

多用途腹腔镜手术训练器的设计

郑 晨, 宋成利*

上海理工大学医疗器械与食品学院, 教育部微创医疗器械工程研究中心, 上海 200093

[摘要] **目的** 设计一种帮助医生掌握腹腔镜手术技能的训练器。**方法** 以人因工程原则为基础, 测量30个成年人腹部表面的尺寸, 并结合气腹条件下人体腹壁的扩张程度, 确定训练器的尺寸和轮廓。依照手术中最佳的操作角、方位角和仰角的度数确定穿刺孔的位置。采用小型摄像头和LED灯带模拟腹腔镜摄像头和光源。依照McGill腹腔镜技能训练的标准和腹腔镜手术基本技能设计训练模块。最后, 应用Autodesk Inventor软件完成三维设计与装配, 应用数控技术和快速成型技术完成样机的加工制造。**结果** 设计了一种多用途腹腔镜手术训练器, 其尺寸为300 mm×350 mm×150 mm, 主要由箱体、底板、摄像系统、抽屉系统、灯带以及7个任务模块组成。**结论** 本研究设计的训练器符合人因工程学的设计, 使用方便; 既能提供传统腹腔镜手术训练, 也适用于单孔手术练习。

[关键词] 腹腔镜检查; 训练器; 人因工程; 医疗器械

[中图分类号] R 608 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2013)06-0666-05

Design of a multi-purpose training box for laparoscopic surgery

ZHENG Chen, SONG Cheng-li*

School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Research Center for Mini-invasive Medical Instrument of Ministry of Education, Shanghai 200093, China

[Abstract] **Objective** To design a training box for laparoscopic skills. **Methods** Based on ergonomics, the size and the contour of the training box were designed with the abdominal surface data of 30 adults and extension degree of the abdominal wall under pneumoperitoneum. Port location was designed considering the optimal manipulation angel, azimuth angle and elevation angle. A flexible camera system and LED light belts were used to simulate laparoscope and light source. Training tasks were designed according to the McGill Laparoscopic Simulation study and basic laparoscopic skills. Finally, the 3D design and assembling of the training box were achieved by Autodesk Inventor, and rapid prototyping and computerized numerical control technology were used to manufacture the prototype. **Results** A multi-purpose training box with seven training tasks for laparoscopic surgery was successfully designed, with a size of 300 mm×350 mm×150 mm. It was mainly composed of box, baseboard, camera system, drawer system, light belts, and seven training task modules. **Conclusion** The multi-purpose training box in this study is ergonomically designed and is easy to use. It can be used for training the skills of traditional laparoscopic procedures and single port surgery.

[Key words] laparoscopy; training box; ergonomics; medical instruments

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2013, 34(6): 666-670]

1987年法国里昂医生Mouret完成了世界上第一例电视腹腔镜胆囊切除术。此后, 经过二十多年的发展, 腹腔镜手术的范围囊括几乎所有脏器, 这种手术具有创伤小、术后疼痛轻、住院时间短、美容效果好等特点。然而, 腹腔镜手术的操作方式与传统开腹手术

不同, 医生必须一边看着显示器的二维图像, 一边克服“镜像效应”和缺乏触觉反馈的困难完成手术, 对医生的技术要求更高^[1-2]。特别是近几年单孔腹腔镜手术兴起, 所有的器械都通过脐部一个切口通道进入腹腔进行操作, 更增加了手术的难度^[3]。因此, 大量的

[收稿日期] 2013-01-05 **[接受日期]** 2013-03-08

[基金项目] 国家自然科学基金(51175345), 上海市浦江人才计划项目(10PJ1407800), 上海市研究生创新基金项目(JWCXSL1102). Supported by National Natural Science Foundation of China(51175345), Shanghai Pujiang Talent Program(10PJ1407800), and Shanghai Graduate Student Innovation Fund(JWCXSL1102).

[作者简介] 郑 晨, 硕士生. E-mail: klzheng@126.com

* 通信作者(Corresponding author). Tel: 021-55572107, E-mail: csong@usst.edu.cn

术前训练就显得尤为重要,以帮助医生掌握良好的空间定位技能、手眼协调技能和手术操作技能。

腹腔镜手术训练器是术前培训必不可少的工具。目前,市场上可用的腹腔镜手术训练器结构复杂,价格昂贵,而便宜的训练器不便携,最重要的是缺少符合人因工程原则的设计,手术技能的转化效果不佳。因此,本研究的目的是设计一种符合人因工程原则,并能同时适应传统腹腔镜手术训练和单孔腹腔镜手术训练的多用途腹腔镜手术训练器。

1 材料和方法

1.1 训练器轮廓、尺寸及脐位的设计 多用途腹腔镜手术训练器的设计以人因工程原则为基础,通过以腹部可以触摸到的骨性结构作为标记点,测量 30 个成年人腹部表面的尺寸,并记录标记点之间的距离(表 1)。在腹腔镜手术的临床操作中,为了增加手术操作空间,需要在腹腔内充入一定量的 CO₂ 以形成气腹。气腹形成后,人体的腹腔增大至呈半球形,腹壁的扩张程度约为正常情况下的 1.2 倍^[4-5]。为保证腹腔镜手术操作的效果,训练器的空间应保证器械的长度在箱体内外比值≥1^[6]。根据这些信息确定训练器的轮廓、尺寸以及脐部(单孔)的位置。

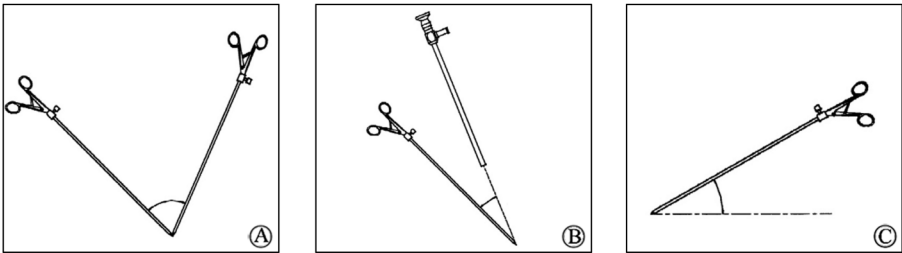


图 1 腹腔镜手术中的操作角(A)、方位角(B)、仰角(C)

Fig 1 Manipulation angle (A), azimuth angle (B), and elevation angle (C) in laparoscopic surgery

1.3 训练器摄像系统及任务模块的设计 成像系统也是评判腹腔镜手术训练器的一项指标,本研究采用小型摄像头和 LED 灯带模拟了腹腔镜摄像头和光源,将其固定于训练器内,并与液晶显示屏相连,将训练器内操作任务模块的实况清晰地显示在电视屏幕上,摄像头的位置按上述腹腔镜手术中的方位角要求而定。任务模块的设计依照 McGill 腹腔镜技能训练的任务模块^[9],并结合腹腔镜手术中四大基本技能(分离、止血、缝合、打结)而定。

1.4 设计软件及样机加工 应用 Autodesk Inventor V2010 (Autodesk,美国) 软件完成多用途腹腔镜手术训练器的三维设计与装配,并采用数控技

表 1 30 个成年人腹部表面尺寸

Tab 1 Surface measurements of 30 adults' abdominal wall

Measuring site	Distance
Between costal arch line and the bone of pubic symphysis	312.5 ± 4.17
Costal arch line	269.1 ± 6.07
Intertubercular line	276.6 ± 3.33
Between costal arch line and intertubercular line	215.1 ± 2.26
Between the umbilical and the bone of pubic symphysis	116.4 ± 2.69
Thickness between the umbilical and the back	60.31 ± 2.23

1.2 训练器穿刺孔的设计 在腹腔镜手术中,手术的人路点是非常重要的,其关系到器械与器械之间的操作角度(操作角),器械与腹腔镜之间的方位角度(方位角)以及器械与水平面所成的锐角仰角度数(仰角),如图 1 所示。合适的角度关系对于缩短手术所需的时间,提高手术操作的效果至关重要。研究表明,当操作角和仰角都为 60°,且腹腔镜与任一器械所成的方位角相等时,腹腔镜手术所需要的操作时间最短,完成的手术效果最好^[7-8]。根据这 3 个重要的角度,本研究确定了训练器上孔道的位置。

术和快速成型技术完成该训练器的样机加工。

2 结 果

2.1 训练器的组成 所设计的多用途腹腔镜手术模拟训练器主要由箱体、底板、摄像系统、抽屉系统以及灯带组成,如图 2 所示。

2.1.1 尺寸及外形 根据所测得的 30 名成人腹部表面尺寸及腹腔镜手术中人因工程原则确定了训练器尺寸为 300 mm×350 mm×150 mm。模拟训练器的表面采用与人体腹部相似的弧面,外形轮廓类似气腹条件下人体腹腔的形状,给医生更直观的术中感受。其实现方式是通过在 Autodesk Inventor

软件环境下建立 4 个平行草图,再采用放样的方式完成训练器外形和轮廓的设计。

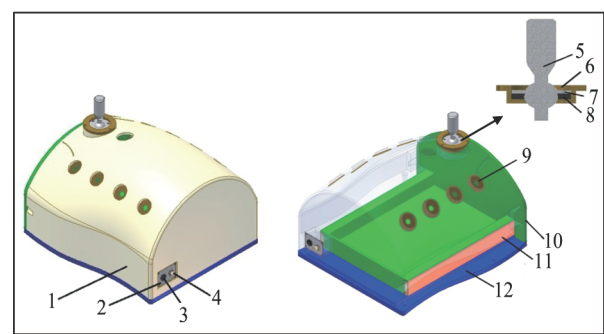


图 2 多用途腹腔镜手术训练器的组成
Fig 2 Components of multi-purpose training box for laparoscopic surgery

1: Box; 2: Front panel; 3: Power socket; 4: Video socket; 5: Universal ball joint; 6: Ballseat; 7: Ring; 8: Spherical washer; 9: Rubber ring; 10: Drawer; 11: Slideway; 12: Baseboard

2.1.2 操作孔 箱体表面设计了 4 个用于传统腹腔镜手术训练的操作孔,孔的位置使得器械能够满足手术中的最佳操作角。由于训练任务处于视野中心时,显示器所呈现的图像清晰度和亮度更高,以此作为器械操作的范围,并如前述分析,选择 60°的操作角、30°的方位角和 60°的仰角,最终确定了操作孔和摄像系统的位置(图 3)。这是针对单人操作所做的设计,而对于一些相对复杂的手术,往往需要双人配合操作,因此,在箱体两侧还设计了两组用于团队训练的雙人操作孔(图 3B)。

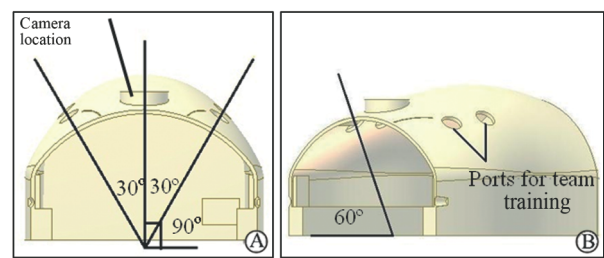


图 3 多用途腹腔镜手术训练器中的
人因工程原则设计体现

Fig 3 Ergonomics design of ports of multi-purpose training box for laparoscopic surgery

A: Manipulation angle, azimuth angle in port design and camera location; B: Elevation angle in port design and ports for team training

计,所有的多孔孔道内表面都粘有橡皮圈,便于使用套管针时增加其灵活性。单孔腹腔镜手术的操作孔位于箱体上脐部的位置,能够适应不同的单孔操作平台。

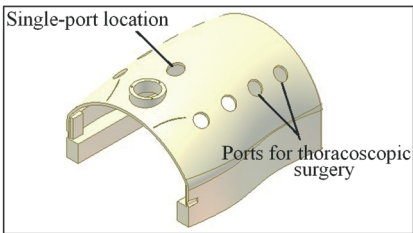


图 4 其他操作孔和单孔的设计
Fig 4 Other ports and single port designing

2.1.3 摄像系统及任务模块 摄像系统包括微型摄像机、球座、球形垫圈、压圈、万向球及手柄。在腹腔镜手术中,医生需要通过调整腹腔镜寻找病灶的位置,使之呈现出最佳术野,因此,训练器采用了万向球与小型摄像头结合的方式实现摄像头在训练器箱体內的 180°旋转,真实的模拟腹腔镜的作用。此外,LED 灯带模拟术中的光源,起到了照明的作用。设计制作 7 个用于手术基本训练的任务模块,包括拾取转移、穿过、传递、剪切、定向、止血以及缝合打结。为了更方便的更换训练任务,将抽屉的原理应用到训练器的设计中,并利用不锈钢导轨方便了训练器中任务模块的更换。

2.2 训练器样机及操作 多用途腹腔镜手术模拟训练器的样机如图 5A 所示,当医生接受培训时,将液晶显示器置于训练器和操作者正前方,显示器屏幕位于视线水平处稍低的位置(图 5B),进行手术训练^[10]。

2.3 任务模块的使用及训练目的 训练的过程中,多用途腹腔镜手术训练器能够提供 7 个任务模块帮助受训者掌握基本的腹腔镜手术技能。(1)拾取与转移。该任务模块通过让受训者练习拾取圆环并将其依次套在小圆柱上的过程,来训练其眼手协调的能力,使受训者掌握二维视野下的操作技能(图 6A)。(2)穿过。在这个任务模块中设计了镂空图案,以帮助受训者练习夹持力,用器械夹持小圆柱通过镂空的路径(图 6B)。目的是使受训者在实际手术过程中不会因为夹持力不够而发生组织滑落的情况。(3)传递。这个任务需要受训者双手交替向自己方向传递细绳,目的是使其掌握双手协调的技能。这个任务也再现了真实手术中医生使用腹腔镜

图 4 所示的另外两组孔道是为胸腔镜所做的设

手术器械进行小肠探查术的过程(图 6C)。(4)剪切。这个任务模块利用了橡胶手套来模拟双层膜的组织,受训者只能在预先画好的圆环中进行剪切,并且只能剪切上层而不能造成第二层的损坏(图 6D)。这个过程是为了训练受训者在手术中剪切组织的时候,不能造成其他组织的破坏。(5)定向。在这个任务模块中,受训者需要将橡皮筋拉紧套在高低不同的圆柱上,从而掌握手术过程中分离和牵拉组织的技能。同时,在任务板上独特的设计了一层透明板,增加了深度感觉的训练(图 6E)。(6)止血(放钛夹)。腹腔镜手术中常用的止血方法是放钛夹,特别是在单孔腹腔镜手术中,放钛夹是必不可少的一项技能。在这个任务模块中,用充有红墨水的一次性

输液管来模拟血管,受训者需要将钛夹准确无误且角度正确的钳夹在“血管”的标记点处(图 6F)。(7)缝合打结。腹腔镜手术中的缝合打结是最难掌握的一项手术技能,这个任务模块用高密度聚氨酯海绵模拟人体组织,帮助受训者掌握这一技巧(图 6G)。

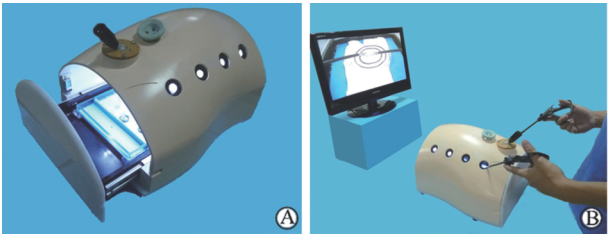


图 5 多用途腹腔镜手术训练器样机(A)与操作(B)
Fig 5 Prototype (A) and manipulation (B)
of multi-purpose training box for laparoscopic surgery

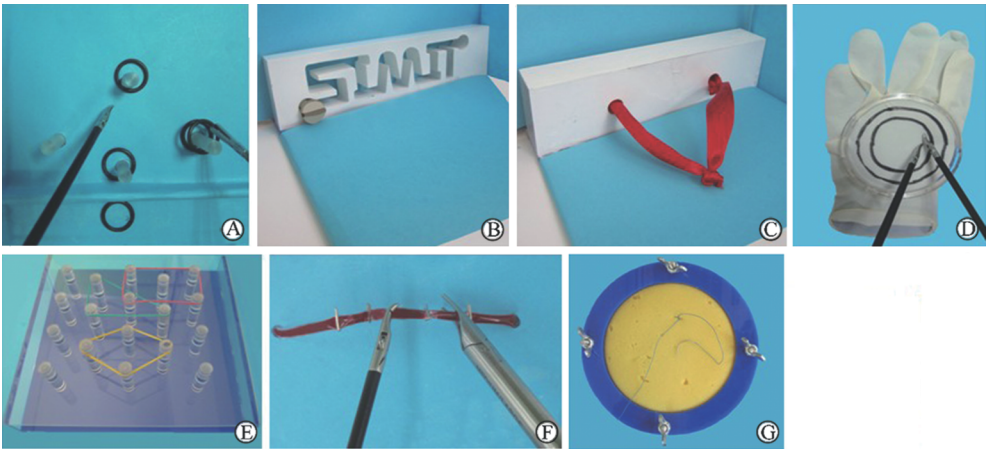


图 6 训练器的 7 个任务模块

Fig 6 Seven training task modules of multi-purpose training box for laparoscopic surgery

A: Pick and transfer; B: Go with path; C: Bimanual delivery; D: Cut; E: Orientation in direction; F: Clip; G: Suture and knot

3 讨论

腹腔镜手术训练器是医生获得手术技能的有效途径^[11-13]。目前,国外市场供应的腹腔镜手术训练器价格昂贵,且仅 D-box(Lapsikll Medical, 挪威)可以提供单孔腹腔镜手术练习;虽然国内市场供应的腹腔镜手术训练器价格相对低廉,但是缺乏临床真实感,很难使医生建立起人体手术观念,且其往往是针对传统腹腔镜手术的单人训练。本研究所设计的多用途腹腔镜手术训练器价格相比国外低廉,根据所选的材料(ABS 塑料)和加工方式,其价格能下降 50% 以上,可以被大多数医院所接受,并已经获得了国家实用新型专利(专利号:201220197507),其既能够提供传统腹腔镜手术训练,也适用于单孔腹腔镜手术的练习,可帮助医生提高手术技能,减少出

错率。经过实验,22 名无腹腔镜手术经验的学生在经过多用途腹腔镜手术训练器的训练后,完成训练任务所需要的时间明显缩短,操作技能明显提高。基于人因工程理念设计的训练器能给医生更接近临床实际的手术感受,摄像系统和灯带的设计更增强了手术模拟的真实感。基于最佳操作效果的操作孔位置设计为医生掌握最佳的手术技巧提供了可行性,双排操作孔的设计体现了腹腔镜手术双人配合的理念,可以进行团队操作训练;同时增加了胸腔镜手术训练的操作孔。7 个训练模块的设计提供了腹腔镜手术最基本的技能训练,目的是使医生掌握基本的眼手协调、双手协调以及基本手术操作技能,如剪切、放钛夹等。同时,采用抽屉式更换训练任务的方法使整个使用过程更加方便,简单、轻巧的结构也更便于医生随时随地的进行训练,不受时间和空间

的限制。

在我国,有相当一部分医学院校开展的手术学教学方式仍然建立在传统的开放手术技能培训模式上,较少涉及微创外科领域,医学生在学校基本未得到腹腔镜手术操作的训练,甚至可独立进行腹腔镜手术的医师中也有人尚未参加过培训,缺乏术前的基本训练^[14]。造成这种局面的原因一方面是由于经费不足、培训中心及老师有限、训练设备昂贵;另一方面是因为缺乏规范化的手术训练器和标准,阻碍了部分手术的推广和应用^[15]。

然而,随着腹腔镜手术的数量与种类的不断增长,急需将腹腔镜手术技能训练纳入外科医生培养的必修课程。无论腹腔镜手术器械如何先进,外科机器人如何智能化,实施外科手术均要靠外科医生来操纵,所以对外科医生的标准化手术训练势在必行。本研究所设计的多用途腹腔镜手术训练器是帮助医生掌握手术技能的有效方法,同时,也为评价新研发的微创外科器械提供了一个有利的平台,如:多自由度器械和单孔平台,在临床评价之前,研发人员可以反复在训练器上进行实验后再改进,从而大大降低研发成本。

4 利益冲突

所有作者声明本文不涉及任何利益冲突。

[参考文献]

- [1] 俞春亮,王存川. 腹腔镜结直肠手术的难点与对策[J]. 腹腔镜外科杂志,2011,16:61-63.
- [2] Subramonian K, DeSylva S, Bishai P, Thompson P, Muir G. Acquiring surgical skills: a comparative study of open versus laparoscopic surgery [J]. Eur Urol, 2004,45:346-351.
- [3] Romanelli J R, Earle D B. Single-port laparoscopic surgery: an overview [J]. Surg Endosc, 2009, 23: 1419-1427.
- [4] Song C, Alijani A, Frank T, Hanna G, Cuschieri A. Elasticity of the living abdominal wall in laparoscopic

surgery[J]. J Biomech, 2006, 39: 587-591.

- [5] Song C, Alijani A, Frank T, Hanna G B, Cuschieri A. Mechanical properties of the human abdominal wall measured *in vivo* during insufflation for laparoscopic surgery[J]. Surg Endosc, 2006, 20: 987-990.
- [6] Emam T A, Hanna G B, Kimber C, Dunkley P, Cuschieri A. Effect of intracorporeal-extracorporeal instrument length ratio on endoscopic task performance and surgeon movements[J]. Arch Surg, 2000, 135: 62-66.
- [7] Hanna G B, Shimi S, Cuschieri A. Optimal port locations for endoscopic intracorporeal knotting [J]. Surg Endosc, 1997, 11: 397-401.
- [8] Meng W C, Kwok S P, Leung K L, Chung C C, Lau W Y, Li A K. Optimal position of working ports in laparoscopic surgery: an *in vitro* study [J]. Surg Laparosc Endosc, 1996, 6: 278-281.
- [9] Derossis A M, Fried G M, Abrahamowicz M, Sigman H H, Barkun J S, Meakins J L. Development of a model for training and evaluation of laparoscopic skills [J]. Am J Surg, 1998, 175: 482-487.
- [10] Zehetner J, Kaltenbacher A, Wayand W, Shamiyeh A. Screen height as an ergonomic factor in laparoscopic surgery [J]. Surg Endosc, 2006, 20: 139-141.
- [11] Jones D B. The current role of simulators in teaching surgical techniques [J]. J Gastrointest Surg, 2011, 15: 1718-1721.
- [12] Rassweiler J, Klein J, Teber D, Schulze M, Frede T. Mechanical simulators for training for laparoscopic surgery in urology [J]. J Endourol, 2007, 21: 252-262.
- [13] 杨波,王林辉,杨庆,高旭,孙颖浩. 腹腔镜操作技术的模拟训练:一种简化方法[J]. 中华泌尿外科杂志,2007,28:785.
- [14] 卢先州,张树友,彭秀达,梁庆模,李峰,李安文,等. 腹腔镜操作训练在普外科临床教学中应用的探讨[J]. 中国高等医学教育[J]. 2010,7:98-99.
- [15] 郑晨,宋成利. 腹腔镜手术模拟训练系统的研究现状与分析[J]. 中华消化外科杂志,2012,11:397-400.

[本文编辑] 魏学丽,贾泽军