

[7] 王飒,封秀琴,张茂,等.骨髓腔腔、输液通路临床应用护理专家共识[J].中华急危重症护理杂志,2020,1(4):362-370.

[8] Peter H S, Lars F S, Mikkle B B. How many training modalities are needed to obtain procedural confidence in intraosseous access? A questionnaire study [J]. Eur J Med,2011,18(6):360-362.

[9] Christoph A P, Lars E, Beat W, et al. Structured training in intraosseous infusion to improve potentially life saving skills in pediatric emergencies—results of an open prospective national quality development project over 3 years[J]. Pediatric Anesthesi,2008,18(3):223-229.

[10] 陆雪痕. 中医护理学教学中引入视频教学模式对护生理理论知识及技术操作能力的影响[J]. 循证护理, 2022, 8(3):406-408.

[11] Shinohara M, Nakamura T, Kunikata N, et al. A half-day stroke workshop based on the Kirkpatrick model to improve new clinical staff behavior[J]. J Adv Med Educ

Prof,2020,8(1):10-17.

[12] Catling C, Hogan R, Fox D, et al. Simulation workshops with first year midwifery students [J]. Nurse Educ Pract,2016,17(12):109-115.

[13] 姜金霞,张朋佳,施雁,等. 急诊科新护士 ICU 获得性衰弱的工作坊培训[J]. 护理学杂志,2022,37(8):62-64.

[14] 彭美慈,汪国成,陈基乐,等. 批判性思维能力测量表的信效度测试研究[J]. 中华护理杂志,2004,39(9):644-647.

[15] 王巧利,冯群星,张益娥. 工作坊在新护士平衡罐疗法培训中的应用[J]. 中华护理教育,2017,14(12):919-922.

[16] 李发娣,秦金霞,郭晶,等. 微视频教学模式在临床护士失禁性皮炎知识培训中的应用[J]. 全科护理,2022,20(11):1553-1556.

[17] Eymann A, Baquero F, Bellomo M M, et al. Before and after assessment of a sexuality workshop in high-school students[J]. Archivos Argentinos De Pediatria,2019,117(5):e477-e484.

(本文编辑 吴红艳)

虚拟现实技术在个人防护装备教学中的应用

李貌,游建平,张慧兰,罗红霞,郑少琴,杨莎

摘要:目的 运用虚拟现实技术开发的个人防护装备穿脱流程仿真系统进行教学,并评价实际运用效果。方法 招募一线医务人员64名,随机分为对照组和试验组各32人。对照组采用理论+练习的常规个人防护装备穿脱流程教学模式,试验组基于虚拟现实仿真系统进行个人防护装备穿脱流程教学。比较两组人员穿脱效果,同时对试验组人员进行虚拟现实仿真系统使用体验感调查。结果 试验组选择场地和物品耗时、个人防护装备穿脱耗时显著短于对照组,穿脱考核评分显著高于对照组,穿脱过程中沾染数量及面积显著低于对照组(均 $P < 0.05$);93.75%试验组人员对虚拟现实仿真系统的使用总体体验为良好或优秀。结论 采用虚拟现实技术开展个人防护装备教学可以突破物资和场地的限制,提高培训效果。

关键词: 传染病; 医院感染; 个人防护装备; 虚拟现实技术; 穿脱流程; 教学培训

中图分类号: R47;G424.1 **DOI:** 10.3870/j.issn.1001-4152.2023.22.084

Application of virtual reality technology in personal protective equipment training Li Mao,

You Jianping, Zhang Huilan, Luo Hongxia, Zheng Shaoqin, Yang Sha. Department of Infectious Diseases, First Affiliated Hospital, Army Military Medical University, Chongqing 400038, China

Abstract: Objective This study aims to teach and evaluate the actual application effect of the simulation system for putting on and taking off personal protective equipment (PPE) developed by virtual reality technology. **Methods** A total of 64 front-line medical staff were randomly divided into a control group and a trial group, with 32 in each group. The control group adopted the conventional PPE donning and doffing process teaching mode, and the experimental group was taught based on the virtual reality simulation system. The effects between the two groups were analyzed and compared, and the experience of the test group was investigated. **Results** The experimental group used less time to select the venue and items, scored higher on the wearing and taking off effect, and had less contamination quantity and area than the control group ($P < 0.05$). 93.75% of the test group members had a good or excellent experience in using the virtual reality simulation system. **Conclusion** Virtual reality technology can break limitations of materials and venues in PPE teaching and improve the training effect.

Key words: infectious disease; nosocomial infection; personal protective equipment; virtual reality technology; putting on and taking off process; education and training

作者单位:中国人民解放军陆军军医大学第一附属医院感染病科(重庆,400038)

李貌:女,本科,主管护师

通信作者:杨莎,13983959121@163.com

科研项目:中国人民解放军陆军军医大学科技创新能力提升专项项目(2020XGBD10)

收稿:2023-05-10;修回:2023-08-17

个人防护装备(Personal Protective Equipment, PPE)是一套保护穿着者免受工作环境中危险因素侵袭的防护用品,在各类烈性传染病防治中,起到了直接有效的防护作用^[1]。PPE使用操作具有一定的复杂性和专业性,同时还涉及各类不便于重复利用的防护物品,极大增加了学习和训练成本。而面对大规模

突发传染性疾病,医务人员需要在短时间内了解最新最全的使用方法并熟练掌握,具有较大难度。当前主要以理论讲解和实地练习的模式进行教学,理论授课过程较为枯燥,并且标准把握不统一,缺乏系统性的评估。近年来,PPE 操作要求不断完善和细化,致使现行的教学方式不利于医务人员快速学习和及时更新操作规范。虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术作为一种前沿技术手段,通过软件计算和传感器模拟形成三维仿真环境,刺激视觉、听觉和触觉等多种感官,产生真实感官体验^[2]。VR 相关技术已经开始运用于医疗领域,并且在临床教学、医患沟通、辅助治疗等方面取得了初步成果^[3-5]。为提高 PPE 教学的便捷性和标准性,我们研究开发了基于 VR 技术的 PPE

穿脱流程仿真系统,配套建立智能交互教学平台,目前已获取计算机软件著作权(软著登字第 7349513 号)。本研究主要运用该仿真系统进行实际 PPE 教学和训练,并通过相关指标进行教学效果评估,以期作为 PPE 教学优化和后续研究提供参考。报告如下。

1 对象与方法

1.1 培训对象 2022 年 3—4 月,研究小组招募某三级甲等医院一线医务人员 64 名。纳入标准:从事临床工作满 1 年,具备一定临床经验的医务人员。排除标准:怀孕、受伤等因素导致活动不便;因裸眼视力不佳无法完成培训的人员。按随机数字表法分为对照组和试验组各 32 名。两组一般资料比较,见表 1。

表 1 两组一般资料比较

组别	人数	性别(名)		年龄[岁, M(P ₂₅ ,P ₇₅)]		职业(名)		职称(名)			工作年限[年, M(P ₂₅ ,P ₇₅)]		文化程度(名)		有 PPE 培训 经历(名)	有使用 VR 经历(名)		
		男	女	医生	护士	初级	中级	高级	M	P	本科	硕士						
对照组	32	19	13	30(28.00,33.00)	12	20	23	7	2	6(4.00,11.00)	27	5	11	7				
试验组	32	15	17	31(28.00,38.25)	14	18	21	9	2	8(4.00,10.25)	26	6	10	5				
统计量		$\chi^2=1.004$		$Z=-0.728$		$\chi^2=0.259$		$Z=-0.496$			$Z=-0.855$		$\chi^2=0.110$		$\chi^2=0.071$		$\chi^2=0.410$	
P		0.312		0.471		0.611		0.620			0.396		0.740		0.790		0.522	

1.2 实施方法

1.2.1 成立研究小组 研究小组成员 10 人。项目负责人 1 名,负责研究方案设计和统筹工作;传染病管理专家 2 名,均有多次指导抗疫经历,主要为 PPE 操作及制定评估标准提供专业指导;信息工程师 1 名,负责内置仿真软件的日常维护和更新升级;具体实施人员 6 名,均为护师,主要负责物资准备、教学培训及数据收集等工作。所有研究小组成员通过统一培训,熟练掌握相关操作和系统使用方法。

1.2.2 场地及物品准备 对照组按照有关指南^[6]的推荐要求布置教学房间,准备医用工作帽、护目镜、医用防护口罩、防护服、隔离衣等 PPE 物资以及展示海报、扩音器、激光笔等教学物品。同时,设置好发热门诊、隔离病房等场景。试验组在此基础上准备基于 VR 技术的 PPE 穿脱流程教学仿真系统,包括 VR 眼镜、红外线感应组装置、手持柄等设备。

1.2.3 教学方法 对照组随机 4 人一组,分为 8 组,基于指南^[6]采用统一理论讲解 30 min 和分组实际操作 60 min 相结合的方法进行 PPE 教学。1 名教员借助印有 PPE 流程的大幅展示海报进行讲解,另 1 名教员同步演示操作,随后本组人员轮流进行练习,期间由教员负责指导和纠正。试验组按上述方式进行人员分组,每组配置 1 套培训设备,在教员引导下佩戴好 VR 眼镜,正确手持传感器,按照学员模式界面提示,选择 PPE 操作。系统可模拟穿脱流程中的不同场景,根据使用者的视角构建人物模型和所需物品。学

员在系统语音及动画引导下进行练习,模拟实际操作过程。系统内置流程动作要领,可以及时反馈使用者操作情况,并进行量化打分,学员可查漏补缺。两组完成培训后,休息 10 min,再进行后续的案例考核与 PPE 使用考核。

1.3 评价方法

1.3.1 评价指标 ①场地与物品选择能力评估。在查阅文献^[6-8]和专家指导的基础上制定场地与物品选择能力评估表,包括选择场地判断、物品选择与耗时 3 个方面,共 5 个项目。由 5 名研究小组人员同时对 1 名操作者进行评价,经过对 6 名操作者的评分,计算评定者间信度为 0.907。②PPE 穿脱考核评分与穿脱耗时。穿脱评分包括防护判断(1 项)、穿戴流程(10 项)、脱卸流程(9 项)。每项内容满分 5 分,共计 100 分。按上述方式计算评定者间信度为 0.936。③PPE 使用过程中的沾染情况^[9-10]。在穿戴好 PPE 后,在双手、胸部、腹部、双膝关节等位置涂上紫外线示踪剂,约 2.5 cm²,再按流程脱去 PPE,在避光房间中,用手持式紫外光手电筒检查全身沾染情况。④试验组系统使用体验感调查。在查阅文献^[11-14]和专家指导的基础上制定。共 3 个维度,每个维度包括 4 个条目,每个条目采用 Likert 4 级评分法,1~4 分各对应体验感“较差、一般、良好、优秀”,总分 12~21 分为体验感较差,22~30 分为一般,31~39 为良好,40~48 分为优秀。该问卷 Cronbach's α 系数为 0.931,6 名专家评定的内容效度为 0.833。

1.3.2 资料收集方法 评分人员从经过一致性检验

的 5 名小组成员中随机抽取, 2 名评分人员采用盲法同时独立对每名学员进行评价, 取平均分。最后, 试验组人员进行匿名式的满意度测评。

1.4 统计学方法 数据采用双人双录的方式进行整理, 采用 SPSS25.0 软件进行分析。计量资料服从正态分布以 $(\bar{x} \pm s)$ 进行描述, 组间比较采用 t 检验; 不服从正态分布以 $M(P_{25}, P_{75})$ 描述, 采用 Mann-Whit-

ney U 检验。计数资料组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确概率法。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 两组医务人员场地判断和物品选择能力比较

见表 2。

2.2 两组 PPE 穿脱考核评分与穿脱耗时比较

见表 3。

表 2 两组场地与物品选择能力比较

组别	例数	场地判断[名(%)]		物品选择[名(%)]		耗时 (s, $\bar{x} \pm s$)
		选择级别正确	脱卸区域正确	必选物品正确	优选物品正确	
对照组	32	29(90.63)	29(90.63)	28(87.50)	29(90.63)	75.69 ± 23.68
试验组	32	30(93.75)	32(100.00)	31(96.88)	31(96.88)	125.80 ± 31.17
χ^2/t		0.000		0.868	0.267	-5.728
P		1.000	0.238	0.352	0.606	<0.001

表 3 两组 PPE 穿脱考核评分与穿脱耗时比较

组别	例数	防护判断	穿戴流程	脱卸流程	总分	穿戴耗时	脱卸耗时
		[分, $M(P_{25}, P_{75})$]	(s, $\bar{x} \pm s$)	(s, $\bar{x} \pm s$)			
对照组	32	5.00(5.00, 5.00)	42.50(39.00, 46.00)	39.00(36.00, 44.25)	87.00(78.50, 92.50)	572.00 ± 46.39	423.30 ± 55.11
试验组	32	5.00(5.00, 5.00)	47.00(47.00, 50.00)	42.00(42.00, 45.00)	94.00(94.00, 97.00)	438.50 ± 51.62	330.50 ± 61.41
统计量		$Z=-1.192$	$Z=-5.148$	$Z=-2.729$	$Z=-5.220$	$t=10.881$	$t=6.362$
P		0.233	<0.001	0.006	<0.001	<0.001	<0.001

2.3 两组 PPE 使用过程中的污染情况比较

表 4 两组 PPE 使用过程中的污染情况比较

组别	人数	$M(P_{25}, P_{75})$	
		污染数量(处)	污染面积(cm^2)
对照组	32	2.50(1.00, 3.00)	26.25(10.73, 67.25)
试验组	32	1.50(0.00, 3.00)	9.30(0.00, 22.78)
Z		-2.134	-2.865
P		0.033	0.004

2.4 试验组对 VR 仿真系统用于 PPE 学习体验

表 5 试验组对 VR 仿真系统用于 PPE 学习的体验

项目	名(%)			
	较差	一般	良好	优秀
操作简易性	1(3.13)	1(3.13)	14(43.75)	16(50.00)
内容交互性	3(9.38)	1(3.13)	12(37.50)	16(50.00)
学习有效性	1(3.13)	1(3.13)	12(37.50)	18(56.25)
总体评价	1(3.13)	1(3.13)	10(31.25)	20(62.50)

3 讨论

3.1 VR 仿真系统可减少医务人员选择场地和物品耗时

传染病最突出的特点就是可以通过一种或多种途径进行传播, 容易出现爆发式增长, 并且部分病原体在传播过程中容易产生变异, 防范难度极大。目前有效预防措施之一是切断传播途径, 而 PPE 就是个人处于危险环境中重要的保护屏障^[15]。随着多轮

疫情出现, PPE 操作要求在近几年也进行了多次优化和修订, 无形中增加了 PPE 的学习难度。同时, 现行的 PPE 教学模式需要准备较多物品, 其中包含口罩、帽子等一次性的医疗物品, 特别是在大批量人员学习过程中, 容易造成防疫物资的大量消耗。本研究中采用的 VR 仿真系统是以“真实体验、精准培训、智能交互、资源节约”为目标, 构建资源数字化、模拟真实化、学习自主化的沉浸式教学培训模式。在该 VR 系统中, 学员可以针对薄弱环节反复训练, 不会产生一次性医疗物资的过度浪费, 也减少了训练时的心理负担。本次研究结果发现试验组总体耗时更短, 说明 VR 仿真训练有利于在短时间内提高受测人员对场地和物品的熟悉程度。

3.2 VR 仿真系统可提升 PPE 穿脱效果

正确判断防护等级和严格遵循穿脱 PPE 流程是实现良好个人防护效果的必要前提。但临床教学与实际运用过程中发现, PPE 整体流程涉及物品较多, 穿脱顺序和细节要求严格, 但现行培训过程严重依赖教员个人经验, 容易造成不规范、不标准的情况, 并且个人实际操作中缺乏具有针对性的即时反馈。而该仿真系统采用 VR 技术利用 3D 引擎建立高仿真的感染危险环境, 包含有发热门诊和隔离病房等场景, 以及场景内物品和第一视角的虚拟人物。为了实现虚拟场景中 PPE 使用的真实性和标准化, 我们运用 Marvelous Designer 软件, 按照不同防护等级, 模拟对应服装用品的视觉和触觉感受, 并采集了 255 个操作动作数

据,模拟真实交互效果,完成 PPE 教学平台搭建。在此基础上,本研究还着重增加了容易失误或关键步骤的流程采样。本次测试发现,试验组在 PPE 考核中,判断选择和具体操作时间都显著减少,并且流程操作评分明显提高,表明试验组对整个 PPE 流程的熟练度、规范性都比对照组有明显的提升。

3.3 VR 仿真系统可减少 PPE 使用过程中污染 大部分致病微生物可以附着在日常使用物品的表面,并且可以在干燥无有机物的物品表面存活数小时至数天。接触过程中致病微生物可以透过皮肤、黏膜等组织发生污染,渗透进入人体组织,发生定植繁殖,诱发疾病,并且可以进一步通过患者活动扩大传播范围,引起大规模感染事件。VR 仿真系统收录有容易污染和操作失误的环节信息,在教学阶段会进行语音提示,促使受训人员提高重视程度。相较于常规 PPE 教学模式,VR 仿真系统具有更高的完整性、可重复性,较少受限于人为因素。本试验联合运用了紫外荧光素追踪技术,可以直观且量化地展现 PPE 穿脱过程中污染情况。受训人员可根据穿戴过程的录像,回溯个人操作中污染发生环节以及操作失误原因,再利用 VR 系统进行操作纠正以及针对性训练。本研究结果显示,VR 技术在减少 PPE 污染、提高防护有效性方面具备明显优势。

3.4 学员对 VR 仿真系统用于 PPE 学习的体验较好

VR 仿真系统在一定程度上解决了常规 PPE 培训中防护物资短缺和学习途径不足等问题,增加资源利用效率,提升学习内容的形象性和趣味性。本次试验中,学员普遍认为该系统操作简易,有利于提高学习效率,但在界面选项排布、语音反馈速度等人机交互上存在一些不足,这也是后续进一步优化平台的方向。

4 结论

烈性传染病对社会的影响较大,容易消耗巨大的人力和物力。如何做好医务人员个人安全防护,如何突破现实限制以推进技术普及,是传染病防控过程需要注意的重要内容。我们搭建了基于 VR 技术开发的 PPE 穿脱流程仿真系统,结合传感器和模拟软件进行现实场景和实地操作模拟,利于医务人员进行系统化操作训练,进一步提高 PPE 穿脱技能教学效果。该系统不仅具备便利的操作性,还可以继续配套其他教学平台实现功能拓展,满足更多临床和其他领域需求,拥有良好的发展前景。当前,该系统尚未接受更大规模的、不同教学内容适配情况等测试,其中涉及软件内容可能需要专业调试,也是在后续推广中需要关注的问题。

参考文献:

[1] 杨莎,罗红霞,张慧兰,等.不同培训方式在烈性传染病个

人防护技术教学中的应用效果[J].中华护理教育,2020,17(4):358-361.

- [2] 杨青,钟书华.国外“虚拟现实技术发展及演化趋势”研究综述[J].自然辩证法通讯,2021,43(3):97-106.
- [3] Jacobse N N, Larsen J D, Falster C, et al. Using immersive virtual reality simulation to ensure competence in contrast-enhanced ultrasound[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2022,48(5):912-923.
- [4] Sarno D, Belfort M A, Hintz S R, et al. Virtual reality experience for in utero fetal surgery:a new era of patient counselling and medical education[J]. *BMJ Innovations*, 2022,8(2):95-97.
- [5] Albrecht T, Nikendei C, Praetorius M. Face, content, and construct validity of a virtual reality otoscopy simulator and applicability to medical training[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2022,166(4):753-759.
- [6] 国务院应对新型冠状病毒肺炎疫情联防联控机制综合组.关于印发医疗机构内新型冠状病毒感染预防与控制技术指南(第三版)的通知[EB/OL].(2021-09-14)[2023-01-08]. https://www.gov.cn/xinwen/2021-09/14/content_5637141.htm.
- [7] 刘倩倩,张素兰,田丽,等.跨院帮扶肿瘤专科护理信息化平台的构建及应用[J].中华护理杂志,2021,56(6):805-810.
- [8] 原志芳,林梅,李星,等.母婴延续性健康管理平台的构建及应用[J].中华护理杂志,2022,57(18):2212-2216.
- [9] Zhang H, Yang S, Luo H, et al. The error-prone operational steps and key sites of self-contamination during donning and doffing of personal protective equipment by health care workers [J]. *Disaster Med Public Health Prep*, 2022,16(6):2486-2491.
- [10] Poller B, Hall S, Bailey C, et al. 'VIOLET': a fluorescence-based simulation exercise for training healthcare workers in the use of personal protective equipment[J]. *J Hosp Infect*, 2018,99(2):229-235.
- [11] Bergquist R, Vereijken B, Mellone S, et al. App-based self-administrable clinical tests of physical function: development and usability study [J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2020,8(4):e16507.
- [12] Zhang T, Booth R, Jean-Louis R, et al. A primer on usability assessment approaches for health-related applications of virtual reality[J]. *JMIR Serious Games*, 2020,8(4):e18153.
- [13] 兰悦,万巧琴.基于用户体验评价移动健康类应用程序的研究进展[J].军事护理,2022,39(11):85-88.
- [14] 朱婷玲,朱丽萍,李永锋.基于结构方程模型的老年人 APP 用户体验设计研究[J].包装工程,2023,44(6):106-116.
- [15] 邓海英.新型冠状病毒肺炎病区护士个人防护装备穿脱流程研究[J].护理实践与研究,2020,17(22):123-125.

(本文编辑 吴红艳)