

· 讲座 ·

SSRL 外科仿真训练及基本要素

郑斌 王小林

外科仿真训练已有 30 多年历史,如今已经成为了国外医学教育体系的重要组成部分,其目标就是让外科医生学会适应复杂的外科工作环境并学会控制包括工具的运动系统,从而降低因操作失误产生的医疗事故。目前外科仿真技能训练的核心包括两个方面:一方面是创造一个安全的训练环境,使外科医生对微创手术所需协调的复杂运动系统进行反复训练,达到运动定型,而定型后的感觉刺激会自动诱发一系列自主运动,无需再经大脑皮层的分析和计算^[1];另一方面是创造接近真实手术的环境,使医生的训练过程无需在患者身上完成,从而避免对患者的伤害^[2]。

加拿大阿尔伯塔大学外科仿真训练实验室(Surgical Simulation Research Lab, SSRL)在十多年的不断实践中特别注重探索外科实践主体与微创手术系统之间的相互关系,从摸索更加客观有效的评估指标和评估方法,提高训练设备及训练环境的仿真度以及加强仿真训练方法学的研究等方面不断进行实践,总结了五个外科仿真训练基本要素,以求最大程度地提高外科仿真训练的效果。现详细介绍如下:

一、可视化

本世纪初起,腹腔镜手术大量应用于小儿外科。据统计,1997 年美国儿童阑尾切除术仅有 10% 是通过腹腔镜完成的,而 2005 年这一比例已经急升到 95% 以上^[3]。腹腔镜手术因具有创伤小、愈合快、瘢痕微小等优点,因此深受患儿家属青睐,但同时腹腔镜手术需要克服二维影像,触觉反馈减少及手与器械移动端的运动方向相反等难点,而且也对外科医生的技能训练提出了更高的挑战。

腹腔镜手术的基本环节是外科医生从监视器上获取术野的视觉信息,并将此信息经大脑处理后以引导手部动作;同时,外科医生的手术操作需借助特制的腔镜器械隔着腹壁完成,因此如此复杂的运动控制系统,不仅需要外科医生眼与手的协调,而且还需兼顾影像系统(相机、屏幕等)及工具系统。由于腹腔镜手术的信息处理系统远较开放手术复杂,所以会导致外科医生的脑力和体力负荷增大,甚至产生疲倦状态^[4-5],在这种情况下,医疗差错的风险就会增加,严重时危及患者安全,这也就是在上世纪九十年代中期微创手术的并发症有所上升的原因之一。这一现象引发美国外科医生学会(American college of Surgeons, ACS)及美国消化道及

窥镜外科医师协会(Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons, SAGES)的关注。随后,ACS 与 SAGES 提出了微创手术训练的重要性,特别强调了基于仿真平台的标准化训练,并认为这将成为提高微创手术安全性的主要手段^[6-7]。

SSRL 配备了与真实微创手术室相同的灯光、手术床及全套的影像和手术操作系统(图 1)。2000 年开始研究显示器方位与腹腔镜轴线旋转对手术操作的影响。众所周知,手术助手在操控腔镜时常常会不自觉地将腔镜沿纵轴作旋转,其结果是术野画面的水平线被扭曲,影响术者对解剖层面的判断。当术野画面水平式放置时,图像与术野方位对应较好,操作者不仅运动操作的时间较短,而且运动准备的时间(Reaction Time)更短^[8],尤其在腔镜旋转的情况下,显示器水平放置时其优势更加明显,对操作者的运动表现更有保护作用。此后出现的手术机器人,如 Da Vinci[®] Surgical System 就采用了显示器水平放置的设计。

目前 SSRL 科研人员正在研究医生的 3D 视觉。微创手术中的术野是由普通单个光学镜头捕捉的,因而景深是缺失的。我们希望了解外科医生在缺失景深的情况下构建局部解剖立体关系的详细机制,这不仅有助于设计新的外科训练课程,让年轻医生学会快速适应腔镜下的视觉环境,也可以指导设计下一代 3D 腹腔镜。



图 1 SSRL 内部完全依照微创手术室而设立,配备手术床、灯光、悬吊臂、影像系统及手术器械。木质训练盒内部放置模拟组织,模拟腹腔镜下胆囊摘除术及患者生命体征。佩戴的眼动仪记录训练者的眼球运动,而三维运动跟踪仪(画面中部远端显示其中的一部分)则记录训练者肢体运动轨迹

二、可触化

触觉在引导人手的精细运动中起着不可低估的作用。在手套对手精细运动的影响研究中,医学生分别在裸手、戴一层外科乳胶手套和戴二层外科乳胶手套下完成一项微

DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3006. 2015. 08. 020

作者单位: T6G2R3 加拿大阿尔伯塔大学医学院外科学系仿真训练实验室(郑斌);华中科技大学同济医学院附属同济医院小儿外科(王小林)

通信作者: 郑斌, Email: bin. zheng@ualberta. ca

创操作, 研究结果显示: 戴一层手套时运动表现成绩与裸手接近; 而戴了两层手套后运动表现成绩明显减退。究其原因就在于双层手套不仅阻隔了表皮下触觉感受器对外界刺激的正确反应, 而且由于手套的弹性张力对手部肌肉的本体感受器的挤压进一步干扰了人手的精细控制。既然戴手套如此, 那么腔镜器械对外科医生触觉的影响就更加明显。比如, 医生对器械所施加的力会被器械内部机械结构所改变, 从而造成对组织所施加的力, 有可能被放大, 也可能被缩小, 因此医生很难借助组织的反馈来调整操作控制, 这些因素都会影响医生操作的精细控制。在另外一组研究中, 操作者分别用裸手、1:1 工具和 1:2 工具去抓取物体, 研究发现裸手指尖张开的程度可以准确匹配物体的直径; 而用工具时, 无论是那种工具, 工具尖端的张开程度都无法准确匹配物体的直径。使用工具令手脱离了真实触觉, 精细运动是会受到影响的。该研究还发现工具能影响人体运动系统的协调性。人手加载工具后, 上肢各关节间运动的协调性就会被破坏^[9]。因此, 当外科医生开始学习使用一套新的外科工具时, 需要更长的训练时间, 才能使人的运动适应工具。只有当手与工具间的协调性形成后, 才可以安全地为患者手术。

医生在微创手术操作过程中使用特制的长柄器械, 如同杠杆, 近远端的运动方向是相反的。如果所使用的器械本身带有弧度, 或者远端带有折角, 会更加不容易控制, 操作准确性更难把握^[10]。因此在使用新的、复杂的外科工具时, 应给予外科医生足够的训练时间以适应工具的物理特性, 从而确保在给患者手术时, 不会因为工具操作不熟练而对患者造成副损伤, 而这些训练都可以并应该在仿真训练环境下完成。

三、可重复化

可重复化是外科仿真训练的另一个基本环节, 也是一大优势。学习一项技能的本质就是一套运动操作协调性的内在固化。我们常说熟能生巧, 强调的就是反复训练的重要性。

早期的外科仿真大多利用塑料模型代替人体结构, 缺点在于模型可重复的次数少, 成本也相对较高。随着计算机技术的迅猛发展, 基于虚拟现实平台的外科模拟器也获得快速发展^[11-12]。外科虚拟仿真器的优点在于视觉还原比较先进、画面延迟小、画幅更新快、解剖器官色彩形态的还原接近实景电视画面, 但对触觉的还原还处于开发阶段^[13]。此外, 模拟训练器价格昂贵, 维护费用高, 一时难于大范围推广使用。为了克服以上缺点, SSRL 在外科仿真训练中采用了不少组合模型。比如训练腹腔镜下胆囊摘除术, SSRL 采用将动物的肝脏和胆囊放置于标准外科训练盒内, 既可以使医生获得最大视觉与触觉的真实感, 而且极大地降低了训练成本。在单孔腹腔镜手术 (Single-Port Laparoscopic Surgery) 和经自然腔道内镜手术 (NOTES) 的技能训练课程中, 组合模型都被采用^[14]。

3D 打印模型也是解决训练可重复性的一个方法。比如儿童髋关节发育性脱位是一种复杂的髋关节疾病。髋关节脱位后, 髋臼和股骨近端所发生的病理改变非常复杂。以往

仅靠阅读 X 线片来判断, 很难掌握这类手术的要点。利用计算机成像技术, 再现脱位的髋关节 3D 结构, 可以很快地了解其病理改变, 并利用 3D 打印机打印出脱位髋关节模型, 不仅可以使医生准确制定术前计划, 还能在模型上进行手术方案的预演。

四、评估可量化

评估技能训练的基础是操作表现的可测量 (Performance Assessment)。没有准确的测量, 谈不上高水平的训练。传统上我们对医生技能的测量都是在手术操作结束后才实施, 而且多采用间接性的指标来衡量, 如手术时间、术后恢复时间、感染率及输血量等来评估医生手术的优劣。这些术后测量指标受许多因素的影响, 不仅不能直接反映医生的技能水平, 而且也无法与医生在手术中的具体操作进行挂钩, 难于对医生的技能给出及时有效的指导与反馈。SSRL 特别重视实时客观量化医生的手术操作表现。比如训练皮肤切时, 实习医生带上内含压力记录仪的特制手套就可以实时测量所施加的力量, 并将其力量曲线与经验丰富医生的力量曲线对比找出差异, 以此差异来指导年轻医生如何控制手的力量 (图 2)。

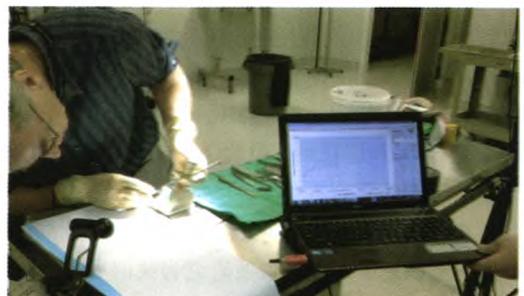


图 2 高年资医生正在用 3D 鼻模型做鼻中隔矫正术。手腕处的压力记录仪可以实时准确记录术者操作过程中施加的力量

SSRL 安装了三维运动轨迹监测系统, 该系统可以对多达 108 个控制点跟踪运动轨迹。这些控制点既可以放置在外科医生肩、肘、腕和手指上, 也可以放置在器械上。通过分析控制点的运动轨迹, 可以准确记录和测量出医生操作技能的一些相关参数, 如运动平滑性、速度均匀性、关节协调性及两手配合的熟练度等。这些客观数据对于我们了解技能的形成和定型都有很大的帮助。

SSRL 采用 Tobii 眼动仪监控外科医生的眼球运动轨迹, 精确表述外科医生手术过程中的视觉关注点, 从而深入地研究医生的警觉力 (Vigilance) 和眼手配合能力 (Eye-hand Coordination)。研究发现: 在警觉力方面, 年轻医生的视觉过分关注于术野, 很容易形成单一视觉, 忽略观察患者的生命体征; 而经验丰富的医生则会常会习惯性的环视术野以外的区域, 提前发现患者的安全隐患, 这样的行为对手术安全是非常重要的^[15]; 在手眼配合方面, 年轻医生眼球运动常追随器械, 而经验丰富的医生通常不太关注器械的位置, 而将更多的视觉点集中于被操作目标, 比如需要结扎的血管, 或需要缝合的组织等^[16]。了解这些差别之后, SSRL 开始不仅客

观地表述外科技能的行为学表现,也可以更深入地监测技能训练的效果,甚至引领和改进训练模式。

五、训练团队化

长期以来,外科技能训练非常强调个体化,但是一台外科手术很少能由一名外科医生单独完成,因此外科训练必须团队化。腹腔镜手术时,助手扶持腹腔镜,相当于主刀医生的视野由助手来控制,那么术者与助手间的默契合作就更为重要,因此腹腔镜手术的眼手配合训练,必须涉及术者和助手间的团队训练。基于此,SSRL 研发了第一台微创手术的二人训练仿真器^[17]。在这台训练仿真器上,助手控制腹腔镜的同时协助术者暴露术野,术者则可以用双手操作器械,完成诸如缝合打结等动作操作。利用此训练仿真器,既可以准确评估每一位医生的个人技能,如通过记录腹腔镜推进和拉后的次数以及视野水平线偏移的次数来评估助手的操控水平以及通过缝合打结的时间和结头质量来评估术者的技能水平;还可以同时通过记录一些指标来评估他们之间的团队意识^[18]。比如,在抓取和移动一个物体时,如果术者与助手有良好的团队意识,器械移动与腹腔镜移动的过程可以和谐一致,器械远端始终处在视野内;反之,如果两人缺乏团队配合意识,器械远端就有可能不在视野内,通过统计器械未在视野内的次数,就可以大体反映出两人的团队配合水平。

此外,SSRL 在团队训练的客观测量方面又取得一些原创性的进展。通过与加拿大西蒙菲沙大学(Simon Fraser University)的合作,利用双频道眼动仪的数据来分析术者和助手眼球运动轨迹的重合性^[19]。当两人的轨迹重合越多时,说明两人在一台手术中的共同关注点就越多,由此可以推断两人的团队意识更加一致。这项研究为我们后续开展外科团队训练的深入研究提供了客观测量基础。

以上借五个基本要素概括了 SSRL 外科仿真训练的研究内容及进展。目前无论是国内或国外,长期以来研究重点都放在疾病、患者、设备及医院上,一个经常被忽略的环节就是外科医生。医生是医疗实践的主体,了解他们的需求,发现他们的局限,设计符合他们需要的训练课程,是每一位医学教育工作者需要认真考虑的问题。因为医生的表现直接关系到患者的生存质量和安全,所以客观描述他们的表现,给医生最好的训练,最终也是为了患者。将人的因素,也就是医生的需要放在第一位是我们外科仿真训练的首要环节。

参 考 文 献

[1] Anderson JR. Acquisition of cognitive skill[J]. Psychological Review, 1982, 89: 369-406.
 [2] Aggarwal R, Darzi A. Technical-skills training in the 21st century[J]. N Engl J Med, 2006, 355(25): 2695-2696.
 [3] Laufer MR, Reichman DE, Smithers CJ. Overview of laparoscopy in children and adolescents [J/OL]. On-line Report. ? <http://www.uptodate.com/contents/overview-of-laparoscopy-in-children-and-adolescents>, Last access date: Dec 15, 2013. 2013.
 [4] Berguer R, Smith WD, Chung YH. Performing laparoscopic

surgery is significantly more stressful for the surgeon than open surgery[J]. Surg Endosc, 2001, 15(10): 1204-1207.
 [5] Zheng B, Cassera MA, Martinec DV, et al. Measuring mental workload during the performance of advanced laparoscopic tasks[J]. Surg Endosc, 2010, 24(1): 45-50.
 [6] 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 [J]. Surgery, 2004, 135(1): 21-27.
 [7] Sachdeva AK, Pellegrini CA, Johnson KA. Support for simulation-based surgical education through American College of Surgeons-accredited education institutes[J]. World J Surg, 2008, 32(2): 196-207.
 [8] Zheng B, Janmohamed Z, MacKenzie CL. Reaction times and the decision-making process in endoscopic surgery[J]. Surg Endosc, 2003, 17(9): 1475-1480.
 [9] Zheng B, MacKenzie CL. The control strategy for degrees of freedom in remote prehension with a tool[A]. In HFES, ed. Proceeding of the 52nd Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting[C]. Baltimore, Maryland: Human Factors/Ergonomics, 2007: 61-62.
 [10] Martinec DV, Gatta P, Zheng B, et al. The trade-off between flexibility and maneuverability: task performance with articulating laparoscopic instruments[J]. Surg Endosc, 2009, 23(12): 2697-2701.
 [11] von Websky MW, Vitz M, Raptis DA, et al. Basic laparoscopic training using the Simbionix LAP Mentor: setting the standards in the novice group[J]. J Surg Educ, 2012, 69(4): 459-467.
 [12] Gould D. Using simulation for interventional radiology training [J]. Br J Radiol, 2010, 83(991): 546-553.
 [13] Salkini MW, Doarn CR, Kiehl N, et al. The role of haptic feedback in laparoscopic training using the LapMentor II[J]. J Endourol, 2010, 24(1): 99-102.
 [14] Zheng B, Rieder E, Cassera MA, et al. Quantifying mental workloads of surgeons performing natural orifice transluminal endoscopic surgery (NOTES) procedures[J]. Surg Endosc, 2012, 26(5): 1352-1358.
 [15] Atkins MS, Tien G, Khan RS, et al. What do surgeons see: capturing and synchronizing eye gaze for surgery applications [J]. Surg Innov, 2013, 20(3): 241-248.
 [16] Zheng B, Tien G, Atkins SM, et al. Surgeon's vigilance in the operating room[J]. Am J Surg, 2011, 201(5): 673-677.
 [17] Zheng B, Denk PM, Martinec DV, et al. Building an efficient surgical team using a bench model simulation: construct validity of the Legacy Inanimate System for Endoscopic Team Training (LISETT)[J]. Surg Endosc, 2008, 22: 930-937.
 [18] Zheng B, Swanstrom LL, Meneghetti A, et al. Quantifying surgeon's contribution to team effectiveness on a mixed team with a junior surgeon[J]. Surgery, 2011, 149(6): 761-765.
 [19] Khan RS, Tien G, Atkins MS, et al. Analysis of eye gaze: Do novice surgeons look at the same location as expert surgeons during a laparoscopic operation[J]? Surg Endosc, 2012, 26(12): 3536-3540.

(收稿日期: 2014-01-15)