

华西智能化内镜技能训练及考核系统的构建*

廖虎^{1,2}, 蒲丹³, 陈楠¹, 卢天健⁴, 宁康⁴, 韩杨⁵, 梅建东^{1,2}, 刘成武^{1,2}, 刘伦旭^{1,2,△}

1. 四川大学华西医院 胸外科(成都 610041); 2. 中国西部肺癌早期诊断与综合治疗协同创新中心(成都 610041);

3. 四川大学华西医院 临床技能中心(成都 610041); 4. 四川大学华西临床医学院(成都 610041);

5. 电子科技大学 机械与电气工程学院(成都 610041)

【摘要】 目的 研究和开发一种智能化的内镜技能训练及考核系统。方法 通过全面系统地从事视野定位、抓持、传递、裁剪、缝合打结共 5 个基本技能模块进行设计,运用图像识别、精细化感知等技术,使考量指标客观量化,并能自动采集量化数据,综合各方面量化指标进行智能评分。结果 视野定位、抓持、传递、裁剪和缝合五个模块的系统准确识别率分别为 90%、95%、99%、90%、89%,系统反应与处理时间分别为 8~10 s、<1 s、<1 s、1~3 s、<1 s。结论 华西智能化内镜训练及考核系统初步实现了内镜技能的客观标准化、自动化和智能化评估,可为外科医师内镜技能训练、技术准入考试提供了可靠的工具。

【关键词】 内镜 技能 训练 考核 客观标准 智能

The Development of Huaxi Intelligent Endoscopic Skill Training and Assessment System LIAO Hu^{1,2}, PU Dan³, CHEN Nan¹, LU Tian-jian⁴, NING Kang⁴, HAN Yang⁵, MEI Jian-dong^{1,2}, LIU Cheng-wu^{1,2}, LIU Lun-xu^{1,2,△}. 1. Department of Thoracic Surgery, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. Western China Collaborative Innovation Center for Early Diagnosis and Multidisciplinary Therapy of Lung Cancer, Chengdu 610041, China; 3. Clinical Training Center, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 4. West China School of Medicine, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 5. College of Mechanical and Electrical Engineering of the University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610041, China

△ Corresponding author, E-mail: lunxu_liu@aliyun.com

【Abstract】 Objective To develop a novel objective standardized endoscopic skill training and assessment system based on artificial intelligence technology. **Methods** By designing five basic skill parts of endoscopic operation including vision location, clamping, delivering, shearing and suturing, we achieved objective standardized indexes which gained automatically with image recognition and refined perception. **Results** With Huaxi intelligent endoscopic skill training system, the accurate rates of vision location, clamping, delivering, shearing and suturing were 90%, 95%, 99%, 90%, and 89%, respectively. The response and performance time were 8-10 s, <1 s, <1 s, 1-3 s, and <1 s, respectively. **Conclusion** Huaxi intelligent endoscopic skill training and assessment system has preliminarily possessed the capability to assess the endoscopic skills of surgeons objectively.

【Key words】 Endoscopic Skill Training Assessment Objective standardized Intelligent

微创是 21 世纪外科的发展方向,以腹腔镜、胸腔镜为代表的微创腔镜手术已经逐渐成为各科主流的手术方式。腔镜技能是所有外科医生都必须掌握的基本技能,腔镜技能培训是外科住院医师培训的重要组成部分。近年来,随着模拟技术的兴起,大量腔镜技能培训设备与培训方法不断涌现,并广泛应用,对外科住院医师的腔镜技能提高起到了极大的

促进作用。然而目前国际上对腔镜技能考核尚停留在专家对学员的操作进行肉眼观察及主观评价的阶段,缺乏客观评价标准与手段^[1-3]。为了促进评估手段和标准从主观方式向客观方式迁延,使其规范化、可量化,并提高可控性和工作效率,我们通过图像识别、精细化感知等技术,研究和开发了一种智能化腔镜技能训练及考核系统,现报道如下。

1 材料与方法

1.1 研究思路

* 四川省科技厅应用基础项目(No. 2018JY0593)资助

△ 通信作者, E-mail: lunxu_liu@aliyun.com

腔镜基本技能是进行所有腔镜外科手术操作的基础,腔镜基本技能训练主要是帮助学员适应腔镜手术操作中触感的减弱,杠杆效应以及三维视野变成二维视野所带来的深度感知的改变^[4]。在进行腔镜基本技能训练时,学员首先应该掌握腔镜视野定位的能力,在腔镜下有效地找到需要操作的部位;在此基础上再进行手术操作训练,手术操作训练从所有腔镜下都通用的基本操作开始:即抓持、传递、裁剪、缝合打结共四大基本操作。腔镜手术中的绝大部分操作都是这四大基本操作的组合。因此,我们建立的腔镜基本技能训练及考核系统涵盖视野定位、抓持、传递、裁剪、缝合打结共 5 个模块,达到全面、系统地训练和考核医师的腔镜基本技能。

1.2 设备及系统配置

研究团队自行设计了本套硬件系统、算法及操作软件。图像采集使用 200 万像素摄像头,型号 HD900,深圳林柏视科技有限公司;使用红外对射传感器进行计数,型号 FC-33,深圳 telesky 公司;采用使用单片机进行信号处理,型号 STM32,意法半导体公司;软件安装环境为 Windows 7 SP1,32 位,美国微软公司;图像识别算法基于 JAVA 环境开发,美国甲骨文公司。

1.3 模块设置

1.3.1 腔镜视野定位模块 视野定位是所有腔镜手术的基础,扶镜手操控腔镜快速寻找手术操作部位,通过调整腔镜的角度和焦距使操作部位的图像清晰、正立地显示在屏幕中央。视野定位主要考验学员对腔镜 2D 视野下的空间定位能力,因此在训练及考核时要综合考量学员的寻找时间和图像质量。我们在自行设计的腔镜手术模拟培训箱内的不同位置设置了多个英文字母作为视野定位考核的标识,考试时,考生操作腔镜,在模拟箱中寻找字母标识,并调整腔镜的角度及焦距使字母清晰、正立地位于视野中央,操控腔镜上的按键,固定视野并存储为图片,继续寻找下一个字母标识直到完成考试。系统记录寻找时间及采集的每一张图片,通过图像处理算法,系统将对采集的每一张图片进行识别、匹配,根据其于标准术野标识的匹配度(包括位置、清晰度、倾斜度等),结合系统自动记录的学员完成操作的时间,根据设定的系数进行得出总的考核得分(图 1)。

具体算法如下:首先按照需要拍摄一组标准化腔镜下字母的照片作为参考的依据,对用胸腔镜拍摄的原始图片进行二值化、滤波等处理,得到一组按

照图片对比度的二值化图片库,每个字母对应一张图片。再将胸腔模拟系统内不同角度位置处采集到的图片以上述同样的方式进行处理,得到一张包含一个字母的图片。将图片进行投影运算,再从 -90° 到 90° 按照一定步进旋转,将每个旋转角度的值与上述标准图片库中每一张图片相关运算,得到不同角度的相关值,选出相关值中最大的标准字母以及角度,作为该图片的匹配质量的输出值,通常情况相关值为 0 到 1 之间的一个小数,当最大相关值 <0.5 时,表示为图片不能识别,当匹配的图片与实际字母不相符合时,表示为识别错误。重复上述过程直到处理完所有的图片。

1.3.2 腔镜基本操模块

1.3.2.1 抓持模块 抓持是腔镜下最基本、最常用的操作,其主要步骤是术者使用腔镜抓持设备,夹持手术切除或解剖的组织或其它物品。抓持主要考验学员在腔镜视野下的手眼协调能力,因此在训练及考核时要考量学员单位时间内完成有效抓持的次数。本系统在模拟培训箱内放置一个装满不锈钢金属小球的器皿和一个小球(本系统专利,参数不予公开)自动检测装置,在考核时,要求学员在设定的时间内,使用抓持钳将器皿中的金属小球夹持到检测装置内,检测装置记录学员在考核时间内完成抓持小球的数量,并以此为依据进行判分。检测装置是一种红外线计数自动检测电路,由对射式红外线传感器、计数显示系统及稳压电源 3 部分组成,在中间如有物件通过就遮挡一下光线,就输出一个脉冲信号触发一下计数电路,实现个数的记录(图 2)。

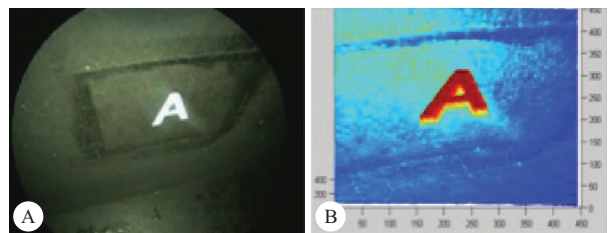


图 1 基于图像识别技术的视野定位示意图

Fig 1 Vision location by image recognition

A: Actual visual image; B: Image after being disposed

1.3.2.2 传递模块 传递是腔镜下常用的操作,其主要步骤是术者一手操作腔镜抓持设备夹持手术切除的组织或其它物品,在镜下传递给另一手操作的抓持设备,传递主要考验学员在腔镜视野下的双手协调能力,因此在训练及考核时要考量学员单位时

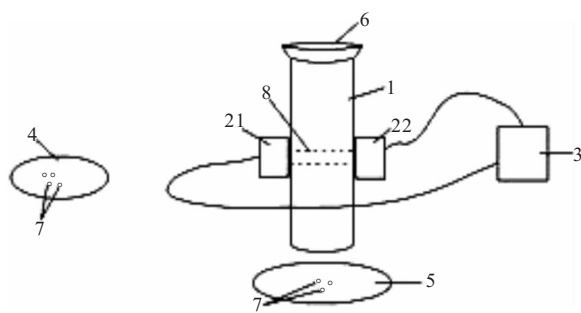


图 2 抓持技能考核装置示意图

Fig 2 Device for grasping skill assessment

1: Pipe; 2: Infrared ray detection device (21: Signal emitter; 22: Signal receptor); 3: Controller; 4: Container one; 5: Container two; 6: Plastic ball plate; 7: Plastic ball

间内完成有效传递的次数。我们在模拟箱的左侧放置两种不同颜色的金属套圈各若干个,在模拟箱的右侧设置相应根对应颜色的立柱。在考核时,学员

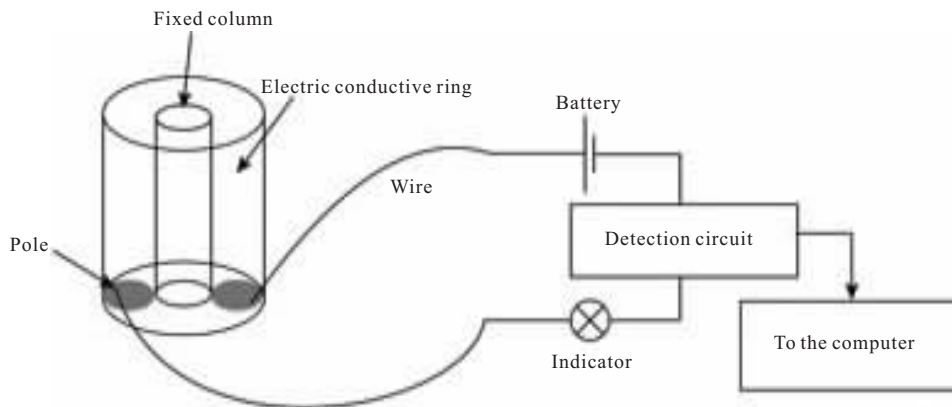


图 3 传递技能训练考核示意图

Fig 3 Device for delivery skill assessment

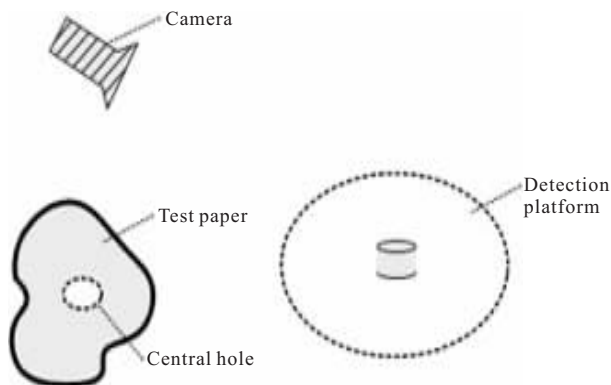


图 4 基于图像识别技术的精细裁剪考核示意图

Fig 4 Shearing skill assessment by image recognition

1.3.2.4 缝合打结模块 缝合打结是腹腔镜下难度最高的基本操作之一,本操作主要考验学员在腹腔镜

在镜下左手操作抓持钳,夹持金属套圈传递给右手操作的抓持设备,右手接住金属套圈后,将其套在对应颜色的立柱上。成功完成套圈将接通电路并获得信号,系统自动计数在规定时间内完成正确套圈的个数进行判分(图 3)。

1.3.2.3 剪切模块 腹腔镜手术时,常需要使用腹腔镜剪刀进行剪切操作,本操作主要考验学员在腹腔镜视野下操作腹腔镜剪进行精确剪切的能力,因此在训练及考核时要综合考量学员完成剪切的时间和剪切的质量。我们在模拟箱内分别设置了一个操作区和一个自动评估台(图 4 中的椭圆虚线圈起的部分),考核时,学员操作腹腔镜剪沿着预先标记的线条剪切考试纸张,完成操作后,学员将剪切的图形放置到自动评估台上,通过图片帧差分、滤波、边缘检测等图像处理算法,系统自动对剪切的质量进行评估,同时系统自动记录学员完成剪切操作的时间。结合剪切的质量和完成操作的时间进行判分(图 4)。

视野下进行步骤相对繁琐的精细操作的能力,因此在训练及考核时要综合考量学员完成缝合打结的时间和数量。本系统主要由考核专用模拟缝合切口和自动评估装置两部分组成。考核时,学员在镜下使用腹腔镜针持及带针线缝合模拟切口并在镜下打结,系统自动判断打结是否牢靠。如线结松开,将其识别为无效缝合,系统自动记录规定时间内完成有效缝合的数量,并以此为依据自动进行判分。系统判断的基本原理如下:将电路设计到缝合的位置当中,当完全缝合时,导电金属片紧密接触,整个电路导通,此时通过检测电路判断电路为导通状态,并且指示灯显示发光状态,并在计算机上记录此时的状态和缝合所需时间;当没有缝合时或者没有完全紧密缝合时,电路逻辑判断为断开状态,指示灯熄灭,表示此时的缝合没有达到要求(图 5)。

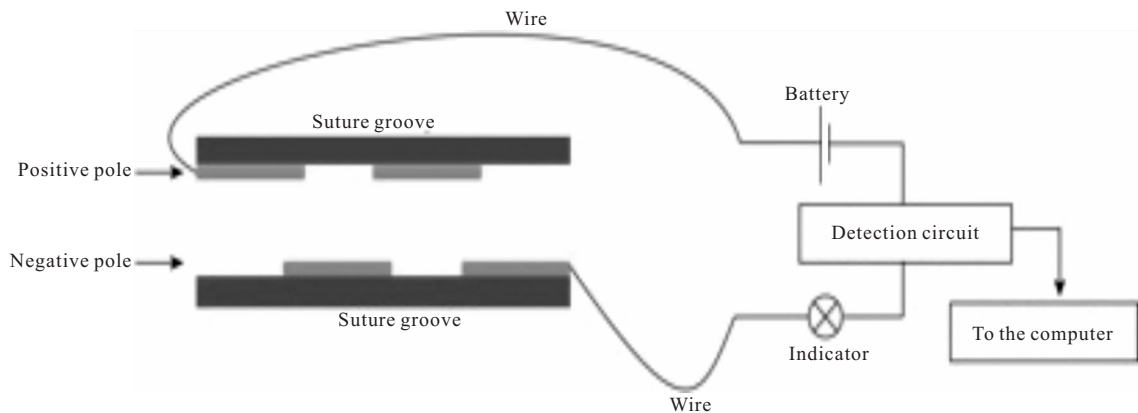


图 5 腹腔镜缝合打结考核示意图

Fig 5 Device for suturing skill assessment

2 结果

使用本系统的硬件、软件及算法进行腹腔镜基本技能考核,视野定位模块图像识别准确率为 90%,计算机图像算法处理时间 8~10 s(根据视野定位完成的质量不同有所差异)。抓持模块小球检测率 95%(检测 1 000 次,正确 950 次),计算机处理时间低于 1 s。传递模块电路连通和信号正确率 99%(检测 1 000 次,正确 990 次),反应时间低于 1 s。剪切模块图像识别准确率达 90%,计算机图像算法处理时间为 1~3 s。缝合打结模块电路连接及判断准确率 89%(检测 100 次,正确 89 次),计算机响应时间低于 1 s。

3 讨论

一直以来,手术技能培训与考核都是外科专业教育的中心议题^[5-6]。模拟技术用于手术技能培训的效果确切、成本低廉且不会对患者造成不必要的伤害,因而在全球各大医院及医学教育培训机构得到了广泛的应用^[7-8]。外科住院医师应首先通过模拟培训,掌握腹腔镜手术基本技能并通过认证考试后再进入手术室,在外科医师的指导下参加手术,进一步学习和掌握更高难度的腹腔镜手术技术。这种模式不但能提高住院医师腹腔镜技能培训的效率,还能最大限度地保证患者的安全^[9]。国内外各大协会、培训机构及商业公司设计了多种腹腔镜技能培训系统,并通过李斯特量表、手术操作动作分析、虚拟现实模拟器、录像等方法对腹腔镜手术技能进行考核^[10-14]。目前,国际上影响最大、应用最广泛的腹腔镜技能考核系统是美国胃肠内镜外科医师学会(SAGES)开发的腹腔镜外科学基础(fundamental of

laparoscopic surgery, FLS)考核系统。该系统分为理论考试和操作技能评估两个部分,其中,操作技能评估分为短桩转移、精确切割、套扎、体外打结、体内打结 5 个项目,所有项目由经过培训的 FLS 考官根据预先设定的标准从时间和错误两个方面,用肉眼观察学员操作进行打分^[4,15]。然而该系统依赖考官对学员的操作进行人为评价,不同考官对标准掌握不一致,考官个人因素对考生成绩影响过大,考核结果主观性大。

本系统是首个基于人工智能技术的腹腔镜技能培训及评估系统,其主要特点是客观、自动、智能。“客观”,是指系统将主观的手术技能评估转化为的客观的、量化的指标。对于难度技术较低的操作如抓持技能,使用操作的熟练程度(计数设定时间内抓持小球的数量)来进行评价;对于技术难度较高的操作如视野定位、夹持-传递、剪切和缝合打结,则从操作的熟练程度和操作的质量两个维度来进行综合评价。“自动”,是指全部技能考核评分均由系统自动完成,而不需要人工参与,不但大大降低了考核的成本还能有效地避免人为因素对考核成绩的影响。“智能”,是指系统采用智能算法对视野定位、剪切等操作的质量进行智能评估。在培训及考核过程中,系统将自动记录学员所有的操作步骤及参数,并将数据传输到云端数据库中,进而构建一个基于大数据,并能自我更新的评价标准,在训练及考核时,系统自动将学员的成绩同该标准进行比对,并返回学员成绩在数据库中的分布,并为学员制定进一步的训练计划。能够有效地节约培训的时间,提高训练的效果。

本系统将腹腔镜视野定位作为腹腔镜基本技能纳入考核,我们认为腹腔镜手术的难度主要在于镜下二维

视野与开放三维视野存在较大区别,学员需要首先习惯并掌握腹腔镜下视野定位能力,才能进行腹腔镜下手术操作。2016年,欧洲妇科腹腔镜协会在其妇科腹腔镜外科教育与评估项目(Gynaecological Endoscopic Surgical Education and Assessment programme, GESEA)中也提到对住院医师腹腔镜视野定位能力进行考核,他们通过记录学员寻找腹腔镜手术模拟箱内设定术野标识的时间来对学员腹腔镜视野定位能力进行考核^[9]。然而腹腔镜下的视野定位,不只要“看到”,还要“看好”,不恰当的操作,屏幕上看到的组织或结构不在视野中央,图像歪斜甚至倒立,严重影响术者的操作,因此单纯使用定位的时间作为评价指标仍不够全面,并不能真正反映学员视野定位的能力。本系统将定位的时间与定位的质量结合起来,对学员视野定位能力进行综合评估,其结果更加客观、可靠。

本系统视野定位、抓持、传递、裁剪和缝合五个模块的系统准确识别率分别为90%、95%、99%、90%、89%,系统反应与处理时间分别为8~10 s、<1 s、<1 s、1~3 s和<1 s。由于此系统为国际首创的设备,首次采用智能评分,国外没有类似的产品(FLS、GESEA均采用人工评分,都没有可比性),对于本研究结果的数据,无法进行同类参数比较,待此设备投入实际使用以后,我们将对实际数据进行收集、讨论,以利于该系统的升级和完善。

本系统将主观的腹腔镜技能考核转化为客观的评价指标,实现了腹腔镜技能客观、自动、智能考核,具有操作简单、可重复性高等特点。为外科住院医师腹腔镜技术准入及资格考试提供了可靠的工具。但尚需对系统的信度及效度进行进一步的研究,这将是我们的下一步的工作方向。

参 考 文 献

- [1] PELLEGRINI CA. Surgical education in the United States: navigating the white waters. *Ann Surg*, 2006, 244(3): 335-342.
- [2] DEBAS HT, BASS BL, BRENNAN MF, *et al.* American Surgical Association Blue Ribbon Committee Report on surgical education; 2004. *Ann Surg*, 2005, 241(1): 1-8.
- [3] SZASZ P, LOURIDAS M, HARRIS KA, *et al.* Assessing technical competence in surgical trainees: a systematic Review. *Ann Surg*, 2015, 261(6): 1046-1055.
- [4] ZHANG LP, FINLAYSON SR, ALLAN O, *et al.* 腹腔镜外科学基础认证项目简介及其对中国外科医师的意义. *中华消化外科杂志*, 2014, 13(9): 671-673.
- [5] VAN HOVE PD, TUIJTHOF GJ, VERDAASDONK EG, *et al.* Objective assessment of technical surgical skills. *Br J Surg*, 2010, 97(7): 972-987.
- [6] DARZI A, SMITH S, TAFFINDER N. Assessing operative skill. Needs to become more objective. *BMJ*, 1999, 318(7188): 887-888.
- [7] DEHABADI M, FERNANDO B, BERLINGIERI P. The use of simulation in the acquisition of laparoscopic suturing skills. *Int J Surg*, 2014, 12(4): 258-268.
- [8] GOLDENBERG MG, GARBENS A, SZASZ P, *et al.* Systematic review to establish absolute standards for technical performance in surgery. *Br J Surg*, 2017, 104(1): 13-21.
- [9] CAMPO R, WATTIEZ A, TANOS V, *et al.* Gynaecological endoscopic surgical education and assessment. A diploma programme in gynaecological endoscopic surgery. *Gynecol Surg*, 2016, 13: 133-137 [2018-04-12]. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4949291/pdf/10397_2016_Article_957.pdf. doi:10.1007/s10397-016-0957-1.
- [10] EUBANKS TR, CLEMENTS RH, POHL D, *et al.* An objective scoring system for laparoscopic cholecystectomy. *J Am Coll Surg*, 1999, 189(6): 566-574.
- [11] LARSON JL, WILLIAMS RG, KETCHUM J, *et al.* Feasibility, reliability and validity of an operative performance rating system for evaluating surgery residents. *Surgery*, 2005, 138(4): 640-647.
- [12] SARKER SK, CHANG A, VINCENT C. Technical and technological skills assessment in laparoscopic surgery. *JLS*, 2006, 10(3): 284-292.
- [13] SIDHU RS, VIKIS E, CHEIFETZ R, *et al.* Self-assessment during a 2-day laparoscopic colectomy course: can surgeons judge how well they are learning new skills? *Am J Surg*, 2006, 191(5): 677-681.
- [14] BRAMSON R, SADOSKI M, SANDERS CW, *et al.* A reliable and valid instrument to assess competency in basic surgical skills in second-year medical students. *South Med J*, 2007, 100(10): 985-990.
- [15] PETERS JH, FRIED GM, SWANSTROM LL, *et al.* Development and validation of a comprehensive program of education and assessment of the basic fundamentals of laparoscopic surgery. *Surgery*, 2004, 135(1): 21-27.

(2018-05-18 收稿, 2018-08-09 修回)

编辑 吕 熙