating artificial intelligence techniques for advancements in colorectal cancer management: navigating past and predicting future direction[J]. J Pak Med Assoc, 2024, 74(4 (Supple-4)): S165-S170. doi: 10.47391/jpma. Aku-9s-26.

[5] Areia M, Mori Y, Correale L, et al. Cost-effectiveness of artificial intelligence for screening colonoscopy: a modelling study [J]. Lancet Digit Health, 2022, 4(6): e436-e444. doi: 10.1016/s2589-7500(22)00042-5.

[6] Willis MA, Toews I, Soltau SL, et al. Preoperative combined mechanical and oral antibiotic bowel preparation for preventing complications in elective colorectal surgery[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2023, 2(2): Cd014909. doi: 10.1002/14651858. CD014909. pub2.

[7] Ambe PC, Zarras K, Stodolski M, et al. Routine preoperative mechanical bowel preparation with additive oral antibiotics is associated with a reduced risk of anastomotic leakage in patients undergoing elective oncologic resection for colorectal cancer [J]. World J Surg Oncol, 2019, 17(1): 20. doi: 10.1186/s12957-019-1563-2.

[8] 沈文娟,徐 昶,林嘉希,等. 基于深度学习的内镜肠道准备评分模型的建立[J]. 中国医疗设备,2023,38(11):11-15. doi:10.3969/j.issn.1674-1633.2023.11.003.

[9] 王静娴,索莉娜,禹菲菲. 老年患者肠镜检查前肠道准备质量的影响因素及肠道失败风险预测模型的构建和验证[J]. 中国肛肠病杂志,2024,44(11):51-54. doi:10.3969/j.issn.1000-1174.2024.11.014.

[10] Theunissen F, Lantinga MA, Ter Borg PCJ, et al. Efficacy of different bowel preparation regimen volumes for colorectal cancer screening and compliance with European Society of Gastrointestinal Endoscopy performance measures [J]. United European Gastroenterol J, 2023, 11(5): 448-457. doi: 10.1002/ueg2.12386.

[11] Cirocchi R, Randolph J, Panata L, et al. The tip of the iceberg of colorectal perforation from enema: a systematic review and meta-analysis [J]. Tech Coloproctol, 2020, 24(11): 1109-1119. doi: 10.1007/s10151-020-02294-7.

[12] Turing AM. Computing machinery and intelligence[J]. Mind, 1950, 59: 433-460. doi: 10.1093/mind/LIX.236.433.

[13] Kolanska K, Chabbert-Buffet N, Daraï E, et al. Artificial intelligence in medicine: a matter of joy or concern? [J]. J Gynecol Obstet Hum Reprod, 2021, 50(1): 101962. doi: 10.1016/j.jogoh.2020.101962.

[14] San José Estépar R. Artificial intelligence in functional imaging of the lung[J]. Br J Radiol, 2022, 95(1132): 20210527. doi: 10.1259/bjr.20210527.

[15] 余前富,汪 晨. 人工智能在影像技术图像后处理应用研究现状[J]. 影像技术,2025,37(6):71-75.

[16] Soleymanjahi S, Huebner J, Elmansy L, et al. Artificial intelligence-assisted colonoscopy for polyp detection: a systematic review and meta-analysis [J]. Ann Int Med, 2024, 177(12): 1652-1663. doi: 10.7326/annals-24-00981.

[17] Antonelli G, Gkolfakis P, Tziatzios G, et al. Artificial intelligence-aided colonoscopy: recent developments and future perspectives [J]. World J Gastroenterol, 2020, 26(47): 7436-7443. doi: 10.3748/wjg.v26.i47.7436.

[18] Xu H, Tang RSY, Lam TYT, et al. Artificial intelligence-assisted colonoscopy for colorectal cancer screening: a multicenter randomized controlled trial [J]. Clin Gastroenterol Hepatol, 2023, 21(2): 337-346. e3. doi: 10.1016/j.cgh.2022.07.006.

[19] 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[J]. Gastrointest Endosc, 2021, 93(1): 77-85. e6. doi: 10.1016/j.gie.2020.06.059.

[20] Gimeno-García AZ, Benítez-Zafra F, Nicolás-Pérez D, et al. Colon bowel preparation in the era of artificial intelligence: is there potential for enhancing colon bowel cleansing?[J]. Medicina (Kaunas), 2023, 59(10): 1834. doi: 3390/medicina59101834.

[21] 张利芳. 消化内镜检查患者肠道准备清洁度达标现状及影响因素分析[J]. 中华养生保健,2025,43(4):106-109.

[22] 邓少琦,林丹丹,刘鑫杰,等. 人工智能算法与Logistic回归在肠道准备预测中的应用[J]. 现代消化及介入诊疗,2021,26(8):1008-1013. doi:10.3969/j.issn.1672-2159.2021.08.017.

[23] Shahini E, Sinagra E, Vitello A, et al. Factors affecting the quality of bowel preparation for colonoscopy in hard-to-prepare patients: Evidence from the literature [J]. World J Gastroenterol, 2023, 29(11): 1685-1707. doi: 10.3748/wjg.v29.i11.1685.

[24] Wang Z, Dan W, Zhang N, et al. Colorectal cancer and gut microbiota studies in China[J]. Gut Microbes, 2023, 15(1): 2236364. doi: 10.1080/19490976.2023.2236364.

[25] 朱晶晶,张 扬,龚小会,等. 基于人工智能算法与中医体质类型的老年糖尿病患者合并心血管疾病预测模型[J]. 上海中医药杂志,2025,59(3):1-6. doi:10.16305/j.1007-1334.2025.z20240801001.

[26] 赵柳淇,戴世学,沙卫红. 人工智能在炎症性肠病图像诊断的应用进展[J]. 广州医药,2025,56(5):1-14. doi:10.20223/j.cnki.1000-8535.2025.05.001.

[27] 吴朴仙,王红霞,林 婧,等. 人工智能在炎症性肠病中的应用进展[J]. 胃肠病学和肝病学杂志,2024,33(10):1377-1381. doi:10.3969/j.issn.1006-5709.2024.10.020.

[28] 郭 宪,吴应洋,江艾芮,等. 基于深度学习的人工智能辅助胃镜下实时识别病变及位置模型的建立[J]. 局解手术学杂志,2024,33(10):849-854. doi:10.11659/jjssx.02E024054.

[29] Ray PP. Generative artificial intelligence (AI) and medical ethics: a symbiotic dance for the future [J]. J Oral Maxillofac Surg, 2023, 81(12): 1457-1459. doi: 10.1016/j.joms.2023.09.015.

[30] Keskinbora KH. Medical ethics considerations on artificial intelligence [J]. J Clin Neurosci, 2019, 64: 277-282. doi: 10.1016/j.jocn.2019.03.001.

[31] Ning Y, Teixayavong S, Shang Y, et al. Generative artificial intelligence and ethical considerations in health care: a scoping review and ethics checklist[J]. Lancet Digit Health, 2024, 6(11): e848-e856. doi: 10.1016/s2589-7500(24)00143-2.

(编辑:魏 源)