

头颈肿瘤与智慧外科专题 • 临床经验与技术交流 •

## 虚拟手术仿真培训系统在头颈肿瘤外科医师训练中的应用\*

王梓霖, 郭陟永, 刘一戈, 胡俊磊, 周子隼, 韩婧, 陈晓军, 张陈平, 刘剑楠<sup>△</sup>

200011 上海, 上海交通大学医学院附属第九人民医院 口腔颌面头颈肿瘤科, 上海交通大学口腔医学院, 国家口腔医学中心, 国家口腔疾病临床医学研究中心, 上海市口腔医学重点实验室(王梓霖、郭陟永、刘一戈、胡俊磊、周子隼、韩婧、张陈平、刘剑楠); 200240 上海, 上海交通大学 机械与动力工程学院(陈晓军)

**[摘要]** 目的: 为进一步解决因头颈部解剖复杂、重要的组织结构较多而导致头颈肿瘤外科医师培训难度大、经验积累缓慢等问题, 提供新方法和新思路。方法: 对 30 名经过外科基础训练的住院医师、规培医师、进修医师和临床研究生开展虚拟手术仿真培训, 对满意度进行评价。对 10 名接受过传统培训的医师开展虚拟手术仿真培训, 与传统培训进行对比调查并反馈建议。结果: 学员和医师对该培训系统的使用方便性、虚拟环境逼真性、操作的反馈性认可度较高。结论: 在进行头颈肿瘤外科医师培训中引入虚拟手术仿真培训, 可以提高学员的理论和实践水平, 为头颈肿瘤外科医师的培养提供了简便、易行、系统性的虚拟培训手段, 是一种值得推广和应用的培训模式。

**[关键词]** 虚拟手术仿真培训; 头颈肿瘤外科; 智慧外科

**[中图分类号]** R782.05 **[文献标志码]** A doi:10.3969/j.issn.1674-0904.2021.12.007

**引文格式:** Wang ZL, Guo ZY, Liu YG, et al. Application of virtual reality – based simulation system in the training of surgeons for head and neck tumors[J]. J Cancer Control Treat, 2021, 34(12): 1131 – 1135. [王梓霖, 郭陟永, 刘一戈, 等. 虚拟手术仿真培训系统在头颈肿瘤外科医师训练中的应用[J]. 肿瘤预防与治疗, 2021, 34(12): 1131 – 1135.]

## Application of Virtual Reality – Based Simulation System in the Training of Surgeons for Head and Neck Tumors

Wang Zilin, Guo Zhiyong, Liu Yige, Hu Junlei, Zhou Zijie, Han Jing, Chen Xiaojun, Zhang Chenping, Liu Jiannan

Department of Oral and Maxillofacial – Head and Neck Oncology, Shanghai Ninth People's Hospital (also named College of Stomatology) Affiliated to School of Medicine of Shanghai Jiao Tong University (also named Shanghai Key Laboratory of Stomatology, National Clinical Research Center for Oral Diseases, or National Center for Stomatology), Shanghai 200011, China (Wang Zilin, Guo Zhiyong, Liu Yige, Hu Junlei, Zhou Zijie, Han Jing, Zhang Chenping, Liu Jiannan); School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China (Chen Xiaojun)

**Corresponding author:** Liu Jiannan, E-mail: laurence\_ljn@163.com

This study was supported by grants from Shanghai Ninth People's Hospital (No. QC201901).

**[Abstract]** **Objective:** To provide new methods and ideas in the training of surgeons for head and neck oncology with virtual reality – based simulation system, in order to further resolve the slow experience gaining and other difficulties in traditional training mainly caused by complicated anatomical structures in head and neck oncology.

**Methods:** Virtual surgery simulation training was carried out for 30 doctors [including interns and those who were receiving standardized residency training (incumbent or not) or refresher courses].

**[收稿日期]** 2021-04-20 **[修回日期]** 2021-07-29

**[基金项目]** \* 上海九院青年医师协同创新团队(编号: QC201901)

**[通讯作者]** <sup>△</sup>刘剑楠, E-mail: laurence\_ljn@163.com

Feedback on the new training system was gathered from 10 doctors who had received traditional training before virtual surgery simulation training. Effects of two training modes were compared. **Results:** Compared to traditional training system, the new training system was well recognized by trainees in the ease of use, the fidelity of the virtual environment, and operational feedback. **Conclusion:** The training of surgeons in head and neck oncology with virtual reality – based simulation system can improve trainees' skills theoretically and practically, thus providing new methods and ideas for the training of surgeons for head and neck oncology. It is a new training mode worthy of promotion and application.

[**Key words**] Virtual reality surgery simulation training; Head and neck tumor surgery; Intelligent surgery

随着手术要求不断提高、国内医患关系日益复杂,低年资外科医师独立完成复杂手术的机会越来越少,外科医师得到传统师徒式训练的学习效果逐渐难以满足手术要求<sup>[1-2]</sup>。头颈肿瘤外科涉及到口腔、鼻咽、咽喉以及腮腺、甲状腺等解剖部位,疾病种类繁多,诊治手段多样复杂,这些进一步为头颈肿瘤外科医师的培训带来一定困难<sup>[2]</sup>。在传统头颈肿瘤外科医师培训中,人的尸体或动物样本是主要的训练材料,然而动物生理结构与人体存在着较大的差异,基于动物的手术培训缺少人体手术的真实感,教学用人尸体数量极其有限、不能重复使用,成本高且涉及伦理问题<sup>[3]</sup>。因此,如何更好地培训外科医师掌握复杂手术技巧,缩减培养周期是目前头颈肿瘤外科医师训练中的难题。

随着信息技术和数字化技术的高速发展,虚拟手术这一方法使无创下训练外科医生手术技能的愿景得以实现<sup>[4-5]</sup>。虚拟手术是指通过虚拟现实(virtual reality, VR)技术,实现逼真的视觉和触觉感受,在培训者指导下,受训者按照正规手术流程开展训练的过程<sup>[6]</sup>。利用虚拟手术系统可以开展头颈肿瘤外科的模拟手术训练,在非患者手术环境中训练头颈肿瘤外科医师,实现对手术流程的规范化训练和手术操作技能的提高<sup>[7]</sup>。受训者可以反复熟悉手术流程,建立标准的手术治疗流程体系,获得规范化的临床操作<sup>[8]</sup>,提升其手术操作技能的水平和灵活性。与传统理论授课和患者环境中的外科培训方式相比,虚拟手术仿真培训系统能有效缩短培训周期,降低各项成本,并且有效提高训练效率,使年轻外科医师也能掌握高难度手术的流程和标准<sup>[9]</sup>。因此,虚拟手术仿真培训系统为传统的医学培训提供了一个更经济和有效的解决方案<sup>[10]</sup>,但如何将该技术应用于临床医师的培训是目前医学教育领域的一个重要课题。本课题组进行医工结合,与上海交通大学机械与动力工程学院合作研发了虚拟手术仿真培训系统,并进行了初步的培训应用探索。本文介绍利用该虚拟手术仿真培训系统对头颈肿瘤外科医师培训的具体方法和体会,为进一步改进该虚拟

手术仿真培训系统提供了依据,从而通过虚拟培训提高头颈肿瘤外科医师的临床能力。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

30 名经过外科基础训练的住院医师、规培医师、进修医师和临床研究生,以及 10 名接受过传统头颈肿瘤外科培训的医师作为受训者开展虚拟手术仿真培训。

### 1.2 虚拟手术仿真培训系统

为模拟实际手术状态,虚拟手术仿真培训系统集成视觉、触觉和听觉等感官反馈,供受训者对手术过程进行模拟和训练,这其中包括了视觉系统和力学传感系统操作臂等,利用患者的二维医学图像序列重建出三维解剖模型。受训者佩戴快门式眼镜进入沉浸式系统(Display 300, SenseGraphics Ltd),该系统能为受训者呈现一个 3D 模拟的沉浸场景,配合声音系统能带来身临手术现场的感觉。培训过程利用力反馈仪器(Omega. 6, ForceDimension Ltd)能控制虚拟场景中手术器械的位置和姿态,便于受训者调整手术器械的位置;此外,力反馈仪器触碰到颌骨肿物模型时能实时感受到回馈力,模拟手术的真实触觉。受训者操作机械臂模拟切除肿物时,手术器械与颌骨肿物模型实时进行相交测试,根据碰撞检测结果,计算手术操作力的大小和颌骨组织的变形情况,产生相应频率的手术声音,并分别通过 Omega. 6、Display 300 和音箱设备传递给培训者,以提供触觉、视觉和听觉上的反馈<sup>[11]</sup>。

### 1.3 颌骨肿物切除模拟训练方法

根据临床工作中颌骨切除和重建的流程,首先由培训者调取颌骨肿物的建模数据,在系统中构建颌骨肿物的视觉模拟物<sup>[12]</sup>。受训者按规范的手术步骤制定手术方案,包括肿物切除的范围和颌骨重建的方案,随后按手术流程进行术前各项准备工作。受训者佩戴 VR 眼镜后,可以通过立体视觉观察到建模后仿真的颌骨肿物图像,同时可以见到模拟的手术器械图像。受训者手持模拟截骨器械,包括来

复锯等模拟器械,移动仿真器械和踩仿真来复锯踏板后可以见到仿真的器械移动画面以及听到声音。受训者根据 VR 视觉中模拟的颌骨肿物按照术前制定的手术方案进行肿物切除。模拟手术器械具有的力反馈作用可以模拟手术中颌骨切除的实际感觉,从而给受训者逼真的模拟训练效果。根据术前设计的重建手术方案进行模拟颌骨重建手术,颌骨肿物

切除后,进行包括骨移植和钛板的固定等颌骨重建手术(图 1)。培训者在受训者操作过程中可以在屏幕中观察到受训者的操作过程,并对其过程进行指导和点评。培训者最终对手术切除和重建的结果进行打分并予以评价。训练结束后由受训者对训练效果进行主观评价。

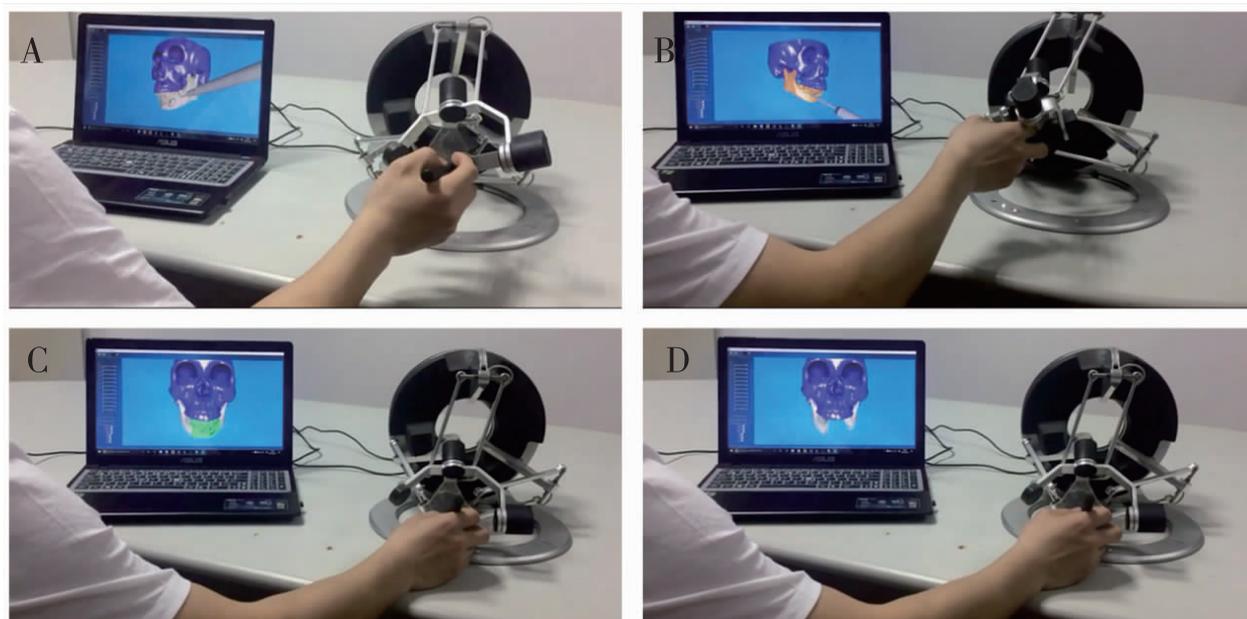


图 1 颌骨肿物切除模拟训练

Figure 1. Simulation Training of Maxillofacial Surgery

A. Excision along the left edge of the mandibular tumor; B. Excision along the right edge of the mandibular tumor; C. The range of simulated tumor resection; D. The state of jaw defect after simulated tumor resection.

#### 1.4 培训效果及学员满意度评价

在训练结束后,分别从虚拟手术仿真培训系统的使用方便性、虚拟视觉环境的逼真性、虚拟力反馈的逼真性、以及总体评价等几个模块对 30 名受试学员进行了调查,填写课题组准备的调查问卷。问卷内容包括学员对方便性模块(包括软件的易学程度、人机交互友好性、可操作性、软件稳定性等几个选项)、虚拟视觉环境模块(包括颅颌面骨组织和软组织建模的真实感、手术器械建模的真实感、手术视野的真实感等几个选项)、虚拟力反馈模块(包括力反馈的稳定性、实时性、真实性等几个选项)这 3 个模块的主观评价。参考以上方面,让 10 名接受过传统头颈肿瘤外科手术培训的医师对虚拟手术仿真培训系统培训与传统培训模式进行主观评价。

#### 1.5 数据统计

收集整理调查问卷资料,利用 SPSS 22.0 软件

对所得数据进行统计学分析,利用卡方检验评价虚拟手术仿真培训系统和传统培训模式对比,以  $P < 0.05$  为差异具有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 学员培训评价

对调查问卷的分析与统计结果提示,大多数学员对该培训系统的使用方便性满意,虚拟环境逼真性认可度较高,操作的反馈性认可度也较高(表 1)。

### 2.2 虚拟手术仿真培训系统和传统培训模式对比评价

通过对比虚拟手术仿真培训系统和传统培训模式(表 2),大多数接受过传统培训模式的医师对虚拟手术仿真培训系统的使用方便性和虚拟环境逼真性认可度较高,差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ),操作的反馈性认可度差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。

表 1 方便性和逼真性使用调查表 (N)

Table 1. Questionnaire of Convenience and Authenticity [N]

Variable	Very good	Good	Neither poor nor good	Poor	Very poor	Total
Ease of use	24	3	2	1	0	30
Fidelity of the virtual environment	18	11	1	0	0	30
Fidelity of operational feedback	15	10	5	0	0	30

表 2 虚拟手术仿真培训系统和传统培训模式对比

Table 2. Comparison of Traditional Training with Virtual Training

Variable	Virtual reality surgery simulation training (n)	Traditional training (n)	$\chi^2$	P
Ease of use	8	2	7.200	0.007
Fidelity of the environment	8	2	7.200	0.007
Fidelity of feedback	5	5	0	1

### 3 讨论

在口腔颌面头颈肿瘤手术中,颌骨肿物的切除与重建是临床工作中的重点与难点<sup>[13]</sup>,头颈肿瘤外科医师的训练往往需要较长的时间。传统头颈肿瘤外科培训方式是临床实践中“师傅带徒弟”式的培训方式,学员作为助手磨练手术技能和熟悉手术流程。虚拟仿真培训的对象主要是针对还没有进入临床实践的学员,通过虚拟仿真的实景模拟手术环境及手术操作流程,提升培训学员的临床前实践能力,熟悉手术流程和方案。头颈肿瘤手术中以颌骨肿物切除与重建为特点模拟手术流程开展训练,其主要目的是对颌颌面外科中常见的手术操作,例如对上下颌骨块的切割、钻孔和磨削等操作进行仿真、模拟和培训<sup>[14]</sup>。大部分受训者对虚拟手术仿真培训系统的功能和效果给予了肯定,从表 1 和表 2 的调查结果可以看出虚拟手术仿真培训系统所提供的视觉仿真环境和触觉反馈感与真实临床比较接近,能够为术前准备和新手培训起到良好的帮助作用,接受过传统头颈肿瘤外科培训的医师对虚拟手术培训系统也较为认可。为验证虚拟手术仿真培训系统的真实性和有效性,开发系统时口腔颌面外科医师和相关领域的专家学者对该系统进行了体验和评估,结果表明虚拟手术仿真培训系统的视觉仿真环境和触觉反馈感与真实临床较为接近,能够为术前准备和新手培训提供有效的帮助<sup>[13]</sup>。因此,本课题组选择了 30 名经过外科基础训练的住院医师、规培医师、进修医师和临床研究生进行虚拟手术仿真培训,同时又选择了 10 位具有临床经验的医师,在其拥有临床工作经验的基础之上进行虚拟仿真培训,之后对

虚拟仿真系统进行主观评价,判断虚拟仿真系统是否适合临床培训。选择具有临床经验医师的好处是,医师们能对比看待虚拟仿真培训的优势与劣势,并且能提出更多的指导意见,从而为下一步虚拟仿真培训系统的改进提供参考。

部分受训者认为虚拟手术仿真培训系统还存在一些不足,比如软组织的切割与剥离是开放性手术操作的第一步,该系统缺少对口腔黏膜、皮肤等软组织切割操作的仿真模拟。同时手术操作过程中,止血也是外科基本操作之一,对流血、冒烟等手术现象的仿真仍具有进一步改进和完善的空间。为了能更加逼真地模拟整个手术过程,增强手术培训效果,目前虚拟手术仿真培训系统仅对骨组织操作中的相关问题进行了研究,后续工作将加强对其他头颈肿瘤外科相关术式的探索,如腓骨移植重建<sup>[15]</sup>,增加缝合打结等虚拟操作<sup>[16]</sup>,牙种植<sup>[17]</sup>等。未来我们将在系统中模拟出完整的皮肤、黏膜等软组织,同时会增加血管、神经等重要解剖结构,将虚拟手术仿真和培训的可操作区域延伸至整个颌颌面部分,培训者可以在整个颌颌面区域内进行模拟仿真,从而进一步模拟手术环境,并增加电刀和缝合针等操作界面,更好地模拟整个手术过程,让学员对手术流程有更深刻的认识,提高培训效果和效率,并通过建立评价系统,对培训者的仿真培训情况进行评价打分。

随着信息技术和数字化技术的发展,虚拟手术成为解决传统外科医师训练周期长、耗费大等问题的可能,未来将在目前颌骨肿物切除基础上进一步开发其他术式,更好地培训头颈肿瘤外科医师<sup>[18-20]</sup>。接受虚拟仿真培训的学员通常为初学者,不能直接进行临床操作,仍需进一步临床实践。虚

拟仿真培训的学员可以多次重复训练,不受时间和场地因素限制,对于手术流程和操作的熟悉程度较传统培训方式好,但与传统培训相比较无法进行单一变量的比较。虚拟手术仿真培训系统能模拟在头颈肿瘤外科手术中的主要流程和操作过程,有针对性地训练头颈肿瘤外科医师和提高他们临床水平,具有良好的应用潜力和一定的推广应用价值。

**作者声明:**本文全部作者对于研究和撰写的论文出现的不端行为承担相应责任;并承诺论文中涉及的原始图片、数据资料等已按照有关规定保存,可接受核查。

**学术不端:**本文在初审、返修及出版前均通过中国知网(CNKI)科技期刊学术不端文献检测系统的学术不端检测。

**同行评议:**经同行专家双盲外审,达到刊发要求。

**利益冲突:**所有作者均声明不存在利益冲突。

**文章版权:**本文出版前已与全体作者签署了论文授权书等协议。

#### [参考文献]

- [1] 何雨晨,谢似平,罗雄,等. 虚拟仿真实验教学在临床思维训练中的应用[J]. 高校医学教学研究(电子版),2019,9(3):3-6.
- [2] Mercury OA, Danko D, Pettitt BJ, et al. An online plastic surgery nonclinical elective: Virtual surgical education in the era of coronavirus disease of 2019 [J]. *Plast Reconstr Surg*, 2021, 147(4): 726e-727e.
- [3] 郭陟永,丁张帆,苗诚,等. 混合现实技术在口腔颌面-头颈肿瘤手术中应用的初步探索[J]. *华西口腔医学杂志*, 2020, 38(4): 470-474.
- [4] 高阳,赵沁平,周学东,等. 虚拟现实技术在新医科人才培养中的作用及应用现状[J]. *四川大学学报(医学版)*, 2021, 52(2): 182-187.
- [5] Rogers MP, DeSantis AJ, Janjua H, et al. The future surgical training paradigm: Virtual reality and machine learning in surgical education [J]. *Surgery*, 2020, 169(5): 1250-1252.
- [6] Winkler-Schwartz A, Bissonnette V, Mirchi N, et al. Artificial intelligence in medical education: Best practices using machine learning to assess surgical expertise in virtual reality simulation [J]. *J Surg Educ*, 2019, 76(6): 1681-1690.
- [7] 谭积斌,罗俊,唐孙茹,等. 虚拟现实技术在医学教育中的研究现状和热点——基于CNKI的知识图谱可视化分析[J]. *中国医学教育技术*, 2020, 34(2): 153-159.
- [8] 张钰芳,胡砚平,杨海东. 混合现实技术在口腔颌面外科教学中的应用研究[J]. *中国继续医学教育*, 2020, 12(29): 66-69.
- [9] 姜冠潮. 中国医学模拟教学现状与未来发展思考[J]. *高校医学教学研究(电子版)*, 2017, 7(1): 18-22.
- [10] Elledge R, Williams., Fowell., et al. Maxillofacial education in the time of COVID-19: The West Midlands experience [J]. *Br J Oral and Maxillofac Surg*, 2020, S0266-4356(20): 30373-30379.
- [11] Aspari AR, Ramesh V, Lakshman K. An indigenous virtual reality-based simulator—a tool in surgical training [J]. *Indian J Surg*, 2020, 83: 176-182.
- [12] Lin YP, Wang XD, Wu FuL, et al. Development and validation of a surgical training simulator with haptic feedback for learning bone-sawing skill [J]. *J Bio Inform*, 2014, 48: 122-129.
- [13] Wu FuL, Chen XJ, Lin YP, et al. A virtual training system for maxillofacial surgery using advanced haptic feedback and immersive workbench [J]. *Int J Med Robot*, 2014, 10(1): 78-87.
- [14] 周子走,朱向阳,韩婧,等. 基于机器学习的颌骨特征点还原法辅助跨中线颌骨缺损重建[J]. *中国口腔颌面外科杂志*, 2020, 18(4): 323-327.
- [15] 莫勇军,谭海涛,杨克勤,等. 增强现实技术辅助实施腓骨皮瓣游离移植修复胫骨及其软组织缺损[J]. *中华显微外科杂志*, 2021, 44(1): 24-28.
- [16] 吴昊,张峰峰,詹蔚,等. 虚拟手术缝合线实时打结仿真研究[J]. *计算机仿真*, 2021, 38(3): 331-335, 359.
- [17] Zhang BP, Li SH, Gao ST, et al. Virtual versus jaw simulation in oral implant education: A randomized controlled trial [J]. *BMC Med Educa*, 2020, 20(1): 272.
- [18] 于德栋,沈国芳. 虚拟现实技术在手术培训中的应用及展望[J]. *中华口腔医学研究杂志(电子版)*, 2011, 5(5): 538-541.
- [19] Cao C, Cerfolio RJ. Virtual or augmented reality to enhance surgical education and surgical planning [J]. *Thorac Surg Clin*, 2019, 29(3): 329-337.
- [20] Orland MD, Patetta MJ, Wieser M, et al. Does virtual reality improve procedural completion and accuracy in an intramedullary tibial nail procedure? A randomized control trial [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2020, 478(9): 2170-2177.