

- endoscopic biopsy in patients taking antithrombotics[J]. Dig Endosc, 2015, 27(1):25-29. DOI: 10.1111/den.12303.
- [19] Ara N, Iijima K, Maejima R, et al. Prospective analysis of risk for bleeding after endoscopic biopsy without cessation of antithrombotics in Japan[J]. Dig Endosc, 2015, 27(4): 458-464. DOI: 10.1111/den.12407.
- [20] Engbers MJ, Vlieg A, Rosendaal FR. Venous thrombosis in the elderly: incidence, risk factors and risk groups[J]. J Thromb Haemost, 2010, 8(10): 2105-2112. DOI: 10.1111/j.1538-7836.2010.03986.x.
- [21] Sundbøll J, Hovúth-Puhó E, Adelborg K, et al. Risk of arterial and venous thromboembolism in patients with atrial fibrillation or flutter: a nationwide population-based cohort study[J]. Int J Cardiol, 2017, 241: 182-187. DOI: 10.1016/j.ijcard.2017.04.081.
- [22] Nagata N, Sakurai T, Moriyasu S, et al. Impact of INR monitoring, reversal agent use, heparin bridging, and anticoagulant interruption on rebleeding and thromboembolism in acute gastrointestinal bleeding[J]. PLoS One, 2017, 12(9): e0183423. DOI: 10.1371/journal.pone.0183423.
- [23] Chai-Adisaksotha C, Hillis C, Monreal M, et al. Thromboembolic events, recurrent bleeding and mortality after resuming anticoagulant following gastrointestinal bleeding. A meta-analysis[J]. Thromb Haemost, 2015, 114(4): 819-825. DOI: 10.1160/TH15-01-0063.
- [24] Zakai NA, McClure LA. Racial differences in venous thromboembolism[J]. J Thromb Haemost, 2011, 9(10): 1877-1882. DOI: 10.1111/j.1538-7836.2011.04443.x.
- [25] Ho P, Ng C, Rigano J, et al. Significant age, race and gender differences in global coagulation assays parameters in the normal population[J]. Thromb Res, 2017, 154: 80-83. DOI: 10.1016/j.thromres.2017.04.009.
- [26] Lee SY, Tang SJ, Rockey DC, et al. Managing anticoagulation and antiplatelet medications in GI endoscopy: a survey comparing the East and the West [J]. Gastrointest Endosc, 2008, 67(7): 1076-1081. DOI: 10.1016/j.gie.2007.11.037.
- [27] 抗栓治疗消化道损伤防治专家组. 抗栓治疗消化道损伤防治中国专家建议(2016·北京)[J]. 中华内科杂志, 2016, 55(7): 564-567. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2016.07.020.
- [28] 王浩,陶涛,王海军,等. 四项国际消化道内镜围术期抗栓药物应用指南对中国老年患者不良事件的预测能力[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2017, 19(8): 837-842. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0126.2017.08.014.
- [29] 李永超,郑德权,胡晓霞,等. 结肠息肉内镜下黏膜切除术术后迟发性出血的危险因素分析[J]. 中国内镜杂志, 2020, 26(3): 57-61. DOI: 10.3969/j.issn.1007-1989.2020.03.010.
- [30] Lau LH, Guo CL, Yip TC, et al. Risks of post-colonoscopy polypectomy bleeding and thromboembolism with warfarin and direct oral anticoagulants: a population-based analysis[J]. Gut, 2022, 71(1):100-110. DOI: 10.1136/gutjnl-2020-323600.
- [31] 李欢,吴清明,龙辉. 抗血小板药物治疗与肠息肉内镜切除术后出血的相关性研究[J]. 中华消化内镜杂志, 2020, 37(10): 727-731. DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20190504-00320.
- [32] Chan F, Kyaw MH, Hsiang JC, et al. Risk of postpolypectomy bleeding with uninterrupted clopidogrel therapy in an industry-independent, double-blind, randomized trial[J]. Gastroenterology, 2019, 156(4): 918-925. e1. DOI: 10.1053/j.gastro.2018.10.036.
- [33] 王浩,陶涛,王海军,等. 老年患者消化道内镜围术期抗栓药物管理的回顾性研究[J]. 中国应用生理学杂志, 2017, 33(3): 271-276. DOI: 10.12047/j.cjap.5550.2017.066.

## 结肠镜技能训练、能力与质量评估的研究进展

赵子夜<sup>1</sup> 王成龙<sup>2</sup> 袁捷<sup>1</sup> 蒋宇亮<sup>3</sup> 曹毅<sup>1</sup> 于恩达<sup>1</sup>

<sup>1</sup>海军军医大学第一附属医院肛肠外科, 上海 200433; <sup>2</sup>厦门大学附属成功医院 陆军第七十三集团军医院消化科, 厦门 361000; <sup>3</sup>首都医科大学附属北京世纪坛医院消化科, 北京 100038

通信作者: 于恩达, Email: endayu@yeah.net

**【提要】** 结肠镜检查操作复杂, 且操作与镜身运动之间联系微妙, 这为教学工作带来很大障碍。对于操作能力和操作质量的评价, 缺乏精细、有针对性和指导意义的评价指标和评价方法。在当前结肠镜检查需求激增的背景下, 对更先进的结肠镜操作教学法、技能评估和质量控制方法的需求愈发迫切, 因此, 近年来在该领域涌现出了很多研究成果。本文将从评价的指标、场景和方法 3 个维度对这一领域研究的现有成果进行综述。

DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20210520-00241

收稿日期 2021-05-20 本文编辑 周昊

引用本文: 赵子夜, 王成龙, 袁捷, 等. 结肠镜技能训练、能力与质量评估的研究进展[J]. 中华消化内镜杂志, 2022, 39(9): 686-690. DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20210520-00241.



【关键词】 结肠镜检查； 模拟训练； 质量管理； 评价研究

基金项目：国家重点研发计划(2017YFC1308800)；国家自然科学基金(81870455)；上海长海医院学科攀峰计划(2019YXK036)

## Research advances in colonoscopic technical training, competence and quality evaluation

Zhao Ziyi<sup>1</sup>, Wang Chenglong<sup>2</sup>, Yuan Jie<sup>1</sup>, Jiang Yuliang<sup>3</sup>, Cao Yi<sup>1</sup>, Yu Enda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Colorectal Surgery, The First Affiliated Hospital of Naval Medical University, Shanghai 200433, China; <sup>2</sup>Department of Gastroenterology, Chenggong Hospital Affiliated to Xiamen University, Chinese PLA 73rd Corps Hospital, Xiamen 361000, China; <sup>3</sup>Department of Gastroenterology, Beijing Shijitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100038, China  
Corresponding author: Yu Enda, Email: endayu@yeah.net

结肠镜检查是一项相当复杂的操作,相比于其他消化内镜,结肠镜操作所面对的结肠具有范围广、活动度大、弯曲多、变异多等特点,导致结肠镜操作与镜身运动之间难以建立清晰、直观的联系。结肠镜操作者自身的操作技术及其对结肠形态多变性的理解是实现高质量检查的关键,这一关键长久以来犹如处于“黑箱”之中,难以言传,只能依赖师徒传授模式进行教学<sup>[1]</sup>。而对于操作能力和操作质量的评价,仅能利用操作例数、操作时间等经验指标进行评价,缺乏更精细、有针对性和指导意义的评价指标和评价方法。

随着医疗现状的改变,单纯依靠传统模式培养结肠镜医师已经远远不能满足新的医疗需求。一方面,结肠镜检查需求量快速增长,尤其是结直肠癌筛查的大量增加,导致结肠镜医师数量出现明显的缺口<sup>[2]</sup>;另一方面,大量间期癌的存在警示我们,检查的质量制约了检查的有效性,亟需更精准、更具实效性的质量评估工具<sup>[3]</sup>。基于上述情况,业界学者将研究的目光投向了结肠镜技能训练、能力考评以及质量评估方法。因为结肠镜技能训练、能力评估和检查质量评估这3方面关系密切且相似度高,所以多国学者的研究也往往包含其中多个方面,有必要加以汇总。加之相关研究总体上属于探索阶段,尚未形成公认的分类标准,为便于理解,本文将从评价指标、评价场景和评价方法这3方面分别阐述既往研究所涉及的内容。

### 一、评什么、何时评——评价指标及其时效

狭义的结肠镜检查过程通常持续数分钟至数十分钟,绝大多数指标可在检查完成的同时完成采集,比如操作时间、退镜时间、进镜距离等。还有部分相关指标可延伸到检查过程的前后,比如检查前的肠道准备过程、检查后的病理检查结果和随访计划制定。美国消化内镜协会(American society for gastrointestinal endoscopy, ASGE)将结肠镜相关指标进行了全面的总结<sup>[4]</sup>。在全部质量指标中有3项核心内容,即盲肠进镜率(cecal intubation rate, CIR)、筛查肠镜的腺瘤检出率(adenoma detection rate, ADR)以及随访时间的制定,其中前两项最为常用并受到公认<sup>[5]</sup>。完成盲肠进镜是实现全结肠镜检查的标志,也是检查者基本能力的体现,阶段性评价CIR可对操作者水平的进步情况进行判断。基于CIR定义检查例数阈值是一种传统的能力评价方法,曾经是结肠镜操作者从新手成为老手的重要关卡<sup>[6-9]</sup>,直至被后

来出现的学习曲线所取代<sup>[10-11]</sup>。ADR是指检出结直肠腺瘤的检查数在总检查数中所占比例,因该指标在大样本人群中研究中被证实与间期癌存在显著的相关性,故而获得了核心质控指标的地位<sup>[12]</sup>。

上述指标可称为“经典指标”,其作为质控指标的地位毋庸置疑,然而其缺陷也十分明显。作为结果指标,CIR和ADR均无法实时获取,需要通过数据回顾获得,这就导致上述数据的时效性较差,无法实时评估单一结肠镜操作过程。质控指标虽然可以区分操作水平的高低,但无法指出产生操作差异的根本原因,因此不能给检查者提供改进操作的反馈性指导,几乎没有教学功能。

为提升时效性、增强教学功能,研究者们尝试运用更多新的指标来进行结肠镜操作评价。这些“新指标”多为过程指标,即采集过程发生于结肠镜操作的过程中,必须实时采集而不能通过回顾获得。过程指标关注的是结肠镜检查中的细节,较之“经典指标”包含了更多的信息,有助于分析导致结果发生的过程因素,从而实现对操作者的反馈教学,有助于提升操作能力。

过程指标数量众多,且有部分经过一定程度的验证,然而不少指标与检查结果、检查质量存在关联并不十分清楚,其价值也普遍未达到质控指标的水平。这些指标虽未实现广泛应用,但已有较多数量的评价量表基于这些指标被开发出来,以期实现更加及时的能力和评价(图1)。

### 二、在哪评——评价场景

要确定结肠镜操作者的能力水平,考核、评价是必不可

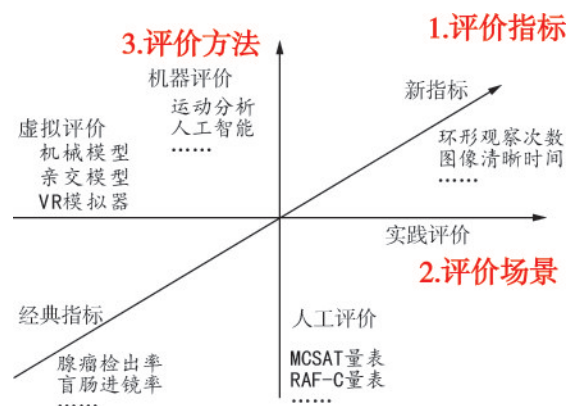


图1 结肠镜技能训练、能力、质量评估的三维系统

少的,这就如同必须通过驾驶员考试获得驾驶证才能驾驶机动车一样。与考驾照需理论考试和实践测试一样,结肠镜操作能力评估也可分为“虚拟评估”和“实践评估”。

根据传统教学法,操作者的学习过程是由导师“手把手”在真实的结肠镜检查中完成的,能力评估自然也是在真实的肠镜检查中进行的,这种评估方法可称为“实践评估”,即在结肠镜受检者身上进行评估。实践评估所应用的评价指标可以是结果指标也可以是过程指标。由于评价结果来自于真实的结肠镜检查,对评估结果的解读比较直接且容易理解。实践评估存在的缺陷,首先,受检者存在个体差异,单一一次评估的结果很容易因受检者结肠解剖变异以及其他个体因素的影响(如宽大的腹部、腹盆腔外科术后、消瘦女性等),因此需要比较大的样本量来降低个体差异对评价结果的影响;其次,部分特殊操作只能在特殊场景下进行(比如内镜下止血),不能因评估需要而人为制造此类场景,难以在真实的结肠镜检查条件下进行评估;再次,检查者水平的不确定性将会给受检者带来潜在的风险,安全隐患较大。上述缺陷同样是导致传统教学、评估方式不能满足当前医疗需求的重要原因。

结肠镜操作需在实践前经过一些非真实环境下的训练和评估,这种情况可称为“虚拟评估”,即在结肠镜检查模型或模拟器(后文统称“模拟器”)上进行评估。模拟器是经过标准化的医用教学设备,其所提供的标准场景非常便于制定统一的培训内容、训练和考核操作者的“规定动作”。且由于不存在伦理学问题,模拟器尤其适用于进行内镜教学和能力评估。

广义的结肠镜检查模拟器包含 3 个类型:机械模型、杂交模型和虚拟模拟器。机械模型是全人造的结直肠模型(如 Kyoto Kagaku colonoscope training model M40, Japan),其应用可靠性已经过验证<sup>[13-14]</sup>。模型所包含要素并不复杂,却通过巧妙的设计极大程度地模拟了真实结直肠的诸多特性,比如肛门括约肌、结肠系膜、黏连成角等。目前国内也有类似模型出现,但在设计和性能上尚有很大的提升空间。杂交模型是机械模型与动物模型的结合,将离体动物器官(猪大肠)与外模型相连接,从而获得更真实的检查体验<sup>[15]</sup>。杂交模型在模拟胃镜检查方面更容易实现,但在模拟结肠镜检查方面效果差强人意,主要由于离体器官的固定存在困难,其获得和预处理也使杂交模型使用较为繁琐。虚拟模拟器则是高科技的产物,利用虚拟现实(virtual reality, VR)技术模拟出结肠镜检查的场景,让检查者仿佛亲身操作结肠镜为患者进行检查一样。目前有 3 种模拟器见于文献报道,其中 GI Mentor II(生产商:美国克利夫兰 Symbionix)、CAE EndoVR/Accutouch(生产商:加拿大蒙特利尔 CAE Healthcare)为商业化版本,Endo TS-1(英国艾塞克斯 Olympus Keymed)仅应用于科学研究(图 2)。这 3 种模拟器均经科学验证,在初学者训练方面表现出色,在能力考评方面有一定的价值,但现有研究证据并未取得一致结论<sup>[16-18]</sup>。



图 2 现有结肠镜模拟器 2A:京都科学 M40;2B:GI Mentor; 2C:Endo TS-1;2D:Accutouch

模拟器的缺陷主要体现在两个方面。(1)在模拟器上积累的检查经验是在虚拟场景下获得的,不能等同于真实的检查经验,必须经过一定的实践转化才能达到确切的培训效果。(2)标准化的模拟器能够提供的模拟检查场景是有限的,不可能将变化多端的结肠变异充分展现出来,受训者仅能在虚拟场景下模拟简单且有限的结肠镜操作过程,因此获得持续提升的可能性不大。模拟器售价高昂(超过 50 万人民币),给普遍应用造成了巨大障碍,加之如果仅适用于初学者,那么它的价值就非常有限。目前仅建议有条件的内镜中心采取先虚拟、后实践的教学模式,除非模拟器的价格下降到足够低廉且其指导能力持续提升的能力得到验证,否则模拟器仍然难以切实改变内镜教学和能力评估的现状。

### 三、怎么评、谁来评——评价方法

评价方法与评价指标之间存在非常紧密的联系。如果仅仅应用少量结果指标进行评价,那么评价过程是十分简单而明确的,这种模式可称之为“简单评价”,此时评价方法并不是一个重要的问题。但在实际情况下,评价体系往往较为复杂,涉及指标较多或对时效性的要求较高(需要实时评估),那么评价方法也成为一个问题。根据数据采集方式的差别,评价方法可以分为“人工评价”和“机器评价”。

“人工评价”所对应的评价工具是评价量表,因此目前“人工评价”和“量表评价”的含义是基本等同的。评价量表通常包含一定数量的过程指标,通过实时评价获取,从而实现对检查者技术水平更详细、更及时的评价。目前文献报道的结肠镜检查评价量表主要有 GAGES<sup>[19]</sup>、MCSAT<sup>[20]</sup>、

DOPS<sup>[21]</sup>、RAF-C<sup>[22]</sup>、ACE<sup>[23]</sup>、GiECAT<sup>[24-25]</sup>等(表1)。现有研究结果认为评价量表能够实现对操作者能力的有效评估,起到辅助教学的作用。其中MCSAT和RAF-C量表基于CIT和CIR数据确定了结肠镜技能提高的学习曲线,指出结肠镜医生从初学者达到CIR 90%的胜任能力分别需要280例、275例检查,这在确定结肠镜教学阶段的阈值指标方面具有很大的意义。即便如此,虽然ASGE对量表的应用给出了参考意见,但尚不了解其在美国的应用情况,国际性的研究结论更是未见报道<sup>[23]</sup>。

人工评价的缺点在于对人力的额外消耗以及同时伴随的评价主观性。实时专业性评价难以被计算机自动记录所替代,所以需要专门的评价人员参与。此外,质量评价的终极指标是病变的检出数据,要获得人工评价和质控指标之间一致性的评价结果所需研究条件较为苛刻,目前仍少有相关数据报道。

随着计算机性能的提高、传感器技术和人工智能的发展,应用以计算机为核心的非人工方法对结肠镜检查技术和质量进行实时评价逐渐变得可以实现,这种方法可称为“机器评价”。“机器评价”具有高效、客观、稳定等特点,能够很好地弥补“人工评价”的诸多缺陷。机器可以进行更高密度的信息采集,从而完成人力无法实现的微小动作记录(比如操作者手部动作或角度钮旋转的记录)并进行基于此的分析,即基于动作捕获的运动分析技术,已有研究应用惯性传感器、光学传感器捕获操作者腕部动作或头部动作用于运动分析<sup>[26-28]</sup>。“运动分析”为结肠镜检查技术评价提供了全新的思路,并且实现了精细度、时效性和数据量等方面的超越,减少了人力的消耗,极有希望在未来发挥重大的作用,也同时成为一个研究热点<sup>[29]</sup>。由于具有显著的时效性,运动分析在内镜教学方面可以为实时指导提供依据,在质控方面可以进行单次检查质量评估。针对结肠镜检查的运动分析可根据捕获对象分为结肠镜运动分析和操作者运动分析<sup>[30-31]</sup>。其中操作者运动分析是理论上最适用于操作技术评估的方法。结肠镜的运动具有相当的复杂性,但检查者所能施加的操作仅包含4项内容,即旋钮、转镜、进退镜和注气吸引。检查者组合运用上述操作的技术细节和能力差距是导致结肠镜检查差异结局的直接原因,如果能建立起操作细节与差异结局指标(盲肠进镜、进镜时间、病变检出、患者体验等)之间的关联,便找到了快速提高和评价检查者技术水平的准确方向,从而打开技术“黑匣子”。

虽然前景十分光明,但这种全新的评估方法尚未完全

从理论上可行转化为实践层面可用,尚且没有成型的产品提供评估和质控,还处于研究阶段。而在研究阶段的难点在于选取哪些指标用来评估,其评价体系如何建立,运动数据能否与经典质控指标建立良好的相关性,上述问题均有待解决。

#### 四、展望

基于现有文献判断,在结肠镜训练、评估、质控方面,主要需解决如下3个问题:(1)无论是进行人工评估还是机器评估,都首先要证明评价工具(量表、评价体系)的有效性;(2)基于有效的评价工具建立恰当的训练课程体系;(3)针对长期技能提高和质控评价建立针对性的评估体系。

在解决上述问题的基础上,理想化的未来结肠镜教学与评价模式可能包含3个部分:(1)新手培训,在模拟器上进行,应用模拟器的评估功能或运动分析设备进行指导教学和评价,达到预设能力阈值则为通过,成为结肠镜新手;(2)初级培训,基于真实环境的能力评估,新手操作者通过为结肠镜受检者做检查,应用人工评价或机器评价方法,在一定检查数量内进行持续评估,参考既定学习曲线判断操作者的技术水平,达到预定的阈值视为通过,成为结肠镜熟练操作者;(3)持续评估,熟练操作者应接受持续的操作能力和检查质量评估,后者更为重要。所获结果可提示该检查者所实施的结肠镜检查是否符合要求,从而有效实现结肠镜检查的质量控制,减少病变漏检,根本上提升结肠镜检查效能。

**利益冲突** 所有作者声明不存在利益冲突

**作者贡献声明** 赵子夜:实施研究、分析数据、撰写论文;王成龙:采集数据、论文修改;袁捷、蒋宇亮:采集数据;曹毅:论文修改;于恩达:研究指导、经费支持

#### 参 考 文 献

- [1] Ekkelenkamp VE, Koch AD, de Man RA, et al. Training and competence assessment in GI endoscopy: a systematic review[J]. Gut, 2016, 65(4):607-615. DOI: 10.1136/gutjnl-2014-307173.
- [2] 中国抗癌协会大肠癌专业委员会中国结直肠肿瘤早诊筛查策略制订专家组. 中国结直肠肿瘤早诊筛查策略专家共识[J]. 中华胃肠外科杂志, 2018, 21(10):1081-1086. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0274.2018.10.001.
- [3] Sanduleanu S, le Clercq CM, Dekker E, et al. Definition and taxonomy of interval colorectal cancers: a proposal for standardising nomenclature[J]. Gut, 2015, 64(8): 1257-1267. DOI: 10.1136/gutjnl-2014-307992.

表1 现有结肠镜检查评价量表

简称	全称	发布国家	发布机构	发布年份
GAGES <sup>[19]</sup>	消化内镜技能全面评估表	加拿大	麦吉尔大学	2010
MCSAT <sup>[20]</sup>	梅奥结肠镜技能评估表	美国	梅奥医院	2010
DOPS <sup>[21]</sup>	操作技能直接观察评估	英国	纽卡斯尔大学	2012
RAF-C <sup>[22]</sup>	Rotterdam 结肠镜评估表	荷兰	伊拉斯姆斯大学	2012
ACE <sup>[23]</sup>	内镜能力评估表	美国	美国消化内镜协会	2014
GiECAT <sup>[24-25]</sup>	消化内镜能力评估工具	加拿大	多伦多大学	2014

- [4] Rex DK, Schoenfeld PS, Cohen J, et al. Quality indicators for colonoscopy[J]. *Gastrointest Endosc*, 2015, 81(1):31-53. DOI: 10.1016/j.gie.2014.07.058.
- [5] 赵子夜, 李骏强, 单永琪, 等. 结直肠癌平均风险人群结肠镜检查的息肉与腺瘤检出率及其年龄分布情况[J]. *中华消化内镜杂志*, 2014, 31(2): 64-68. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-5232.2014.02.002.
- [6] Church J, Oakley J, Milsom J, et al. Colonoscopy training: the need for patience (patients)[J]. *ANZ J Surg*, 2002, 72(2):89-91. DOI: 10.1046/j.1445-2197.2002.02312.x.
- [7] Chak A, Cooper GS, Blades EW, et al. Prospective assessment of colonoscopic intubation skills in trainees[J]. *Gastrointest Endosc*, 1996, 44(1): 54-57. DOI: 10.1016/s0016-5107(96)70229-8.
- [8] Cass OW, Freeman ML, Peine CJ, et al. Objective evaluation of endoscopy skills during training[J]. *Ann Intern Med*, 1993, 118(1): 40-44. DOI: 10.7326/0003-4819-118-1-199301010-00008.
- [9] Spier BJ, Benson M, Pfau PR, et al. Colonoscopy training in gastroenterology fellowships: determining competence[J]. *Gastrointest Endosc*, 2010, 71(2): 319-324. DOI: 10.1016/j.gie.2009.05.012.
- [10] Chung JI, Kim N, Um MS, et al. Learning curves for colonoscopy: a prospective evaluation of gastroenterology fellows at a single center[J]. *Gut Liver*, 2010, 4(1):31-35. DOI: 10.5009/gnl.2010.4.1.31.
- [11] Lee SH, Chung IK, Kim SJ, et al. An adequate level of training for technical competence in screening and diagnostic colonoscopy: a prospective multicenter evaluation of the learning curve[J]. *Gastrointest Endosc*, 2008, 67(4): 683-689. DOI: 10.1016/j.gie.2007.10.018.
- [12] Kaminski MF, Regula J, Kraszewska E, et al. Quality indicators for colonoscopy and the risk of interval cancer[J]. *N Engl J Med*, 2010, 362(19): 1795-1803. DOI: 10.1056/NEJMoa0907667.
- [13] Plooy AM, Hill A, Horswill MS, et al. Construct validation of a physical model colonoscopy simulator[J]. *Gastrointest Endosc*, 2012, 76(1):144-150. DOI: 10.1016/j.gie.2012.03.246.
- [14] Ritter EM, Cox TC, Trinca KD, et al. Simulated Colonoscopy Objective Performance Evaluation (SCOPE): a non-computer-based tool for assessment of endoscopic skills[J]. *Surg Endosc*, 2013, 27(11):4073-4080. DOI: 10.1007/s00464-013-3063-8.
- [15] Sedlack RE, Baron TH, Downing SM, et al. Validation of a colonoscopy simulation model for skills assessment[J]. *Am J Gastroenterol*, 2007, 102(1):64-74. DOI: 10.1111/j.1572-0241.2006.00942.x.
- [16] Triantafyllou K, Lazaridis LD, Dimitriadis GD. Virtual reality simulators for gastrointestinal endoscopy training[J]. *World J Gastrointest Endosc*, 2014, 6(1):6-12. DOI: 10.4253/wjge.v6.i1.6.
- [17] Fayez R, Feldman LS, Kaneva P, et al. Testing the construct validity of the Symbionix GI Mentor II virtual reality colonoscopy simulator metrics: module matters[J]. *Surg Endosc*, 2010, 24(5):1060-1065. DOI: 10.1007/s00464-009-0726-6.
- [18] Kim S, Spencer G, Makar GA, et al. Lack of a discriminatory function for endoscopy skills on a computer-based simulator[J]. *Surg Endosc*, 2010, 24(12): 3008-3015. DOI: 10.1007/s00464-010-1077-z.
- [19] Vassiliou MC, Kaneva PA, Poulou BK, et al. Global Assessment of Gastrointestinal Endoscopic Skills (GAGES): a valid measurement tool for technical skills in flexible endoscopy[J]. *Surg Endosc*, 2010, 24(8): 1834-1841. DOI: 10.1007/s00464-010-0882-8.
- [20] Sedlack RE. Training to competency in colonoscopy: assessing and defining competency standards[J]. *Gastrointest Endosc*, 2011, 74(2):355-366.e1-2. DOI: 10.1016/j.gie.2011.02.019.
- [21] Barton JR, Corbett S, van der Vleuten CP. The validity and reliability of a Direct Observation of Procedural Skills assessment tool: assessing colonoscopic skills of senior endoscopists[J]. *Gastrointest Endosc*, 2012, 75(3): 591-597. DOI: 10.1016/j.gie.2011.09.053.
- [22] Koch AD, Haringsma J, Schoon EJ, et al. Competence measurement during colonoscopy training: the use of self-assessment of performance measures[J]. *Am J Gastroenterol*, 2012, 107(7):971-975. DOI: 10.1038/ajg.2011.481.
- [23] Fried GM, Marks JM, Mellinger JD, et al. ASGE's assessment of competency in endoscopy evaluation tools for colonoscopy and EGD[J]. *Gastrointest Endosc*, 2014, 80(2):366-367. DOI: 10.1016/j.gie.2014.03.019.
- [24] Walsh CM, Ling SC, Khanna N, et al. Gastrointestinal Endoscopy Competency Assessment Tool: development of a procedure-specific assessment tool for colonoscopy[J]. *Gastrointest Endosc*, 2014, 79(5):798-807.e5. DOI: 10.1016/j.gie.2013.10.035.
- [25] Walsh CM, Ling SC, Khanna N, et al. Gastrointestinal Endoscopy Competency Assessment Tool: reliability and validity evidence[J]. *Gastrointest Endosc*, 2015, 81(6): 1417-1424.e2. DOI: 10.1016/j.gie.2014.11.030.
- [26] Holden MS, Wang CN, MacNeil K, et al. Objective assessment of colonoscope manipulation skills in colonoscopy training[J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2018, 13(1):105-114. DOI: 10.1007/s11548-017-1676-4.
- [27] Ratuapli SK, Ruff KC, Ramirez FC, et al. Kinematic analysis of wrist motion during simulated colonoscopy in first-year gastroenterology fellows[J]. *Endosc Int Open*, 2015, 3(6): E621-626. DOI: 10.1055/s-0034-1393061.
- [28] Svendsen MB, Preisler L, Hillingsøe JG, et al. Using motion capture to assess colonoscopy experience level[J]. *World J Gastrointest Endosc*, 2014, 6(5):193-199. DOI: 10.4253/wjge.v6.i5.193.
- [29] Saleh GM, Lindfield D, Sim D, et al. Kinematic analysis of surgical dexterity in intraocular surgery[J]. *Arch Ophthalmol*, 2009, 127(6): 758-762. DOI: 10.1001/archophthalmol.2009.137.
- [30] 高永俊一, 赵子夜, 于恩达. 内镜磁性成像在结肠镜检查中的应用现状与前景[J]. *中华消化内镜杂志*, 2015, 32(2): 129-131. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-5232.2015.02.018.
- [31] Mohankumar D, Garner H, Ruff K, et al. Characterization of right wrist posture during simulated colonoscopy: an application of kinematic analysis to the study of endoscopic maneuvers[J]. *Gastrointest Endosc*, 2014, 79(3):480-489. DOI: 10.1016/j.gie.2013.11.023.