·比较医学教育·

美国匹兹堡大学医学中心机器人手术培训课程经验介绍与启示

唐浩　陈勇
重庆医科大学附属第一医院肝胆外科，重庆　400042
通信作者：陈勇，Email：chenyong61@126.com

【摘要】 目的　介绍美国匹兹堡大学开展的机器人手术培训课程经验。**方法**　详细介绍培训课程的具体流程，同时对培训结果进行总结分析。共有15位学员完成了第一阶段培训（操作台模拟训练），14位（93.3%）完成了第二阶段（胰十二指肠切除组织吻合模拟训练），累计完成196例组织吻合模拟训练。采用STATA和SPSS软件进行统计分析，对得分进行Wilcoxon秩和检验。**结果**　吻合模拟训练的表面效度Likert量表平均分分别为：胰空肠吻合（Pancreaticojejunostomy，PJ）（15/20），胃空肠吻合（Gastrojejunostomy，GJ）（15/20）和胆空肠吻合（Hepatocholangiojejunostomy，HJ）（17/20）。在PJ和GJ模拟训练中，与金标准相比，失误率和OSATS得分均改善（$P>0.05$），操作用时无减少（$P<0.05$）；在HJ模拟培训中，失误率、OSATS得分和操作用时均未见改善（$P<0.05$）。但将学员重复进行的吻合训练结果作为一个整体进行线性回归和二次拟合模型分析显示，学员培训后的所有模拟操作均较首次表现得更好。**结论**　美国匹兹堡大学医学中心开展的培训课程是行之有效的，对探索出一条符合我国国情的机器人外科发展之路具有借鉴意义。

【关键词】 外科教育；　机器人手术；　胰十二指肠切除；　经验介绍
【中图分类号】 R33
基金项目：重庆市研究生教育教学改革研究项目（yjg173078）；重庆市中青年医学高端人才培养项目
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20200914-01232

The experience and enlightenment of robotic surgery training course in the University of Pittsburgh Medical Center

Tang Hao, Chen Yong
Department of Hepatobiliary Surgery, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400042, China
Corresponding author: Chen Yong, Email: chenyong61@126.com

【Abstract】 Objective　To introduce the experience of robotic surgery training course in the University of Pittsburgh Medical Center. **Methods**　The specific process of the training course was introduced in detail, and the results of the training course were summarized and analyzed. A total of 15 surgeons completed the first step of the training (operation table simulation training), 14 (93.3%) completed the second step (pancreatoduodenectomy tissue anastomosis simulation training), and 196 cases of tissue anastomosis simulation training were completed. Statistical analysis was performed using STATA and SPSS software. Wilcoxon rank sum test was used to analyze the data. **Results**　The average scores of the surface validity Likert scale for anastomosis simulation training were: (15/20) for Pancreaticojejunostomy (PJ), (15/20) for Gastrojejunostomy (GJ), and (17/20) for Hepatocholangiojejunostomy (HJ). In the PJ and GJ simulation training, compared with the gold standard, the error rate and OSATS score were significantly improved ($P > 0.05$), and the operation time was not significantly reduced ($P < 0.05$). In HJ simulation training, the error rate, OSATS score and operation time did not show significant improvement ($P < 0.05$). However, it could be concluded that all the simulation operations performed by the trainees after the training were better than the

first time, when linear regression and quadratic fitting models were performed to analyze continuous trainings of the trainees as a group. **Conclusion** The training course carried out by the University of Pittsburgh Medical Center is valid and effective, and it can be used for reference to explore a way for the development of robotic surgery fitting to the real conditions of our country.

【Key words】 Surgical education; Robotic surgery; Pancreaticoduodenectomy; Experience introduction

Fund program: Chongqing Postgraduate Education and Teaching Reform Research Project (yjg173078); Chongqing Youth Medical High-end Talent Training Project

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20200914-01232

越来越多的文献表明，外科医生的手术水平与患者的预后相关[1]。例如，胰十二指肠切除术（pancreaticoduodenectomy，PD）中的胰空肠吻合（pancreaticojejunostomy，PJ），术者的吻合操作评分与术后胰瘘发生率相关[2]。由此引发思考，在培养外科医生的过程中，如果对外科医生进行具体手术项目的培训，是否可以降低其开展新技术的学习曲线？机器人辅助的胰腺手术（robotic pancreaticoduodenectomy，RPD）不仅具有与腹腔镜手术同等的安全性，还具有更好的术中可视性和操作灵活性，对外科微创化及精准化的开展具有重要意义。对此，美国匹兹堡大学医学中心（University of Pittsburgh Medical Center，UPMC）通过开展相关操作培训，尤其是手术室外的模拟培训，帮助外科医生提高手术熟练程度，最大程度缩短学习曲线并改善患者预后[3]。

2013 年 UPMC 设计了一套提高机器人胰十二指肠切除术熟练度的培训课程[4]。本文旨在分享培训过程的体会，并对培训中的问题进行总结，希望能推动国内相关培训的系统化开展。

1　对象与方法

1.1　培训对象

课程培训对象为 15 名获得了美国肿瘤外科学会（Society of Surgical Oncology，SSO）认证的普外科医生。

1.2　培训流程

培训主要包括以下内容：①操作台模拟训练；②组织吻合模拟训练；③手术视频回顾；④手术培训；⑤课程总结改进。第一步是在系统模拟设备上进行模拟操作，以提高学员对达芬奇机器人手术操作系统的熟练度。第二步是在仿真组织上进行吻合模拟训练，包括 RPD 的 3 个吻合：PJ、胃空肠吻合（gastrojejunostomy，GJ）和胆空肠吻合（hepatocholangiojejunostomy，HJ）。第三步是组织学员对手术视频进行学习，观摩其中关键步骤。第四步由具有丰富 RPD 操作经验的专家对学员进行实时指导。在所有四步完成之后再对学员表现、培训过程中的优缺点和患者的随访结果进行总结分析，并加以改进。

1.3　操作台模拟训练

操作台模拟设备由 daVinci backpack（Intuitive Surgical Inc，Sunnyvale，CA）和 Mimic trainer（Mimic Technologies Inc，Seattle，WA）提供，可重现达芬奇手术系统的外观和操作体验，快速提高学员对操作系统的熟悉程度[5]。在了解培训内容、观看操作示范视频后，由学员自己在模拟设备上根据课程要求循序渐进地完成各种操作练习，并记录各项操作的得分，以便评估学员的操作水平和熟练程度。

1.4　吻合模拟训练

吻合模拟训练开始前，学员需使用达芬奇机器人进行穿针训练。训练最开始用大号针线，当学员适应后，将针线逐渐减小，直到与实际手术一致。

在完成了操作台模拟训练和穿针训练后，学员才开始进行吻合模拟训练。模拟吻合的材料由 LifeLike BioTissue Inc（London，Ontario，Canada）生产提供。在 PJ 模拟中，采用 LifeLike 提供的双层生物材料（长约 5 cm）模拟空肠袢，其提供的长方体高分子聚合物（8 cm × 4 cm × 1 cm）模拟胰腺，吻合方法采用改进后的 Blumgart PJ12，导管–黏膜的缝合选择 5-0 聚乙烯线，吻合口外部缝合则用 2-0 线进行。GJ 中，选择 2 个长约 8 cm 的双层生物材料分别模拟胃和空肠，用 3-0 丝线进行连续缝合。HJ 过程中，采用长约 4 cm 的双层生物材料模拟肠段和直径 1 cm、长 5 cm 的仿生组织模拟肝总管。

学员依次完成 PJ、GJ、HJ 的吻合模拟后，重复此

过程，直到完全掌握吻合要领为止。模拟开始后便对学员的操作过程进行录像并留存，由专人进行评分。吻合模拟训练约耗时15个月。

1.5 手术视频回顾

手术视频回顾包括两个部分：第一个部分是在进行操作台模拟前，观看实际手术视频，由讲师讲解手术步骤、操作要点等关键内容；第二个部分是学员在完成吻合模拟后，再次观看手术视频，由讲师解答吻合模拟过程中遇到的问题并给出进一步的改进建议。

1.6 手术培训

学员在完成了前面所有步骤后，可在具有丰富机器人手术经验的医师带领下，进行肝胆外科机器人手术。此阶段的每次手术均需录像并留存，由专人对学员表现进行评分。此步骤约耗时12个月。

1.7 评价方法

1.7.1 吻合模拟评分标准

所有学员模拟吻合训练的过程都会被全程录像，按双盲原则分别发送给2名专家评分，专家将根据3项指标对学员的操作进行评估。第一项指标是耗时，统计从缝合开始到最后剪线所需要的时间。第二项指标为失误率，根据失误（例如掉针、弯针、补针或断线等）的次数来计算失误率。最后一项指标是基于客观结构化技能评估（the objective structured assessment of technical skills，OSATS）的评分，包括以下几项：操作力度；耗时长短和动作的规范程度；仪器操作的熟练度；手术流程的熟悉程度；术野的暴露程度；操作总体得分。每项都按照Likert量表进行评分，最低1分，最高5分，总分为30。

1.7.2 表面效度和操作规范评分方法

表面效度由3名参加过SSO组织的复杂肝胆手术培训的专家进行评价。专家均完成RPD学习曲线，且多次独立完成达芬奇机器人手术。他们会根据模拟操作与实际操作的相似性，按照Likert量表评分（1分："与实际情况完全不符"，3分："与实际情况接近"，5分："与实际情况相同"）。评分标准由以下项目组成：达芬奇机器人手术系统的设置；仿生材料的真实度；解剖学角度；针/缝线的选择。此外，专家将进行相同的模拟操作来验证模拟的可行性和仿真度，并建立规范操作的"金标准"。

1.8 统计学方法

统计分析采用STATA（StataCorp，College Station，TX）和SPSS软件（SPSS Inc，Chicago，IL）。数据汇总使用平均值（$\bar{x}$）和标准偏差（*SD*），其他情况则使用中位数和四分位数。组织模型的表面效度由每次操作的平均分来进行评估，学员每项吻合操作（包括PJ、GJ和HJ中的耗时、失误率和OSATS评分）的得分都会进行Wilcoxon秩和检验，与专家的"金标准"相对比。同时，学员重复进行的吻合训练结果会作为一个整体进行线性回归和二次拟合模型分析。OSATS和失误率的评分会使用内部相关性和Spearman相关性进行可靠性分析。组间相关性由95%置信区间和*F*检验的平均值来评估，而Spearman相关性则用相关系数*r*和秩和检验进行评估。检验水准α=0.05。

2 结果

2.1 课程完成情况

共有15位学员完成了第一阶段的培训（操作台模拟训练）；14位（93.3%，1位退出）完成了第二阶段的培训（组织吻合模拟训练）；共进行了196例组织吻合模拟操作：其中PJ 64例、HJ 66例、GJ 66例。

2.2 表面效度

3名参与制定表面效度的专家在进行了PJ、GJ和HJ操作后，根据4个标准（达芬奇机器人手术系统的设置、仿生材料的真实度、解剖学角度、针/缝线的选择）进行Likert量表评分。不同吻合模拟操作中4个标准的得分中位数分别为PJ（15/20）、GJ（15/20）和HJ（17/20），其中操作系统的仿真度最高（13/15），而仿生材料的仿真度在4个标准中最低（10/15）（表1）。

表1 3种吻合模拟操作的表面效度评分

标准	PJ	GJ	HJ	单项标准得分
达芬奇机器人手术系统的设置	4(4,5)	4(3,4)	5(4,5)	13/15
仿生材料的真实性	3(3,3)	3(3,4)	4(2,4)	10/15
解剖学角度	4(3,5)	4(3,4)	4(3,5)	12/15
针/缝线的选择	4(4,5)	4(3,5)	4(3,5)	12/15
单项吻合得分	15/20	15/20	17/20	

2.3　操作金标准

3名专家的模拟操作情况如下：在PJ操作中，中位耗时为28 min、中位失误次数为4次、中位OSATS总分为27.5（30分满分）；在GJ操作中，中位耗时为35 min、中位失误次数为1次、中位OSATS总分为28.5（30分满分）；在HJ操作中，中位耗时为12 min、中位失误次数为1次、中位OSATS总分为29（30分满分）。在9个项目中，专家的得分均高于第一次尝试的学员（P<0.05）（图1）。

2.4　吻合模拟训练结果

胰空肠吻合（PJ）：在完成5次PJ操作训练之后，学员完成PJ模拟训练的耗时整体上有减少的趋势（第1次耗时53.5 min，第5次耗时48.5 min；P=0.080），但差异无统计学意义；其失误率降低（第1次8次失误，第5次5次失误，P=0.002）；OSATS得分提高（第1次19.5分，第5次23.5分，P=0.001）。5次模拟训练后与金标准相比，失误率（P=0.352）和OSATS得分（P=0.101）均有改善，但操作用时上并无减少（P=0.014）。进一步对每次操作的耗时（slope=−1.04；$R2$=0.03；P=0.193）、失误率（slope=−0.74；$R2$=0.13；P=0.004）和OSATS得分（slope=+0.75；$R2$=0.14；P=0.003）进行线性分析，发现训练中所有模拟操作均较前次表现更好，提示学员均可从每次训练中获益（图2）。

胃空肠吻合（GJ）：经过5次GJ模拟训练后，操作用时减少（第1次耗时69 min，第5次操作耗时58.5 min；P=0.002）；失误率降低（首次操作失误15次，第5次操作平均失误3.5次；P<0.001）；OSATS得分也有所提升（首次操作18分，第5次操作20.8分；P<0.001）。我们发现5次模拟训练后与金标准相比，失误率（P=0.230）和OSATS得分（P=0.180）均有改善，但操作用时上并无减少（P=0.014）。进一步对每次操作的耗时（slope=−3.09；$R2$=0.23；P<0.001）、失误率（slope=−1.49；$R2$=0.31；P<0.001）和OSATS得分（slope=+0.92；$R2$=0.18；P=0.001）进行线性分析，发现训练中所有模拟操作均较前次表现更好（图3）。

肝空肠吻合（HJ）：在5次训练操作后，耗时逐渐减少（首次操作耗时32 min，第5次操作耗时21 min；P=0.001）；失误率逐渐降低（首次操作失误6次，第5次操作失误3次；P=0.007）；OSATS得分逐渐升高（首次操作19分，第5次操作23.8分；P=0.004）。在5次操作培训之后，学员们均没能在耗时（P=0.041）、失误率（P=0.029）和OSATS得分（P=0.041）上达到相应的标准。但对耗时（slope=−2.02；$R2$=0.17；P=0.001）、失误率（slope=−0.64；$R2$=0.11；P=0.008）和OSATS得分（slope=+0.86；$R2$=0.12；P=0.006）进行线性分析，发现均较首次操作表现得更好（图4）。

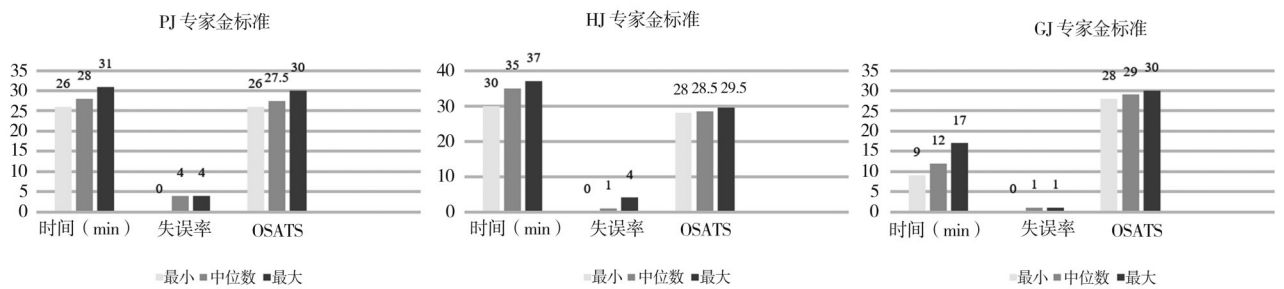


图1　3种吻合操作金标准情况

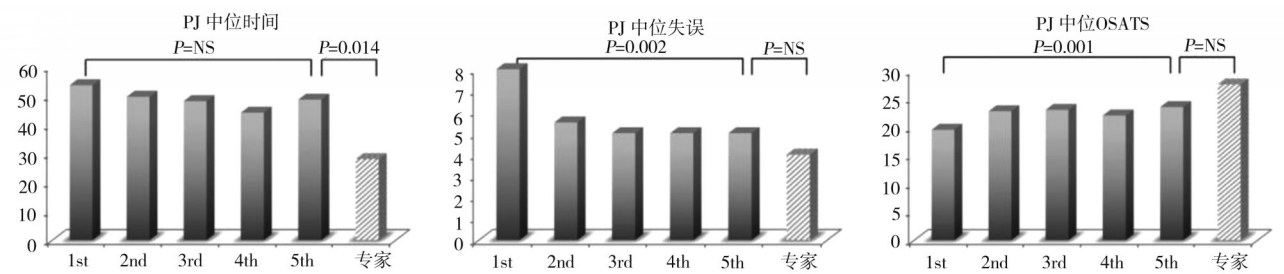


图2　PJ模拟训练结果

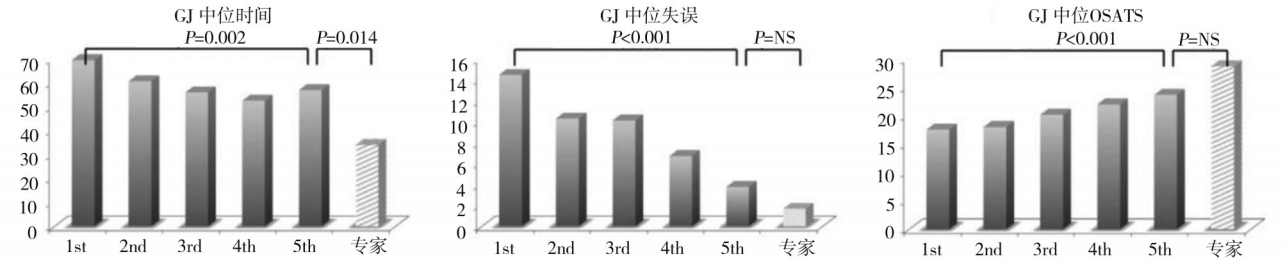


图3　GJ模拟训练结果

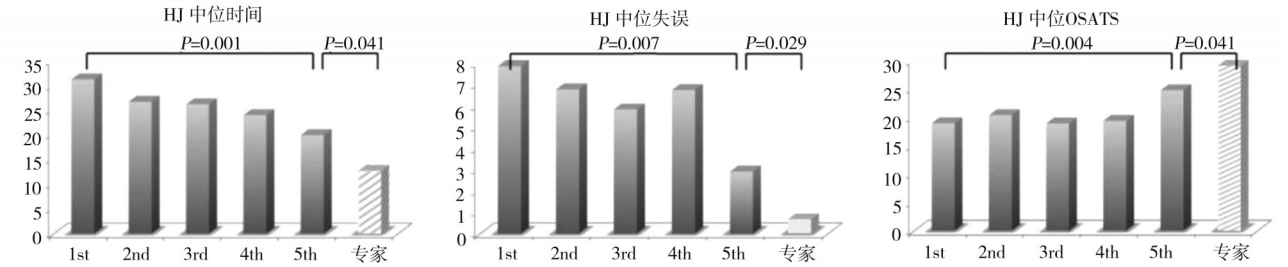


图4　HJ模拟训练结果

3　讨论

当前由美国胃肠内镜外科医师学会(Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons, SAGES)开发、美国外科委员会(American Board of Surgery, ABS)授权的培训课程可以有效提高外科医师的腹腔镜和内窥镜操作水平,但尚无相应的课程能提升达芬奇机器人手术的熟练度。而随着机器人手术的兴起,迫切需要行之有效的培训方法来降低机器人手术的学习曲线[6]。UPMC开展的此次培训课程给了我们启示:将机器人操作系统模拟训练、关键步骤的吻合模拟训练、实战手术教学等分步开展,采用循序渐进的训练方式可以让学员逐步熟悉达芬奇机器人手术系统,并在开展机器人外科手术之前提升其机器人手术熟练程度。

此次UPMC开展培训课程的研究结果显示,课程培训对象在完成培训后的各项评分指标较培训前几乎都有明显改善。但仔细观察后不难发现,训练中的某些指标相对较难改进。比如,耗时是3种吻合模拟中最难提高的指标,尤其在PJ模拟训练中,耗时是唯一没有任何改善的指标。笔者考虑这与PJ是胰十二指肠切除术中最困难的操作有关,而如何进一步提高和改进,需进一步研究。

UPMC吻合模拟训练是直接在达芬奇机器人手术系统上进行,但限于时间和人力成本,长期大规模直接在达芬奇系统上进行模拟吻合培训是不具有可行性的。Vitish-Sharma等[7]建议,为了快速提高操作水平,最好在模拟操作台和腹腔镜训练箱上同时进行训练。因此,研究者建议通过模拟操作台来熟悉机器人控制台的各项操作,同时通过腹腔镜训练箱中的组织吻合模拟训练来提升组织处理、视觉反馈、精准操作的能力,再在达芬奇系统上进行模拟吻合培训可能会缩短机器人手术学习曲线,并降低培训成本。

另外,腹腔镜训练箱中所采用的无机物(例如peg transfer and cutting shapes out of cloth)缺乏解剖学特征和人体组织的真实性[8]。在创伤科、妇科、普外科和血管外科等几个外科领域,以实体标本为载体的培训课程表现出了较大的优势[9]。例如SIM Life,通过在人体标本上使用体外循环及辅助呼吸系统来模拟真实的人体环境,其同时具备了解剖学特性和器官组织的真实性。但是,如果长期使用实体标本,其标本数量、人员配置和培训成本均将面临严峻的挑战——SIM Life的成本约为 $ 2 200/人/天,完成一个完整的whipple手术需要约 $ 3 600,花费高昂。而本项训练中采用的仿真组织与人体组织有一定程度的相似性,价格相对便宜,完成3项吻合训练只需要约 $ 150,且组织材料可重复使用,能极大地节省成本。

对于达芬奇手术机器人培训,国内从引入达芬奇手术机器人系统开始便引发巨大讨论,有数家大型医疗中心已经仿照国外的先进经验,建立了达芬奇手术机器人国际培训中心。其中以长海医院为例[10],早在2017年便开始对国内的数百名优秀人才

进行达芬奇手术机器人培训。培训内容由网络学习课程、现场模拟课程和动物实验课程组成。网络学习课程是对基础理论知识的掌握与测试；现场模拟课程是使用机器人操作平台进行模拟训练，如穿针过环、缝合海绵等；动物实验课程则包括镜头与器械的操控、组织缝合、血管游离与结扎等项目的培训及考核。但通过问卷调查发现，存在培训时间较短、课程安排欠合理、培训课程标准缺乏、培训手段单一及教学配套不完善等问题。杨琨等[11]提出了“BUS”（初、中、高）培训体系，其主要特色为 Basic 阶段专注于手术助手/器械护士的床边技能培训和机器人技术的初步了解，Ultra 和 Super 阶段为主刀医生的技能培训，对每位学员建立独立档案，记录学员的操作考核成绩和录像。周宁新等[12]则提出，应当将机器人操作者及其团队作为整体进行培训，机器人操作者先进行基础培训（完成由机器人公司提供的为期 2 天的实地操作课程），在取得“主刀外科医生”证书后，在导师/督导员的指导下进行高级培训（如专题讲座、病例观摩、活体和无生命实物的培训课程等）。

目前，国内的培训体系仍存在许多问题，其中最重要的就是缺乏评估受训者熟练程度的客观标准，无法对机器人外科医生的学习情况进行客观评价。UPMC 所使用的建立操作金标准、双盲评分原则、表面效度评估、Likert 量表评分、结果多维统计学分析等，能相对客观地评价学员的学习收获，是国内开展规范化培训的可借鉴之处。另外，为了平衡成本与培训效果，UPMC 提出将胰十二指肠切除术中的 3 个关键吻合拆分培训，缩短了每次培训的时间和难度。通过使用仿真材料模拟人体组织，在极大缩减成本的情况下，仍然不影响培训效果。这种化整为零、化繁为简的做法，也值得学习和借鉴。

除了缺乏评估熟练程度的客观标准之外，机器人手术的高年资专家，各项模拟所需的设备材料（如模拟操作台、腹腔镜训练箱、仿真组织等），这些都仅在大型的医学中心才具备。引进这些设备材料和人员配置的成本正是这项课程广泛开展的主要障碍，而这些恰恰是培训课程的重要组成部分。因此，推广机器人培训课程不仅需要系统地提出量化熟练度的客观标准，而且需要简化各个环节所需资源、降低成本。

作为目前世界上最先进的微创外科辅助工具，机器人手术辅助系统实现了外科手术微创化、智能化和数字化的融合统一，并广泛应用于各个外科领域。在此背景下，完善机器人手术的系统化培训是大势所趋，制定符合我国国情的培训策略，打破国外培训的垄断，能为加快我国机器人手术人才的培养建设提供有力保障。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明　唐浩：提出论文构思、撰写论文；陈勇：总体把关、审订论文

参考文献

[1] Fecso AB, Szasz P, Kerezov G, et al. The effect of technical performance on patient outcomes in surgery : a systematic review [J]. Ann Surg, 2017, 265(3): 492-501. DOI: 10.1097/SLA.0000000000001959.

[2] Hogg ME, Zenati M, Novak S, et al. Grading of surgeon technical performance predicts postoperative pancreatic fistula for pancreaticoduodenectomy independent of patient-related variables [J]. Ann Surg, 2016, 264(3): 482-491. DOI: 10.1097/SLA.0000000000001862.

[3] Helling TS, Khandelwal A. The challenges of resident training in complex hepatic, pancreatic, and biliary procedures [J]. J Gastrointest Surg, 2008, 12(1): 153-158. DOI: 10.1007/s11605-007-0378-6.

[4] Tam V, Zenati M, Novak S, et al. Robotic pancreatoduodenectomy biotissue curriculum has validity and improves technical performance for surgical oncology fellows [J]. J Surg Educ, 2017, 74(6): 1057-1065. DOI: 10.1016/j.jsurg.2017.05.016.

[5] Hogg ME, Tam V, Zenati M, et al. Mastery-based virtual reality robotic simulation curriculum: the first step toward operative robotic proficiency [J]. J Surg Educ, 2017, 74(3): 477-485. DOI: 10.1016/j.jsurg.2016.10.015.

[6] Broholm M , Rosenberg J . Surgical residents are excluded from robot-assisted surgery [J]. Surg Laparosc Endosc Percutan Tech, 2015, 25(5): 449-450. DOI: 10.1097/SLE.0000000000000190.

[7] Vitish-Sharma P, Knowles J, Patel B. Acquisition of fundamental laparoscopic skills: is a box really as good as a virtual reality trainer? [J]. Int J Surg, 2011, 9(8): 659-661. DOI: 10.1016/j.ijsu.2011.08.009.

[8] Sheckter CC, Kane JT, Minneti M, et al. Incorporation of fresh tissue surgical simulation into plastic surgery education: maximizing extraclinical surgical experience [J]. J Surg Educ, 2013, 70(4): 466-474. DOI: 10.1016/j.jsurg.2013.02.008.

[9] Carey JN, Rommer E, Sheckter C, et al. Simulation of plastic surgery and microvascular procedures using perfused fresh human cadavers [J]. J Plast, Reconst Aesthet Surg, 2014, 67(2): e42-e48. DOI: 10.1016/j.bjps.2013.09.026.

[10] 刘意抒，蔡丽萍，李建萍，等. 达芬奇手术机器人培训开展情况分析[J]. 解放军医院管理杂志，2018，25(7)：652-654. DOI: 10.16770/J.cnki.1008-9985.2018.07.016.

[11] 杨琨，张林，王行环，等. 浅论基于机器人手术辅助培训系统的“初、中、高”级培训体系[J]. 中华医学杂志，2016，96(18)：1396-1398. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2016.18.002.

[12] 周宁新，刘全达，陈军周，等. 机器人外科时代的医师培训与教育[J]. 中国普外基础与临床杂志，2011，18(7)：677-681.

（收稿日期：2020-09-14）
（本文编辑：唐宗顺）