

• 论著 •

探索基于虚拟仿真技术的气管插管培训系统对住院医师临床实践能力的培养效果

张强¹ 熊矿箭² 韩彬³ 赵志伶¹ 葛庆岗¹

¹北京大学第三医院危重医学科,北京 100191; ²北京众绘虚拟现实技术研究院有限公司,北京 100191;

³北京大学第三医院麻醉科,北京 100191

通信作者:葛庆岗, Email: qinggangelin@126.com

【摘要】目的 探索基于虚拟现实(VR)技术的气管插管培训系统对住院医师临床实践能力的培养效果。

方法 选择 2024 年 8 月至 2025 年 2 月在北京大学第三医院接受住院医师第一阶段培训的 25 名住院医师作为研究对象。所有入选者均接受基于 VR 技术重症监护病房(ICU)紧急气管插管培训后开展问卷调查,分享住院医师对 VR 技术 ICU 紧急气管插管培训的体验及在使用过程中存在的缺点。**结果** ①一般情况:本研究共发放 25 份住院医师问卷,回收有效问卷 25 份,有效问卷回收率 100%。25 名住院医师中,男性 15 名(60%),女性 10 名(40%);平均年龄(25.3 ± 0.8)岁。进入临床工作的时间,≤1 年者 4 名(16%),>1~3 年者 8 名(32%),>3~5 年者 5 名(20%),≥5 年者 8 名(32%)。25 名住院医师中,3 名(12%)无气管插管经验,11 名(44%)有>10 次的气管插管经验;在此次培训前,3 名(12%)接受过其他形式的虚拟气管插管培训,22 名(88%)未接受过其他形式的虚拟气管插管培训;18 名(72%)会在传统气管插管培训中关注患者心率、血压变化,7 名(28%)不会关注心率、血压变化;21 名(84%)在真实世界的紧急气管插管中出现角色混乱;23 名(92%)认为气管插管操作的机会太少;17 名(68%)认为传统气管插管培训能得到更多的带教老师指导;15 名(60%)更看重气管插管培训的实际操作机会。②VR 技术 ICU 紧急气管插管的培训体验:23 名(92%)住院医师认为 VR 技术 ICU 紧急气管插管培训效果好,13 名(52%)认为 VR 技术 ICU 紧急气管插管比传统气管插管培训更有效;23 名(92%)认为 VR 技术 ICU 紧急气管插管能使学习氛围更轻松,学习气管插管的兴趣更高,未来发展前景更好;22 名(88%)认为通过 VR 技术能更好地认识会咽部结构;24 名(96%)认为 VR 技术 ICU 紧急气管插管能减少实际操作风险,并能更好地模拟真实情况;16 名(64%)对 VR 技术 ICU 紧急气管插管操作系统非常满意;24 名(96%)认为 VR 技术 ICU 紧急气管插管培训设置的病例合理;17 名(68%)认为 VR 技术 ICU 紧急气管插管有更多的学习机会;19 名(76%)认为 VR 技术 ICU 紧急气管插管培训能减少插管过程中的焦虑。③VR 技术 ICU 紧急气管插管的缺点:9 名(36%)住院医师会在接受培训前忽视紧急气管插管前的家属签字;5 名(20%)认为互动性非常好,9 名(36%)认为互动性一般,11 名(44%)认为互动性差;22 名(88%)认为缺乏实际操作的手感;20 名(80%)建议增加更多的模拟场景;11 名(44%)认为相比传统的气管插管培训,VR 培训缺少实际操作机会;17 名(68%)在操作过程中有眩晕等不适感。**结论** 基于 VR 技术的 ICU 紧急气管插管培训系统有一定优势,未来可能成为标准化教学中的一个重要的类型。

【关键词】 虚拟仿真技术; 紧急气管插管; 重症监护病房

基金项目:国家自然科学基金(82172553);北京大学第三医院教学研究课题(2022bysyjxkt14)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2025.04.016

Explore the effectiveness of a tracheal intubation training system based on virtual reality technology in cultivating the clinical practice abilities of resident physicians

Zhang Qiang¹, Xiong Kuangjian², Han Bin³, Zhao Zhiling¹, Ge Qinggang¹

¹Department of Critical Care Medicine, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China; ²Beijing Zhonghui Virtual Reality Technology Research Institute, Beijing 100193, China; ³Department of Anesthesiology, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China

Corresponding author: Ge Qinggang, Email: qinggangelin@126.com

【Abstract】Objective To explore the effectiveness of a tracheal intubation training system based on virtual reality (VR) technology in cultivating the clinical practice abilities of resident physicians. **Methods** Twenty-five first-year resident physicians who were enrolled in the residency programme at Peking University Third Hospital from August 2024 to February 2025 were recruited for this study. All participants completed a questionnaire after receiving VR-based intensive care unit (ICU) emergency tracheal intubation training, to share their experiences with the VR technology-based ICU emergency tracheal intubation training and the shortcomings encountered during the process. **Results** ① General information: a total of 25 resident physician questionnaires were distributed in this study and received 25 valid responses (response rate 100%). Among the 25 residents, there were 15 males (60%) and 10 females (40%), with an average age of (25.3 ± 0.8) years. Clinical experience was categorised as ≤ 1 year 4 residents (16%), > 1~3 years 8 residents (32%), > 3~5 years 5 residents (20%) and ≥ 5 years 8 residents (32%). Among them, 3 residents (12%) had no prior tracheal intubation experience, while 11 (44%) had performed > 10 intubations. Prior

to this training, 3 residents (12%) had received other forms of virtual tracheal intubation training, whereas 22 (88%) had not. During traditional tracheal intubation training, 18 residents (72%) reported that they monitored heart rate and blood pressure, whereas 7 (28%) did not. In real-world emergency tracheal intubation scenarios, 21 residents (84%) experienced role confusion. Additionally, 23 residents (92%) believed that opportunities for tracheal intubation practice were too limited, 17 (68%) thought traditional training provided more guidance from instructors, and 15 (60%) valued practical operation opportunities more in tracheal intubation training. ② VR-based ICU emergency tracheal intubation training experience: 23 residents (92%) considered the VR-based ICU emergency tracheal intubation training effective, with 13 (52%) believing it to be more effective than traditional training. Furthermore, 23 residents (92%) felt that the VR-based training created a more relaxed learning atmosphere, heightened their interest in learning tracheal intubation, and had better future prospects; 22 residents (88%) believed that VR technology facilitated a better understanding of the laryngeal structure; 24 residents (96%) thought that VR-based training reduced practical operation risks and better simulated real-world conditions; 16 residents (64%) were highly satisfied with the VR-based ICU emergency tracheal intubation operating system; 24 residents (96%) considered the case scenarios in the VR-based training reasonable. 17 residents (68%) believed that VR-based training offered more learning opportunities, and 19 residents (76%) thought it reduced anxiety during the intubation process. ③ Disadvantages of VR-based ICU emergency tracheal intubation: 9 residents (36%) tended to overlook obtaining family consent before emergency tracheal intubation prior to the training. Regarding interactivity, 5 residents (20%) rated it as excellent, 9 (36%) as average, and 11 residents (44%) believe that the interactivity was poor; 22 residents (88%) felt a lack of tactile feedback during practical operations; 20 residents (80%) recommended adding more simulated scenarios; 11 residents (44%) believed that, compared to traditional training, VR training lacked practical operation opportunities. Additionally, 17 residents (68%) experienced discomfort such as dizziness during the operation. **Conclusion** VR-based intubation training effectively enhances technical proficiency and psychological preparedness in ICU clinicians, particularly in anatomical visualization and risk-controlled rehearsal.

【Key words】 Virtual reality technology; Emergency tracheal intubation; Intensive care unit

Fund program: National Natural Science Foundation of China (82172553); Teaching and Education Research Project of Peking University Third Hospital (2022bysyjxkt14)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2025.04.016

气道管理是重症医学临床实践最重要、最基本内容之一,是抢救患者生命的重要途径。在紧急情况下进行气管插管对于住院医师难度较大,快速性和准确性难以保障,严重影响患者预后。气管插管是一项明确的程序性和认知技能集合,包括常规气管插管和紧急气道救援,通常通过麻醉或重症住院医师培训期间的机遇学习模式获得。这种培训涉及多种教学方式来教授和嵌入技能集,但常受到时间和地点的限制^[1],尤其是重症监护病房(intensive care unit, ICU)患者多数处于镇静或昏迷状态,无法沟通,互动式教学查房亦无法正常开展^[2]。

作为多媒体技术广泛使用以来出现的一种新型计算机技术,虚拟现实(virtual reality, VR)技术以其超强沉浸感、体验感在外科手术、创伤决策技能和心肺复苏培训等医学领域飞速发展,拥有超强的发展潜力^[3]。目前国外已经应用VR技术进行气管插管培训,经过VR培训的住院医师可达到高年资医师对气管插管步骤的熟练水平^[4-5]。基于VR的模拟训练提供了可重复的技能获取和维护的可能性,这对于低年资住院医师和低频率但高风险操作事件可能是一个重要的优势。本课题组前期开发了一项针对ICU紧急气管插管情境下的VR训练系统,可模拟ICU的临床操作三维环境,完整再现真实气管插管的全流程,并通过虚拟3D解剖模型辅助、智能

文字语音引导等方式,建立沉浸式、随时重复的训练系统,并针对病情评估、医患沟通、气管插管核心操作步骤、医护交互配合等方面建立3D虚拟仿真程序系统^[6],本研究进一步通过问卷调查方式获得该系统对住院医师紧急气管插管能力的培养效果,进而探索重症医学住院医师临床实践能力培训的新方法,为重症医学教学发展提供新思路。

1 对象与方法

1.1 研究对象:选择2024年8月至2025年2月北京大学第三医院接受住院医师第一阶段培训的25名住院医师作为研究对象。所有入选者均接受基于VR技术的ICU紧急气管插管培训。

1.2 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,并经北京大学第三医院伦理委员会批准(审批号:M20250943),所有研究对象均获悉本研究目的,自愿参与本次试验。

1.3 研究方法

1.3.1 教学设备介绍:基于VR技术的ICU紧急气管插管培训系统主要由硬件和软件构成。硬件包括1台电脑,PICO4 pro VR套件。软件为基于VR技术的ICU紧急气管插管培训系统,已获得国家版权局计算机软件著作权登记证书(登记号:2024SR1139484)。同时开发了基于该系统的重症医学科住院医师紧急气管插管培训课程^[6]。学员、导

师和管理员可直接使用账号和密码登录。软件内置教学管理中心和功能模块两部分。教学管理中心包括历史成绩、技能分析、用户管理、题库编辑、磁盘管理；功能模块包括手柄基本操作、理论测试、临床病例(由北京大学第三医院危重医学科长期从事气管插管操作的 4 名有高级专业技术职称的医师和 1 名有高级专业技术职称的护师组成项目组,采用圆桌会议的形式通过 3 次讨论和修订,形成虚拟仿真技术的 ICU 紧急气管插管病例)、入院初步诊断、病情判断、签署知情同意书、拆下床头板、检查清洁口腔、检查器械、放置枕垫、开放气道、人工球囊预充氧、医嘱护士静脉镇静、医嘱护士补液、置入喉镜挑起会厌、清除声门分泌物、插入气管导管、拔除气管导丝、置入牙垫、气囊注气、人工球囊连接、听诊肺部呼吸音、观察脉搏血氧饱和度、连接呼吸机、固定气管导管、完善床旁胸部 X 线检查。

1.3.2 住院医师体验基于 VR 技术的 ICU 紧急气管插管培训系统：住院医师观摩指导教师利用 VR 技术的 ICU 紧急气管插管操作,并熟悉 VR 技术插管的结构及基本操作要领。然后完成 VR 技术的 ICU 紧急气管插管模拟操作,操作过程中由教师根据实际情况给予口头指导或协助操作,每次操作完成后进行简短总结和点评指导。最后采用问卷调查方法,以匿名方式填写在线调查问卷。

1.3.3 问卷的设计：由项目组自行设计调查问卷,除受访者基本信息外,调查内容主要为 VR 技术的 ICU 紧急气管插管的学习体验,包括满意度、操作便捷程度、VR 技术的优点和缺点等。问卷克朗巴赫系数为 0.719,有较好的内部一致性信度。

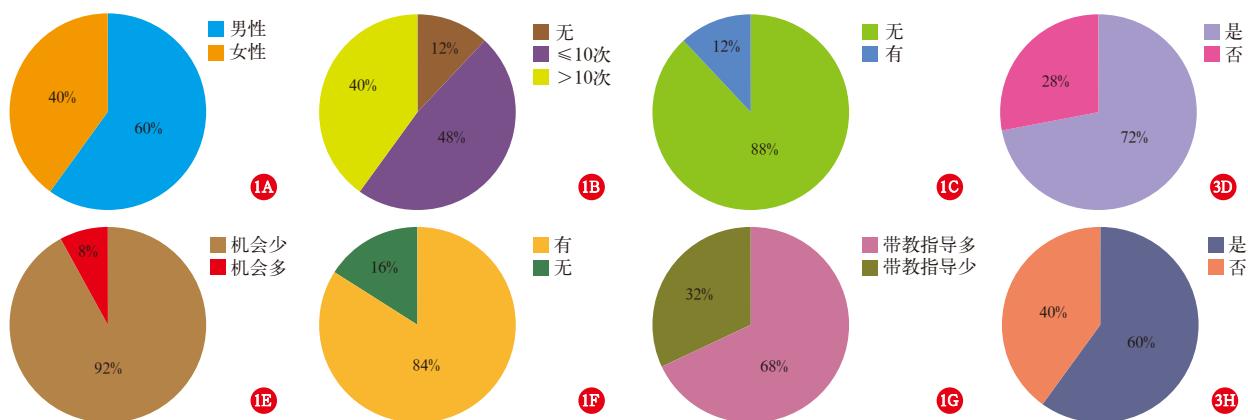
1.4 统计学方法：使用 SPSS 25.0 统计软件分析

数据。符合正态分布的计量资料以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示;计数资料以名(百分比)表示。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

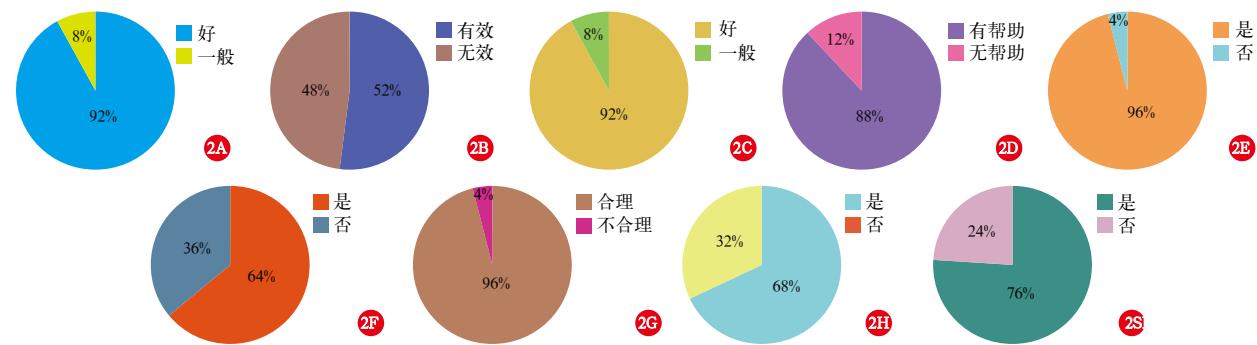
2.1 一般情况(图 1)：本研究共发放 25 份住院医师问卷,回收有效问卷 25 份,有效问卷回收率 100%。25 名住院医师中,男性 15 名(占 60%),女性 10 名(占 40%);平均年龄(25.3 ± 0.8)岁。进入临床工作的时间, ≤ 1 年者 4 名(16%), $> 1 \sim 3$ 年者 8 名(32%), $> 3 \sim 5$ 年者 5 名(20%), ≥ 5 年者 8 名(32%)。25 名住院医师中,3 名(12%)无气管插管经验,11 名(44%)有 > 10 次的气管插管经验;此次培训前,3 名(12%)接受过其他形式的虚拟气管插管培训,22 名(88%)未接受过其他形式的虚拟气管插管培训;18 名(72%)会在传统气管插管培训中关注患者心率、血压等生命体征变化,7 名(28%)不会关注心率、血压的变化;23 名(92%)认为气管插管操作的机会太少;21 名(84%)在真实世界的紧急气管插管中出现角色混乱;17 名(68%)认为传统气管插管能得到更多的带教老师指导;15 名(60%)更看重气管插管的实际操作机会。

2.2 VR 技术 ICU 紧急气管插管培训体验(图 2)：接受 VR 技术 ICU 紧急气管插管培训的 25 名住院医师中,23 名(92%)认为 VR 技术 ICU 紧急气管插管培训效果好,13 名(52%)认为 VR 技术 ICU 紧急气管插管比传统气管插管培训更有效;23 名(92%)认为 VR 技术 ICU 紧急气管插管能使学习氛围更轻松,学习气管插管的兴趣更高,未来发展前景更好;22 名(88%)认为通过 VR 技术能更好地认识会咽部结构;24 名(96%)认为 VR 技术 ICU 紧急气管插



注:A 为性别,B 为气管插管经验,C 为虚拟插管培训经历,D 为关注生命体征,E 为插管操作机会认知,F 为角色混乱,G 为传统插管培训指导认知,H 为重视实际操作

图 1 参与 VR 技术 ICU 紧急气管插管培训调查住院医师的一般情况

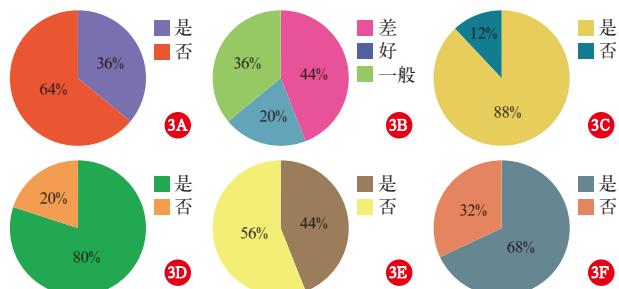


注: A 为 VR 培训效果, B 为比传统插管培训, C 为 VR 学习体验, D 为对解剖结构的认知, E 为减少风险, F 为满意度, G 为病例合理性, H 为增加学习机会, I 为减少焦虑

图 2 VR 技术 ICU 紧急气管插管培训体验

管能减少实际操作风险,并能更好地模拟真实情况;16名(64%)对VR技术ICU紧急气管插管操作系统非常满意;24名(96%)认为VR技术ICU紧急气管插管培训设置的病例合理;17名(68%)认为VR技术ICU紧急气管插管有更多的学习机会;19名(76%)认为VR技术ICU紧急气管插管培训能减少插管过程中的焦虑。

2.3 VR 技术 ICU 紧急气管插管的缺点(图 3):接受VR技术ICU紧急气管插管培训的25名住院医师中,9名(36%)会在接受培训前忽视紧急气管插管前的家属签字;5名(20%)认为互动性非常好,9名(36%)认为互动性一般,11名(44%)认为互动性差;22名(88%)认为缺乏实际操作的手感;20名(80%)建议增加更多的模拟场景;11名(44%)认为相比传统的气管插管培训,VR培训缺少实际操作机会;17名(68%)在操作过程中有眩晕等不适感。



注: A 为忽视家属签字, B 为互动性, C 为缺乏操作手感, D 为增加模拟场景, E 为缺乏操作机会, F 为有眩晕

图 3 VR 技术 ICU 紧急气管插管的缺点

3 讨论

3.1 VR 技术 ICU 紧急气管插管培训优于传统的气管插管培训:卫生保健程序学习以前采用“看一看、做一做、教一教”的方法来获得技能^[7],科学技

术的重大发展推动了医学教育向更安全方法的发展。当前的实践环境对床边技能的学习产生了不利影响。住院医师工作时间的变化、全球患者安全意识的增强、高风险事件发生频率的降低,减少了受训人员对气道管理和紧急气道救援的接触^[8]。基于模拟的教育解决方案可在不伤害患者的环境中进行安全、可重复、迭代的技能练习^[9]。基于VR技术的ICU紧急气管插管培训系统是有效的,与利用视频、讲座、自学或并排实践培训的非模拟教育技术相比,学习者满意度更高。VR模拟提供了丰富的视觉和动态体验,并在安全的环境中提供独立和客观的绩效评估^[10]。设计良好的虚拟环境创造了一种在场感,通过让学习者沉浸在有现实视听线索的环境中,涉及学习活动中的认知和情感方面,这是体验式学习的核心要素^[11]。该系统能高度还原气道的解剖结构和操作场景,允许学员在无风险环境中反复练习,从而显著降低了临床培训的潜在风险。另外,该系统可模拟气道分泌物增多及呼吸窘迫等紧急场景^[11],帮助学员适应复杂多变的临床环境,增强学员的应变能力,而传统模型通常局限于标准化病例。虚拟系统集成传感器,可实时监测操作参数(如导管位置、力度、角度),并通过可视化界面提供即时反馈,帮助学员精准修正错误。同时,沉浸式体验和交互性设计能加速知识内化,缩短技能掌握周期。使用该培训系统能打破时空限制,缓解医学院校设备不足的问题。学员可随时随地接入VR实训,降低了教学成本并促进教育资源均衡分配^[13]。

3.2 VR 技术 ICU 紧急气管插管培训系统的缺点:VR技术培训需要佩戴头戴式设备(如VR眼镜),长时间使用可能引发模拟器晕动症,表现为眩晕、恶心或视觉疲劳。这种现象与虚拟环境中的视觉运动

感知和身体静止状态之间的冲突有关,在新生儿复苏培训中,部分学员反馈初次使用混合现实设备时需适应虚拟场景的立体动态效果,否则可能因画面延迟或视角切换过快导致不适^[14]。另外,系统的操作界面和交互逻辑与传统实体模型差异较大,新学员可能因操作不熟悉而降低训练效率。如虚拟器械的抓取、角度调整等操作需通过手柄或触控板实现,缺乏真实触觉反馈,导致手眼协调难度增加。本研究显示,学员在初期使用虚拟系统时,操作错误率可能高于传统模型,需额外时间适应交互规则。尽管虚拟系统能模拟视觉场景,但触觉反馈不足仍是主要短板。如导管插入阻力、喉镜与牙齿接触的力度等物理感知难以精确还原,可能影响学员对真实操作的判断。此外,虚拟模型的解剖结构虽高度仿真,但与真实患者的气道弹性、分泌物动态变化等仍有差距,可能降低了复杂病例的培训效果。系统对硬件性能、网络稳定性要求较高。如设备续航不足、操作空间受限或软件卡顿可能中断训练流程,尤其在基层医院或远程培训中更为突出。部分住院医师反映复杂的系统设置和维护需求增加了学习成本,需依赖技术人员支持。为缓解上述问题,本研究采取了进一步的改进措施,包括:①分阶段适应训练:初次使用前增加设备适应期,逐步延长VR使用时间;②增强触觉反馈技术:结合力反馈手套或触感模拟器提升操作真实性;③优化用户界面:简化交互设计,提供实时操作指引;④混合式培训模式:将虚拟仿真与传统模型结合,弥补各自短板。

4 结 论

VR技术ICU紧急气管插管培训更加直观且易于理解,不仅能提高学习效率,还能激发学习兴趣并提高专注力。VR技术ICU紧急气管插管培训的优势未来可能成为标准化教学视频中的一个重要类型,但针对如何增加互动性、解决使用中出现眩晕等不适感,未来还需要进行更多的探索和研究。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Duffy CC, Bass GA, Yi W, et al. Teaching airway management using virtual reality: a scoping review [J]. Anesth Analg, 2024, 138 (4): 782–793. DOI: 10.1213/ANE.0000000000006611.
- [2] 芦乙滨, 詹维强, 治施萌, 等. 重症超声和血流动力学PDCA模式培训对提升内科住院医师临床决策能力的影响 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2024, 31 (4): 465–468. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2024.04.016.
- [3] Bruno RR, Wolff G, Wernly B, et al. Virtual and augmented reality in critical care medicine: the patient's, clinician's, and researcher's perspective [J]. Crit Care, 2022, 26 (1): 326. DOI: 10.1186/s13054-022-04202-x.
- [4] Putnam EM, Rochlen LR, Alderink E, et al. Virtual reality simulation for critical pediatric airway management training [J]. J Clin Transl Res, 2021, 7 (1): 93–99. DOI: 10.18053/jctres.07.202101.008.
- [5] Dias PL, Greenberg RG, Goldberg RN, et al. Augmented reality-assisted video laryngoscopy and simulated neonatal intubations: a pilot study [J]. Pediatrics, 2021, 147 (3): e2020005009. DOI: 10.1542/peds.2020-005009.
- [6] 赵志伶, 熊矿箭, 韩彬, 等. 基于虚拟仿真技术的重症医学住院医师ICU紧急气管插管培训课程的开发 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2025, 32(2):217–219. DOI:10.3969/j.issn.1008-9691.2025.02.017.
- [7] Wright Jr. JR, Schachar NS. Necessity is the mother of invention: William Stewart Halsted's addiction and its influence on the development of residency training in North America [J]. Can J Surg, 2020, 63 (1): E13–E19. DOI: 10.1503/cjs.003319.
- [8] Andrews JD, Nocon CC, Small SM, et al. Emergency airway management: training and experience of chief residents in otolaryngology and anesthesiology [J]. Head Neck, 2012, 34 (12): 1720–1726. DOI: 10.1002/hed.21998.
- [9] Schmidt E, Goldhaber-Fiebert SN, Ho LA, et al. Simulation exercises as a patient safety strategy: a systematic review [J]. Ann Intern Med, 2013, 158 (5 Pt 2): 426–432. DOI: 10.7326/0003-4819-158-5-201303051-00010.
- [10] Sanders JJ, Caponigro E, Ericson JD, et al. Virtual environments to study emotional responses to clinical communication: a scoping review [J]. Patient Educ Couns, 2021, 104 (12): 2922–2935. DOI: 10.1016/j.pec.2021.04.022.
- [11] Samuelson ST, Burnett G, Sim AJ, et al. Simulation as a set-up for technical proficiency: can a virtual warm-up improve live fibre-optic intubation? [J]. Br J Anaesth, 2016, 116 (3): 398–404. DOI: 10.1093/bja/aev436.
- [12] Bould MD, Crabtree NA, Naik VN. Assessment of procedural skills in anaesthesia [J]. Br J Anaesth, 2009, 103 (4): 472–483. DOI: 10.1093/bja/aep241.
- [13] Wong DT, Mehta A, Singh KP, et al. The effect of virtual reality bronchoscopy simulator training on performance of bronchoscopic-guided intubation in patients: a randomised controlled trial [J]. Eur J Anaesthesiol, 2019, 36 (3): 227–233. DOI: 10.1097/EJA.0000000000000890.
- [14] Saredakis D, Szpak A, Birkhead B, et al. Factors associated with virtual reality sickness in head-mounted displays: a systematic review and Meta-analysis [J]. Front Hum Neurosci, 2020, 14: 96. DOI: 10.3389/fnhum.2020.00096.

(收稿日期: 2025-07-02)

(责任编辑: 邱美仙)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

《中国中西医结合急救杂志》关于关键词标注的写作要求

所投稿件均需标引3~8个关键词,并尽量使用美国国立医学图书馆编辑的最新版Index Medicus中医学主题词表(MeSH)内所列的词。如果尚无相应的词,处理办法为:①选用直接相关的几个主题词进行组配;②根据树状结构表选用最直接的上位主题词;③必要时,可采用习用的自由词并排列于最后。关键词中不能用缩写,如“HBsAg”应标引为“乙型肝炎表面抗原”。