·专家论坛·

三维成像消化内镜的研究现状及进展

王东
上海交通大学医学院附属第九人民医院消化科，上海 200011
E-mail: dr.dongwang@qq.com



王东，上海交通大学医学院附属第九人民医院消化科主任，消化内镜中心主任，主任医师，教授。中华医学会消化内镜学分会内镜机器人协作组副组长，上海市医学会消化内镜专委会委员，中国医学论坛报消化科技创新专家组秘书长，中国中西医结合学会消化内镜专业委员会副主任委员，中国医药教育协会消化内镜专委会副主任委员，上海市医学会食管胃曲张静脉专委会副主任委员。主要研究方向为消化疾病的内镜诊疗。在我国率先开展NOTES临床应用。以第一及通信作者发表SCI论文60余篇，获得专利授权56项，其中发明专利6项。出版专著及影像教材20余部，获国家自然科学基金2项，优秀博士后基金1项，其他省部级基金6项。

【提要】 消化内镜技术发展迅速，但二维成像限制了消化内镜技术进步和领域拓展。借鉴三维成像腹腔镜的发展历史，可以预见三维成像软式消化内镜的发展路径和前景。本文从立体视觉原理出发，回顾了三维成像腹腔镜历经两代技术革新，在提升手术精准度、缩短操作时间及缩短学习曲线方面展现的显著优势。软式消化内镜因结构复杂，三维成像内镜设备研发滞后，研究证实三维成像视觉有助于提升内镜黏膜下剥离术等精细操作的安全性与效率，但普遍存在视疲劳问题。在经自然腔道内镜手术新理念推动下，发展具备深度感知和空间定位的三维成像软式内镜平台和技术是消化内镜发展和领域拓展的关键方向之一。

【关键词】 成像，三维；　消化内镜；　深度感知；　空间定位；　内镜黏膜下剥离术；　经自然腔道内镜手术

Current status and advances of three-dimensional imaging in digestive endoscopy

Wang Dong
Department of Gastroenterology, Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200011, China
Email: dr.dongwang@qq.com

随着技术的飞速发展，消化内镜的图像越来越清晰，各种特殊成像功能越来越丰富，在消化疾病诊疗中的作用越来越重要。治疗性消化内镜技术近年来发展迅速，内镜手术也越来越复杂，对精准化操作的要求越来越高，同时消化内镜的应用领域也在快速扩展，如经自然腔道内镜手术（natural orifice translumenal endoscopic surgery，NOTES）已成为消化内镜的发展方向，从而对内镜平台的深度感知、精准操控和空间定位能力也提出了更高的要求。但当前的软式消化内镜图像都是二维

DOI：10.3760/cma.j.cn321463-20251103-00385
收稿日期　2025-11-03　　**本文编辑**　朱悦
引用本文：王东. 三维成像消化内镜的研究现状及进展[J]. 中华消化内镜杂志, XXXX, XX(XX): 1-6. DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20251103-00385.

(two-dimensional,2D)成像,缺乏深度感知和空间定位能力,相对简单的操作尚能胜任,但对复杂操作其局限性逐渐显现出来,已无法充分满足临床的应用需求,消化内镜的发展和应用面临很多局限。

三维(three-dimensional,3D)成像技术在20世纪90年代已经应用于腹腔镜手术系统,但由于当时的3D腹腔镜设备分辨率低、佩戴使用烦琐、术者容易出现视疲劳等缺点一直未得到广泛推广。近年来,随着技术和设备的飞速发展,3D腹腔镜又开始得到重视,并逐渐在欧美国家得到推广应用。相对于传统腹腔镜2D图像在空间定位和辨认解剖结构方面的不足,3D腹腔镜具有手术视野的3D立体感和手术操作的纵深感,操作更加精准,距离判断更为精确,精细定向操作如腹腔镜下手工缝合操作、精细吻合以及消化道重建时立体视野的优势更为明显[1],因此3D技术是对传统腔镜2D技术的进一步发展和有益补充。

一、立体图像的原理

人的双眼是分开的,所以双眼观察物体时左右眼分别获得的图像有角度差异,称为视差。2个具有视差的图像经过大脑融合后,会在大脑中形成一个具有深度信息的立体图像。主流的3D摄像使用左右2个摄像机获得物体的左右2个具有视差的影像,影像被同时投射到屏幕上时,人的左右眼分别只能看到对应的左右图像。大脑将左右眼分别看到的左右2个图像进行融合后,就会感受到物体的立体图像。3D腹腔镜使用的就是左右2个彼此独立的摄像系统[2]。

二、3D腹腔镜的发展历史和现状

3D腹腔镜的发展历史已有30余年。第一代3D腹腔镜于1991年开始应用于动物实验,1992年进入临床,应用于胆囊切除术。当时的3D系统采用了快门眼镜技术,即通过带有电池的眼镜左右主动交替关闭,配合显示屏上左右帧图像交替显示,使左右眼分别看到2个通道的图像,从而实现立体视觉。其频率只有50~60 Hz,术者还需佩戴沉重的头盔式显示器,画面昏暗且闪烁,影像模糊,术者易出现视疲劳、头痛、恶心和晕动症。因此第一代3D腹腔镜系统并未广泛应用于临床。

第二代3D腹腔镜通过2个独立的摄像系统采集不同视角的图像,并在高清显示器上同时成像,医师只需佩戴3D偏光眼镜即可实现立体视觉,较为真实地模拟了人眼立体成像过程,临床应用效果良好。但对观察位置要求严格,如果屏幕位置较偏,画面易变形且容易视疲劳,所以3D腹腔镜手术时需要尽量给术者提供最佳视角,而助手视角欠佳[3]。

理论上3D腹腔镜技术可以提升术者对组织器官相对位置的立体感知水平,增加操作信心,降低误操作率。但直到今天3D腹腔镜技术也没有广泛普及,最主要的原因是3D腹腔镜并没有表现出对传统2D腹腔镜的绝对优势。但随着技术进步尤其是影像技术的飞速发展,3D腹腔镜的缺陷逐步解决,其优势越来越突出,众多学者对腹腔镜的优势做了一系列研究,值得软式消化内镜借鉴和学习。

三、3D腹腔镜的主要优势

(一)3D腹腔镜增加了纵深感和立体感,更接近人眼的视觉效果

相对于开腹手术,2D腹腔镜术者丧失了对组织的触感和视觉立体感,外科手术的难度相应增加。3D腹腔镜在视觉上增加了手术视野的3D立体感和手术操作的纵深感。Mclntire等[4]通过分析162篇文献共184项研究,分析立体视觉3D成像技术在临床的应用情况,结果显示3D技术对空间操作能力的提升具有绝对优势,对物体辨别、位置和距离关系判断均有相当优势。

(二)3D腹腔镜手术操作更加精准,缩短了复杂手术时间

目前不同品牌的3D腹腔镜已经应用于临床,3D腹腔镜技术的应用已基本囊括外科各类疾病,并取得与传统腹腔镜技术相似的效果,甚至在某些指标上已经超越传统腹腔镜技术。文献研究结果均显示3D腹腔镜手术时间和准确程度优于2D腹腔镜[5-6]。在Cicione等[7]的研究中,33例试验者分别应用3D和2D腹腔镜系统进行了5项常规的腹腔镜操作,发现3D腹腔镜在操作时间及失误数量方面具有优势。我国《3D腹腔镜手术技术专家共识(2015)》[8]提到了3D腹腔镜在各类手术中应用的优势,如胃癌手术中的优势主要体现在腹腔镜下解剖层次的立体辨识和腹腔镜下手工吻合的精细操作;在结直肠手术中,3D腹腔镜的高分辨率加上立体效果,除了在血管分离、淋巴结清扫时给术者带来更清晰的画面,更能辨清组织结构的前后层次,更精确辨认腔隙结构,血管壁损伤情况大大减少。Sørensen等[9]一项系统性回顾分析对相关数据库进行检索,从20世纪90年代以来所有关于3D腹腔镜的共340篇文献中,检索出符合要求的31篇随机对照研究,包括临床研究与模拟器实验研究。该系统

性分析从手术时间、操作精确性或误差、不良反应(包括术者不适反应)等方面对3D和2D腹腔镜进行对比,结果发现绝大部分随机对照研究均显示3D腹腔镜手术可缩短手术时间(71%)、减少手术操作误差(63%)。Rodríguez-Hermosa 等[10]比较了3D与2D腹腔镜在肾上腺肿瘤治疗中的安全性和有效性,研究共纳入了150例患者,其中良性肿瘤128例,恶性肿瘤22例,95例接受3D腹腔镜治疗(病例组),55例使用2D腹腔镜治疗(对照组),结果显示3D腹腔镜肾上腺切除术比2D更安全,手术失血量少,手术时间短,而术后并发症的发生率无差异。

(三)3D腹腔镜有利于初学者教学,缩短了学习曲线

传统的开放手术大范围教学非常困难,对于复杂的手术,年轻的外科医师需要漫长的学习曲线。2D腹腔镜的录像记录功能和影像设备传播,大大缩短了外科手术理论学习曲线。但腹腔镜外科操作技巧的学习曲线可能会较开放手术更长,其中的影响因素就是人眼立体视觉转换成2D图像,术者只能根据腹腔镜移动、解剖结构大小、纹理梯度、线条透视、离焦模糊等心理感知因素判断景深,定位不够精确、需要参照物定位等缺陷使得长器械操作难上加难,这无疑增加了手术难度及失误发生率,延长了学习曲线。3D腹腔镜技术的发展克服了上述弊端,3D腹腔镜由于更接近立体真实的视觉,在手术中操作更便利,发生操作错误更少,学习曲线可能更短,更易为无腹腔镜手术经验者接受。Beattie 等[11]研究了2D与3D模式对基本腹腔镜技能的学习影响,受试者分为实验组和对照组,都完成了6项腹腔镜技术任务,结果显示3D训练组比2D训练组表现出更好的训练效果(即更少的时间和错误),并且重复更少的次数即能达到熟练程度。Spille 等[12]研究了不同经验级别的医师在2D或3D模式下使用骨盆训练仪的训练效果,277名研究参与者(包括学生、住院医师和专家)分别使用2D全高清和3D模式进行骨盆训练仪学习训练,对比各组的操作时间和成功率,结果显示3D系统使用组的工作速度有更大提高,可视性更好,并且内镜操作的效果更好,而与手术经验无关;与2D模式相比,学生在3D模式下的学习速度均有提高,并且犯错误的次数明显更少,住院医师在时间和成功率上均有进步,专家则在更具挑战性、更难的任务中有了显著提高。

四、软式内镜与腹腔镜的差别

软式内镜与腹腔镜的诊疗统称为内镜手术,有很多共同特点,都是术者在内镜屏幕图像的监视下进行手术操作。但二者又有很多不同点。第一,软式内镜集照明、成像、器械输送、手术操作于一体,相对于腹腔镜而言,软式内镜结构、功能更加集成化和更加复杂化。第二,两者的操作方式不同,腹腔镜主要通过杠杆原理进行手术操作,可多器械配合,而软式内镜的镜身较软,力学支点复杂,使得操作更加复杂、变量更多、术者学习曲线更长。第三,腹腔镜的摄像头即互补金属氧化物半导体存储器(complementary metal oxide semiconductor, CMOS)设置在腹腔镜后端的手柄中,腹腔镜镜身前端的镜头采集的图像通过一组柱状透镜传输到手柄中的CMOS上成像。3D软式内镜中CMOS设置在镜身前端的镜头后面,设计时不仅需要考虑容纳布置左右2个镜头组,而且在有限的空间中要增加更多的管线,还要考虑蛇骨弯曲时的操控手感、弯曲半径等问题,设计制作更加困难[13]。

总体而言,目前硬式腔镜的新技术应用和发展进步快于软式内镜,软式内镜在很多方面要跟随学习硬式腔镜,借鉴其发展经验和教训,来促进软式内镜的发展。

五、3D软式消化内镜的研究现状

虽然3D腹腔镜的优势和应用价值还存在较多争论,但是已有多家3D腹腔镜成熟商品面市,也在逐步推广应用。但是,到目前为止3D软式消化内镜商业化尚没有成熟,也没有随机对照研究。

(一)3D软式消化内镜的设备研发

目前已有部分消化内镜专家认识到3D技术的优势和价值,着手研究3D技术在消化领域的应用。有少量的3D软式消化内镜的研究均使用日本奥林巴斯公司新开发的3D软式消化内镜原型机GIF-Y0080。该原型机使用EVIS EXERA Ⅲ视频系统中心(CV-190)、3D可视化单元(3DV-190)和EVIS EXERA Ⅲ氙气光源(CLV-190),显示器采用3D医学显示屏(LMD-3251MT,日本索尼)。其图像是通过2个独立镜头获得,并各自将电信号发送到2个独立视频处理器,每个视频处理器将电信号转换为视频信号,类似于常规内镜的工作方式,然后再将视频信号发送到3D视频处理器,并合成为3D图像。最后,使用3D监视器和医师佩戴3D眼镜实现立体感。通过按钮可以将2D模式切换到3D模式,或将3D模式切换回2D模式[14]。迄今为止该款

产品未在中国上市。目前国内内镜厂商也在进行3D消化内镜的研发(图1、2),2026年初国产3D内镜已成功上市,部分医院已经应用于临床。



图1　国产澳华UGD-3D400T胃镜镜头



图2　国产美力谱裸眼3D胃镜镜头

(二)3D软式消化内镜的优势研究

3D内镜的大部分研究为动物实验或体外模拟研究。Nomura等[15]通过体外模型评估了3D内镜的操作准确性。作者设计了3D操作模型:在上下两块板中间连接20根前后排列的细线,应用3D内镜准确观察和勾住目标细线来评估操作的准确性,结果显示3D内镜的手术准确性均显著高于2D内镜(88.5%比61.3%,P<0.01),认为3D内镜检查可通过深度信息实现准确手术,并有助于空间识别。Nomura等[16]比较了使用3D内镜和2D内镜进行离体动物的内镜黏膜下剥离术(endoscopic submucosal dissection,ESD),以评估3D内镜的实用性。结果显示3D内镜的ESD手术时间比2D内镜明显缩短,原因是3D图像使专家和学员均能清楚判别出器械位置以及与肌层的距离,并精确运用器械,从而在减少损伤的同时实现手术时间缩短。但3D内镜诱发双眼视差产生的立体图像会引起眼睛反复调节,易导致视疲劳和头晕。这项研究也证实,尽管2D ESD也会造成一定程度的视疲劳,但3D ESD的视疲劳要比2D ESD严重得多。随着内镜医师习惯3D程序,视疲劳可能会减轻。3D图像的深度感知可能有助于快速和稳定进行ESD操作。Higuchi等[17]报道了6名内镜医师(3名专家和3名受训者)使用原型3D软式内镜,在2D或3D模式下对猪食管病变进行ESD,比较2D和3D视觉对食管ESD的影响。结果显示3D视觉改善了ESD的安全性,并可以减少技术错误,这表明在3D视觉下进行ESD临床试验具备安全性和可行性。香港中文大学威尔士亲王医院的赵伟仁教授报道了10例3D内镜的临床应用研究,包括4例胃、2例十二指肠、4例大肠黏膜上皮内瘤变[18]。研究认为3D技术下的ESD是可行的,没有发生并发症。一例失败患者是吻合口处胃癌ESD。参与首次3D ESD人体应用的专家并没有感到难以忍受的不良反应,但手术团队成员中有人出现视疲劳或头痛。结果提示3D ESD不一定在所有情况都好于2D,但在某些更复杂更困难的任务情况下(例如十二指肠或远端结肠ESD),它能达到与2D相似的安全性和有效性,但显然更具有优势。

Yokoyama等[19]设计了一套搭载3D摄像头和2套多自由度装置的内镜平台,设置4项体外实验任务,并对15名志愿者开展交叉研究,对比2D与3D成像条件下的操作差异。每项任务均从操作时间、操作精度等维度,对操作表现进行客观评估,同时采用综合视觉模拟评分量表开展问卷调查。结果显示在模拟黏膜瓣抓取、标记的任务中,使用3D成像技术可显著提升多自由度装置操作的速度与精度(P<0.01),但在模拟剥离操作的任务中,未观察到显著差异。此外,3D摄像头虽提升了辨识度与可操作性,但也导致视疲劳加重(P<0.01)。研究认为3D视觉可提升特定多自由度ESD模拟任务的技术精度,并主观改善操作体验,但会增加视疲劳。

(三)3D软式消化内镜学习曲线的研究

对于软式消化内镜,是否因图像更加接近人眼自然成像而使学习曲线更短呢?Omori等[20]使用软式3D内镜模拟缝合创面,参与研究者包括2名内镜专家和2名初学者,研究结果显示3D内镜对新手可能更有用。对内镜操作的重复培训可提高内镜水平,这也适用于包括软式内镜缝合等在内的困难和复杂技术。在这项研究中,通过使用3D技术,即使内镜初学者也可以在与内镜专家相当的时间内完成内镜缝合。提示3D技术可以较快促进内镜技术的发展。目前软式3D内镜学习曲线的研究样本量小、缺乏随机对照研究支持,结论尚属初步。

六、3D内镜存在的问题及改进方向

3D内镜提供了良好的空间位置辨别和手术视野深度感知能力,使内镜医师能准确识别关键的解剖标志,确定器官位置和手术区域深度,提高了手术的准确性,减少了技术错误,并缩短了手术时间。同时3D图像提供的深度知觉和空间识别能力,使学员的学习难度大大降低,也给内镜医师提供了更强的安全感和信心。将3D技术应用到软式消化内镜,也将提高消化内镜的诊疗准确性和安全性。

目前3D技术还存在较多问题和难题,尚不完全成熟。首先,在3D光学原理和设计方面,3D腹

腔镜存在着图像非线性畸变和立体影像会聚点出屏的问题。其次，现有的3D系统大都需要佩戴眼镜，给术者带来不便和不适感，同时最佳视角的问题也影响了手术团队其他人员的观察，也不利于初学者教学。再次，使用3D系统会引起术者观看3D内容一段时间后出现视疲劳、眩晕和头痛等生理不适。到目前为止，几乎所有的3D显示器都是基于平面屏幕的立体显示技术产品。这种显示技术存在的核心问题之一是眼睛的焦点平面与物体的立体图像聚点不重合不一致。眼睛观看3D显示器获得的立体影像效果与人眼经验和习惯不同，导致双眼不停地进行反复调节，容易出现眼睛和大脑的疲劳及不适感[21]。3D内镜的发展需要解决目前存在的问题，使3D视野下的内镜诊疗更精准、更实用。

七、消化内镜技术进步和应用领域扩展对内镜技术提出了更高要求

消化内镜操作技术的飞速发展，对消化内镜平台带来了更多的要求。现有消化内镜是2D图像，缺乏空间位置辨别和手术视野深度感知能力，对以往的息肉摘除等简单操作影响不大，但对血管观察和止血、黏膜下病变与周围器官剥离、NOTES术中定位和导航、器官分离缝合等复杂精细操作显得越来越力不从心，亟须改进。

2018年李兆申院士与笔者共同提出了新NOTES概念[22]，将各类内镜手术作了统一分类。传统NOTES定义为内镜从消化道管壁穿出进行壁外操作，达到微创诊疗的目的。NOTES的本质是内镜沿消化、泌尿生殖道等人体自然腔道尽量靠近病变，在离病变最近的位置切开正常组织到达病灶，因此其损伤的正常组织最少，建立的手术通路也最短。比如早期癌ESD，内镜直接可以接触到病变，手术通路为零。所以NOTES的核心是手术通路最短。为达到最短的手术通路，则必须使用内镜（包括软镜和硬镜）。因此，我们提出所有“使用内镜”“手术通路最短”的手术均可称之为NOTES，因包含了传统NOTES之外的很多内镜手术，故称之为新NOTES或广义NOTES。按照新NOTES定义，传统的ESD、ERCP、EUS等都可归为新NOTES。

受单手操作和2D视野的内镜平台限制，现在的消化内镜还只能治疗“小”的病灶，虽然可以进行“小”器官如胆囊、阑尾的切除[23-25]，但还不能胜任较大器官的切除和重建。消化内镜学的发展方向应该是秉承NOTES建立最短手术通路、超级微创的理念，完善可双手配合的内镜平台，配合3D视野，完成术野暴露、切开、止血、缝合等基础技术，逐步发展为可靠成熟的独立学科。

随着新NOTES的发展，内镜诊疗领域更广，对内镜技术要求更高，促使内镜平台的不断发展和进步，3D技术的空间位置辨别和手术视野深度感知能力将是内镜技术快速发展的重要支撑。3D技术在软式消化内镜中优势体现在哪些方面？在哪些领域和应用场景中有价值？怎样利用优势？如何把优势最大化？作为新一代的内镜诊疗平台的3D软式消化内镜，面临的这些问题都需要进行系统科学地研究。

利益冲突　作者声明不存在利益冲突

参 考 文 献

[1] Wang Z, Liang J, Chen J, et al. Three-dimensional (3D) laparoscopy versus two-dimensional (2D) laparoscopy: a single-surgeon prospective randomized comparative study[J]. Asian Pac J Cancer Prev, 2020, 21(10): 2883-2887. DOI: 10.31557/APJCP.2020.21.10.2883.

[2] Pantalos G, Patsouras D, Spartalis E, et al. Three-dimensional versus two-dimensional laparoscopic surgery for colorectal cancer: systematic review and meta-analysis[J]. In Vivo, 2020, 34(1):11-21. DOI: 10.21873/invivo.11740.

[3] Koppatz HE, Harju JI, Sirén JE, et al. Three-dimensional versus two-dimensional high-definition laparoscopy in transabdominal preperitoneal inguinal hernia repair: a prospective randomized controlled study[J]. Surg Endosc, 2020,34(11):4857-4865. DOI: 10.1007/s00464-019-07266-z.

[4] Mclntire JP, Havig PR, Geiselman EE. Stereoscopic 3D displays and human performance: a comprehensive review[J]. Displays, 2014, 35(1):18-26. DOI:10.1016/j.displa.2013.10.004.

[5] Buia A, Stockhausen F, Filmann N, et al. 2D vs. 3D imaging in laparoscopic surgery-results of a prospective randomized trial[J]. Langenbecks Arch Surg, 2017, 402(8): 1241-1253. DOI: 10.1007/s00423-017-1629-y.

[6] Bo X, Wang J, Nan L, et al. 3D laparoscopic common bile duct exploration versus 2D in choledocholithiasis patients: a propensity score analysis[J]. Surg Endosc, 2021, 35(2): 819-825. DOI: 10.1007/s00464-020-07453-3.

[7] Cicione A, Autorino R, Laguna MP, et al. Three-dimensional technology facilitates surgical performance of novice laparoscopy surgeons: a quantitative assessment on a porcine kidney model[J]. Urology, 2015, 85(6): 1252-1256. DOI: 10.1016/j.urology.2015.03.009.

[8] 中华医学会外科学分会腹腔镜与内镜外科学组. 3D腹腔镜手术技术专家共识(2015)[J]. 中国实用外科杂志,2015,35(9): 967-969. DOI: 10.7504/CJPS.ISSN1005-2208.2015.09.15.

[9] Sørensen SM, Savran MM, Konge L, et al. Three-dimensional versus two-dimensional vision in laparoscopy: a systematic review[J]. Surg Endosc, 2016, 30(1): 11-23. DOI: 10.1007/s00464-015-4189-7.

[10] Rodríguez-Hermosa JI, Ranea A, Delisau O, et al. Three-dimensional (3D) system versus two-dimensional (2D) system for laparoscopic resection of adrenal tumors: a case-control study[J]. Langenbecks Arch Surg, 2020, 405(8):

1163-1173. DOI: 10.1007/s00423-020-01950-8.

[11] Beattie KL, Hill A, Horswill MS, et al. Laparoscopic skills training: the effects of viewing mode (2D vs. 3D) on skill acquisition and transfer[J]. Surg Endosc, 2021, 35(8): 4332-4344. DOI: 10.1007/s00464-020-07923-8.

[12] Spille J, Wenners A, von Hehn U, et al. 2D versus 3D in laparoscopic surgery by beginners and experts: a randomized controlled trial on a pelvitrainer in objectively graded surgical steps[J]. J Surg Educ, 2017, 74(5): 867-877. DOI: 10.1016/j.jsurg.2017.01.011.

[13] Higuchi K, Kaise M, Noda H, et al. Three-dimensional flexible endoscopy enables more accurate endoscopic recognition and endoscopic submucosal dissection marking for superficial gastric neoplasia: a pilot study to compare two- and three-dimensional imaging[J]. Surg Endosc, 2021, 35(11): 6244-6250. DOI: 10.1007/s00464-020-08124-z.

[14] Goto O, Sasaki M, Akimoto T, et al. Endoscopic hand-suturing for defect closure after gastric endoscopic submucosal dissection: a pilot study in animals and in humans[J]. Endoscopy, 2017, 49(8): 792-797. DOI: 10.1055/s-0043-110668.

[15] Nomura K, Kikuchi D, Kaise M, et al. Operational effectiveness of three-dimensional flexible endoscopy: an ex vivo study using a new model[J]. Surg Endosc, 2019, 33(11): 3612-3615. DOI: 10.1007/s00464-018-06645-2.

[16] Nomura K, Kikuchi D, Kaise M, et al. Comparison of 3D endoscopy and conventional 2D endoscopy in gastric endoscopic submucosal dissection: an ex vivo animal study[J]. Surg Endosc, 2019, 33(12): 4164-4170. DOI: 10.1007/s00464-019-06726-w.

[17] Higuchi K, Goto O, Koizumi E, et al. Usefulness of the flexible traction method in gastric endoscopic submucosal dissection: an in-vivo animal study[J]. Surg Endosc, 2020, 34(12): 5632-5639. DOI: 10.1007/s00464-020-07850-8.

[18] Chiu P, Yip HC, Xia XF, et al. How I do it: flexible 3-D endoscope for endoscopic submucosal dissection[J]. Dig Endosc, 2019,31(3):323-328. DOI: 10.1111/den.13315.

[19] Yokoyama K, Nakadate R, Takao T, et al. Usefulness of three-dimensional imaging in a flexible endoscopic surgery platform with multi-degrees-of-freedom articulating devices[J]. Asian J Endosc Surg, 2024, 17(1): e13275. DOI: 10.1111/ases.13275.

[20] Omori J, Goto O, Higuchi K, et al. Three-dimensional flexible endoscopy can facilitate efficient and reliable endoscopic hand suturing: an ex-vivo study[J]. Clin Endosc, 2020, 53(3): 334-338. DOI: 10.5946/ce.2019.207.

[21] Fergo C, Burcharth J, Pommergaard HC, et al. Three-dimensional laparoscopy vs 2-dimensional laparoscopy with high-definition technology for abdominal surgery: a systematic review[J]. Am J Surg, 2017, 213(1): 159-170. DOI: 10.1016/j.amjsurg.2016.07.030.

[22] 王东, 李兆申. NOTES新发展与新NOTES[J]. 中华消化内镜杂志, 2018, 35(9): 609-610. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-5232.2018.09.001.

[23] 王东, 郑永志, 吴仁培, 等. 经自然腔道内镜胆囊切除术的实验研究[J]. 中华消化内镜杂志,2009,26(9):480-484. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-5232.2009.09.014.

[24] 陈天音, 蔡明琰, 陈巍峰, 等. 内镜下经盲肠阑尾切除术[J]. 中华胃肠外科杂志,2018,21(8):940-941. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0274.2018.08.017.

[25] 黄勤, 刘冰熔, 方从诚, 等. 内镜下阑尾切除术一例[J]. 中华消化内镜杂志, 2018, 35(6): 444-445. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-5232.2018.06.020.