·教学改革·

基于虚拟现实仿真技术的心肺复苏培训系统的设计与实现

沈艳[1]　刘宁[2]　周卫红[3]　许碧云[4]　沈苏南[5]
[1]南京大学医学院附属鼓楼医院教育处，南京　210008；[2]南京大学医学院附属鼓楼医院重症医学科，南京　210008；[3]南京大学医学院附属鼓楼医院健康管理中心，南京　210008；[4]南京大学医学院附属鼓楼医院统计室，南京　210008；[5]南京大学医学院，南京　210008
通信作者：沈苏南，Email：shensn@nju.edu.cn

【摘要】 本研究选取77名学员、38名教师为调查对象，对传统心肺复苏课程综合满意度培训现状进行分析，显示师生对于现有课程的培训效果满意度不高，尤其表现在教学设备、教学环境方面的欠缺；进一步结合虚拟现实技术的应用优势，梳理系统的架构设计及详细设计思路，探讨基于虚拟仿真技术设计心肺复苏培训系统的可行性。

【关键词】 虚拟现实；　心肺复苏；　培训考核系统
【中图分类号】 R-05
基金项目：南京大学教改课题（201623B7）；2016年一般教改项目
DOI：10.3760/cma.j.cn116021-20231022-01953

Design and implementation of cardiopulmonary resuscitation training system based on virtual reality simulation technology

Shen Yan[1], Liu Ning[2], Zhou Weihong[3], Xu Biyun[4], Shen Sunan[5]
[1]Education Department, Gulou Hospital Affiliated to Nanjing University School of Medicine, Nanjing 210008, China; [2]Department of Intensive Care Medicine, Gulou Hospital Affiliated to Nanjing University School of Medicine, Nanjing 210008, China; [3]Health Management Center, Gulou Hospital Affiliated to Nanjing University School of Medicine, Nanjing 210008, China; [4]Statistics Department, Gulou Hospital Affiliated to Nanjing University School of Medicine, Nanjing 210008, China; [5]Nanjing University School of Medicine, Nanjing 210008, China
Corresponding author: Shen Sunan, Email: shensn@nju.edu.cn

【Abstract】 This study surveyed 77 students and 38 teachers to analyze the current situation of comprehensive satisfaction with training in the traditional cardiopulmonary resuscitation courses. The results showed that teachers and students were not satisfied with the training effectiveness of the existing courses, especially in terms of teaching equipment and teaching environment. By further integrating the application advantages of virtual reality technology, the study outlined the system architecture design and detailed design ideas, and explored the feasibility of designing a cardiopulmonary resuscitation training system based on virtual simulation technology.

【Key words】 Virtual reality;　Cardiopulmonary resuscitation;　Training and assessment system
Fund program: Education Reform Project of Nanjing University (201623B7); General Education Reform Project in 2016
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20231022-01953

虚拟现实（virtual reality，VR）的运用源于20世纪60年代，是一种集成性的信息技术，综合了计算机图形图像处理、互联网、传感器、多媒体、人机交互、仿真系统等多种技术，为人们呈现一个具有较强沉浸感、模拟真实环境的虚拟世界[1]。VR技术在教学中的应用日益增多，充分发挥了高拟真、可重复、高安全等优势，提升了教学培训效果[2-3]，弥补了培训考核模式受场地、设备、时间等限制的缺陷[4]。虚拟仿真技术与医学的结合已经对医学教育领域产生影响，逐步成为各大院校新的研究方向[5]。国内研究多报道低仿真的情景模拟教学，通过设计情景，让学生扮演角色，从中获取知识和提高能力[6]。这种方式所模拟的情景真实度有限，与实际情景存在一定差距[7]，如模拟的情景较随意而不够真实、与实践教学之间存在配合上的脱节等[8]。心肺复苏技术作为全民都应掌握的急救技能，能够有效提高心脏骤停患者救治成功率[9]。《2017年美国心脏协会心肺复苏及心血管急救指南》强调高质量心肺复苏的重要性，要求每位临床医师必须熟练掌握心肺复苏操作技能。心肺复苏操作的规范性、熟练度是心脏骤停患者能否成功救治的关键，需要进行大量的操作训练。本研究希望借助虚拟仿真技术及其配套设备的应用，使用线上图形交互化学习、线下沉浸式场景考核的方式，搭建全方位包裹式学习环境。

1　传统心肺复苏课程满意度调查

为了解教师与学员对现有课程教学的满意度，从课程组织、课程互动性及趣味性、教学环境及设备、培训效果等方面设计问卷，分别发放给授课教师和学员。

参加本次调查的学员共77人，之前均有一定CPR理论基础和实践能力。参加调研学员中男性28人（36.36%），女性49人（63.64%）。学员类型为实习生26人（33.77%），研究生12人（15.58%），住培医师28人（36.36%），其他类型11人（14.29%）。学历构成为专科生12人（15.58%），本科生21人（27.27%），硕士研究生36人（46.75%），博士研究生8人（10.39%）。

参加本次调查的教师共38人，男性18人（47.37%），女性20人（52.63%）。职称类型为初级7人（18.42%），中级19人（50.00%），副高9人（23.68%），正高3人（7.89%）。学历构成为专科生1人（2.63%），本科生8人（21.05%），硕士研究生24人（63.16%），博士研究生5人（13.16%）。

结果可以看出，现有课程的培训效果满意度不高，尤其表现在教学设备、教学环境方面的欠缺，趣味性和互动性有待改善，培训效果存在很大的提升空间（表1、表2）。

2　心肺复苏培训体系构建

心肺复苏培训体系采用“预先学习—课堂教学—自我学习—自我评测—总结反馈”的教学循环模式，课程设置涵盖网络教学、课堂教学、课后实践3个部分。

表1　传统心肺复苏课程学员满意度调查结果（%）

项目	选项占比			
对CPR课程训练时间安排的评价	理论与训练时长均安排合理，每个学员都能得到充分练习（68.83）	理论与训练时长分布不均，理论时间过长，训练时长过短（14.29）	课程整体时间过短，理论与训练时长均不足（11.69）	课程整体时间过长，觉得浪费时间（5.19）
对CPR课程课堂互动性、趣味性的评价	课堂互动性强，趣味性高，能充分吸引学生注意力（62.34）	课堂有一定的互动，但趣味性不足（29.87）	课堂有趣味性，但互动不足，无参与感（3.90）	课堂基本无互动，无趣味性。大多为教师授课（3.90）
对传统CPR课程培训的培训效果的评价	通过课程学习，可充分熟练掌握CPR，并能在紧急情况下运用（57.14）	通过课程学习，对CPR理论知识有所了解，实践技能还须加强练习（29.87）	通过课程学习，对CPR理论与实践都有所掌握，但时间久了容易遗忘，须重复培训练习（11.69）	通过课程学习，对CPR理论与实践仍不能很好掌握（1.30）
对CPR培训课程教学设备及环境的评价	培训环境能完全很好地模拟抢救场景，设备功能完善（66.23）	模型设备基本功能尚可，但教学现场不能完全模拟临床抢救场景（31.17）	模型设备常有缺损，功能异常，影响教学使用（2.60）	
就本课程内容而言，对其是否感兴趣	非常感兴趣，愿意自主参加，并介绍给同事同学（59.74）	有一定兴趣，医院科室安排后愿意参加（29.87）	兴趣一般，必须参加时才会参加（7.79）	完全没兴趣，不太想参加（2.60）
参加过的CPR培训形式	理论授课（3.90）	理论授课+模型练习（85.71）	情景模拟（5.19）	临床床边教学（5.19）

表2　传统心肺复苏课程教师满意度调查[例(%)]

项目	很不满意	不满意	一般	满意	很满意
能为学员安排合理训练时长,能保证每位学员充分练习巩固课堂内容	0(0.00)	0(0.00)	9(23.68)	17(44.74)	12(31.58)
课堂氛围活跃;双向互动充分	0(0.00)	0(0.00)	9(23.68)	16(42.11)	13(34.21)
教学设备模型状态佳、教学环境能否再现临床场景	0(0.00)	1(2.63)	5(13.16)	18(47.37)	14(36.84)
课程达到培训成效,今后在临床及日常紧急情况下能熟练运用CPR	0(0.00)	1(2.63)	6(15.79)	20(52.63)	11(28.95)

网络教学:主要以手机、电脑为载体,要求学生在课堂前自我进行相关知识预习,并通过实名认证系统进行学习数据记录。

课堂教学:主要采用在校课堂方式进行授课,讲解心肺复苏的流程及操作方法。在教师指导下,完成周边情况判定、病情确认、心肺复苏操作等操作环节的操作规范与行为要素。

课后实践:主要采用课后虚拟仿真自我实践训练,学员在虚拟仿真教室中,利用自由实践进行实名训练。在原有课堂内容基础上,通过数字化模拟,呈现场景式沉浸式的急救场景,进一步将课堂知识进行综合应用。采用系统智能判定技术,对学员的操作流程进行严格判定与规范,要求所有学员必须严格按照操作规范流程进行训练,且对学员操作结果进行评分记录,促使学员在虚拟仿真中实践自己的理论知识,完善操作理念结合,形成身体记忆。最终,我们形成对急救教学的综合判定得分模式,对每一位学员给与此课程内容的综合得分(表3)。

2.1　心肺复苏培训系统总体设计

心肺复苏场景模拟系统应内含培训与考核2个板块。

其一,以地铁内路人突发心脏骤停场景为教学蓝本,帮助学员学习心肺复苏急救教学相关知识点和实践经验。学习内容与焦点:①评估现场环境:创造抢救环境、疏散人群、呼救;②判断意识、呼吸和循环:重唤、平卧、松解衣服、判断动脉搏动;③胸外心脏按压:部位、频率、按压手法、按压深度;④操作顺序:除颤仪到位,先行电除颤,除颤结束,持续胸外心脏按压;⑤评估复苏效果及复苏后处理:5个CPR循环后评估,评估内容(意识、瞳孔、颈动脉搏动、面色、肌张力)、复苏后处理等。

其二,以2015年美国心脏协会(American Heart Association,AHA)心肺复苏(单人)教程为指南[10-11],制定培训考核评分点,包括操作前准备、现场安全性、复苏前评估患者、呼救、检查脉搏、患者体位、胸外按压位置、频率和深度、人工呼吸、复苏质量、判断复苏效果、人文关怀等。每个评分点,通过人机交互收集学员操作数据,以checklist形式呈现,实现学员自主训练,在无人值守的情况下也可以独立完成考核。基于此完成培训系统总体设计(图1)。

2.2　心肺复苏培训系统架构设计

整套系统采用线上线下结合方式,系统包含人员身份识别子系统、交互场景数据子系统、线上教学系统、线下考核系统,主要功能为协调线上线下人员教学数据的存储,与人机交互场景的数据交换。

交互场景数据系统:采用混合虚拟现实技术,在次时代三维场景数据的加持下,精细化模拟各类病症及患者状况,结合通过数据化改造后的医学实体模型进行混合,借助可穿戴式传感器对人类的动作进行记录,同时还能够进行虚拟场景的变换,以实现个体与场景的实时互动。系统实时读取操作者的行为数据,形成症状—操作—反馈—评测的循环模式,从时间、空间、数据、行为的四维数据流叠加,高精度判断操作者的操作细节与操作反馈,形成准确详尽的反馈报告。将抽象的学习内容形象化,学生可以通过设备从多个角度对虚拟的3D模型进行观察交互,提升学生的存在感、专注度、主动性。

表3　心肺复苏课程得分模式与占比

课程内容	课程载体	学习模式	最低学习时间(min)	成果判定模式	得分占比(%)
预先学习	网络	单人	120	系统得分判定	20.00
课堂教学	学校课堂	团队	90	导师实况判定	30.00
课后实践	仿真教室	单人\团队	120	系统得分判定	50.00

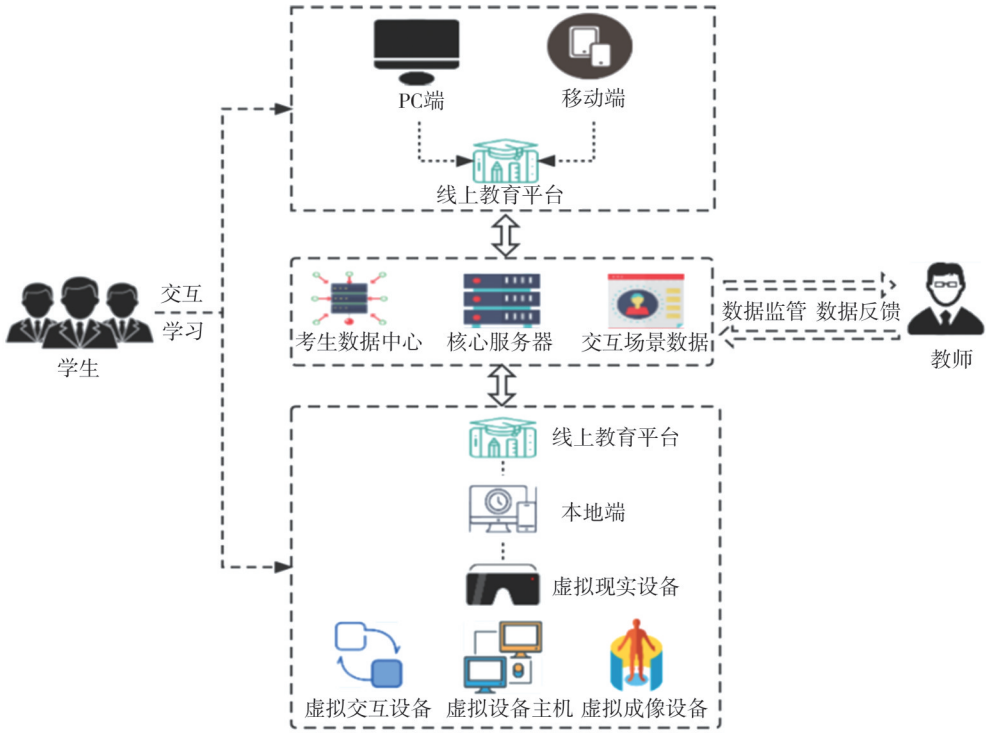


图1　系统总体设计

线上教学系统：采用互联网+技术，通过各终端的操作形式，将传统教学资源进行整合，融入视频、课件、交互程序等多种类型，形成多形式、多终端的线上教学系统。使用者可利用碎片时间进行自主学习，系统记录并统计其学习时间与学习效果，并将数据进行最终提交。

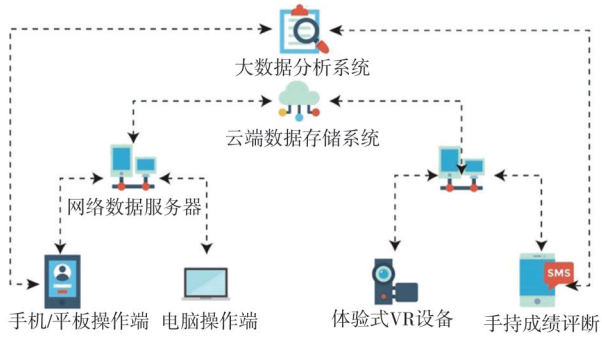


图2　系统架构设计

线下考核系统：采用虚拟现实及混合现实技术，结合混合现实体验设备，实时采集其操作数据流，并对操作结果进行综合分析。学习者可利用身份证或面部识别系统，录入人员信息。在无人化教学空间中，自由学习并进行考核。系统将以AI形式进行辅导和指正，并记录其考核流程与结果，并最终提交。

2.3　心肺复苏培训系统实现与应用

在结合心肺复苏培训板块内容知识点的原则基础上，以地铁站乘客突发心脏骤停事件为考核场景，充分考虑现实场景中存在的各类问题，开放使用者操作的自由度，将心肺复苏操作过程场景化，完全以乘客视角完成心肺复苏操作考核体验，并记录其各项操作结果，最终形成评分表进行考核反馈（图3）。

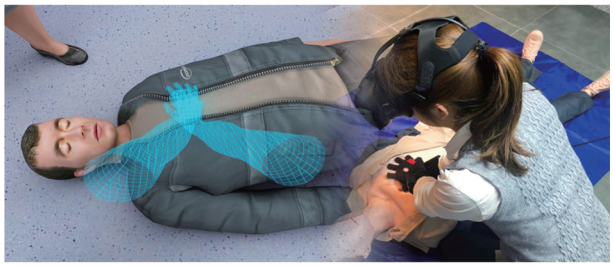


图3　培训系统操作图示

在实际运用中还建立了线上和线下结合的闭环培训模式。通过线上互动式的学习，掌握理论知识和操作要点，线下则给予多维交互体验，模拟真实场景进行沉浸式体验和交互，智能体现互动教学过程。操作者利用手机、电脑、虚拟现实设备都可

对此进行访问与数据调取同时，将在后期应用中增加网络社交功能，渗透社交因素，形成社交圈内的社交互动、学习交流、角色扮演，同时记录学习曲线，通过数据分析统计结合分析模型捕捉各类操作动作数据，进行误操作分析、偏好分析、辅助内容纠错、数据分析统计等，逐步完善培训考核系统。

3　讨论

当前心肺复苏课程培训效果欠佳，主要体现在教学设备、教学环境等方面。基于初步的应用，研究者认为，将虚拟现实仿真技术应用于心肺复苏培训系统设计和实现中是可行的。

第一，医学生能够在虚拟环境中直接参与并完成技能训练，从而获得更直观且深入的场景体验，提升学习效率；第二，所有教学资源与内容面向学习者全方位展开，学习者既可接受完整的系统化教学，同时也可根据自身的学习需求，针对不足之处反复独立练习，查漏补缺，突破常规教学模式的局限性；第三，突破时间和空间的限制，学生可在任何时间、任何地点进行自主化学习，将碎片时间高效利用；第四，技能训练过程中的虚拟实验设备和模型能够无限次、无损伤投入使用，减少教学成本；第五，系统基于全要素一体化思想，对各种灾难事故急救场景进行全面重现，包括诸如台风、地震、爆炸、燃烧、暴雨等恶劣自然环境，并配合环绕影像呈现系统与环绕立体声音效，实现从身体到心理的全方位训练，达到科普、体验、实训三位一体的训练目的；第六，基于线上和线下结合的培训理念，既能发挥线上学习的开放性、灵活性、自主性优势，又能保留线下学习的实践性，并且赋予整个教培过程更多的可衡量、可分析、可记录的教学数据，记录学习者的学习曲线，并可提供详细的数据化结果反馈。

但是在系统设计与开发的过程中，研究者也发现，虚拟现实技术在培训中的普及应用仍然面临着一系列问题。其一，在进行单个系统的开发和应用时，培训课程难以体系化，由此增加了使用成本，同时也限制了虚拟技术的推广和应用；其二，医学培训中有更多的侵入性操作，应思考如何将虚拟技术和实践操作更好地结合；其三，临床场景中，很多操作和救治是多人协同，医学培训中团队协作能力也是非常重要的，如何运用现在的元宇宙技术，实现多人在线交互，打造一套共享开放的数据平台。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明　沈艳：课题设计、教学实施和论文撰写；刘宁：教学实施、数据收集；周卫红：文献查阅；许碧云：统计分析、论文撰写；沈苏南：课题设计、论文审校

参考文献

[1] Castruccio S, Genton M G, Sun Y. Visualizing spatiotemporal models with virtual reality: from fully immersive environments to applications in stereoscopic view [J]. Journal of the Royal Statistical Society Series A, 2019, 182. DOI: 10.1111/rssa.12381.

[2] 王俊男，程彭超，奚望，等. 虚拟现实技术联合案例教学在本科生前沿外科手术队基本技能教学中的应用[J]. 中华医学教育探索杂志，2024，23(1)：103-108. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20221222-01605.

[3] 蒲军，唐华，全真，等. 虚拟现实技术应用于外科学研究生手术技能培训效果与评价[J]. 中华医学教育探索杂志，2020，19(8)：941-944. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20191223-00215.

[4] 王萌，沈艳，何宁宁，等. 基于虚拟现实技术的外科教学系统在外科手术器械教学中的应用[J]. 中国医学教育技术，2022，36(1)：60-64. DOI: 10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.202201013.

[5] 柴娜，彭锐，徐子良，等. 医学影像虚拟仿真系统在临床教学中的应用[J]. 医学教育研究与实践，2022，30(1)：108-114. DOI: 10.13555/j.cnki.c.m.e.2022.01.023.

[6] 孙燕妮，宋娟，韩敏，等. 情景模拟式教学程序联合以问题为基础的学习模式在心肺复苏教学中的应用效果[J]. 中国中西医结合急救杂志，2019，26(6)：727-729. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2019.06.024.

[7] 杨冰香，王爱玲，喻思红. 模拟教学在护理教育中的应用[J]. 护理研究，2015(4)：390-394. DOI: 10.3969/j.issn.10096493.2015.04.003.

[8] 丁宁. 情境模拟教学模式的功能定位与实现[J]. 高教探索，2018(2)：45-49. DOI: 10.3969/j.issn.1673-9760.2018.02.008.

[9] 陶秀萍. 不同培训方法在警察心肺复苏培训中的成效研究[J]. 中华灾害救援医学，2019，7(6)：309-312. DOI: 10.13919/j.issn.2095-6274.2019.06.003.

[10] 张欢，童宇平，张晓茹. 心肺复苏实时反馈装置连同反思实践培训模式在医院非医务工作者心肺复苏技能培训中的应用[J]. 职业卫生与应急救援，2019，37(2)：150-154. DOI: 10.16369/j.oher.issn.1007-1326.2019.02.012.

[11] 陈永强.《2015美国心脏协会心肺复苏及心血管急救指南更新》解读[J]. 中华护理杂志，2016，51(2)：253-256. DOI: 10.3761/j.issn.0254-1769.2016.02.022.

（收稿日期：2023-10-22）
（本文编辑：唐宗顺）