

虚拟现实情境系统结合 ORSIM 模拟器提升研究生纤支镜操作能力的研究

许尧, 吴政昊, 许勇*

锦州医科大学附属第一医院麻醉科 辽宁锦州

【摘要】纤支镜引导下气管插管是处理紧急困难气道的核心手段。麻醉研究生在临床困难气道病例有限且紧急的情况下, 操作机会极少是现行研究生培训中的突出问题。通过虚拟现实(virtual reality, VR)情境系统, 搭建 VR 情境模拟平台, 可使用 VR 平台搭载 ORSIM 模拟器进行分阶段系统性的培训实践, 完善临床技能多元化考核体系。本研究推测, 通过分组训练, 使用 VR 平台搭载 ORSIM 模拟器的模拟器组在纤维支气管镜插管操作的水平上优于使用传统人体模型的传统组, 缩短了气管插管的时间, 并在处理困难气道方面表现出更高的综合能力。本研究旨在探讨在 VR 平台上使用 ORSIM 模拟器进行教学培训的最佳方案, 并将具体的培训方法纳入麻醉专业研究生的培训体系, 以弥补当前研究生培训体系的不足, 从而提升研究生在应对紧急困难气道时的综合能力。

【关键词】虚拟现实情境系统; ORSIM 模拟器; 麻醉研究生; 困难气道

【基金项目】锦州医科大学研究生教育教学研究与改革项目(YJ2024-015)

【收稿日期】2026 年 1 月 10 日

【出刊日期】2026 年 2 月 8 日

【DOI】10.12208/j.ije.20260012

Virtual reality contextualization system combined with ORSIM simulator to enhance graduate students' fibrilloscopic operational skills

Yao Xu, Zhenghao Wu, Yong Xu*

Department of Anesthesiology, The First Affiliated Hospital of Jinzhou Medical University, Jinzhou, Liaoning

【Abstract】Fibrilloscopy-guided tracheal intubation is a core tool for dealing with emergency difficult airway. Postgraduate anesthesia students have very few opportunities to operate in limited and urgent clinical difficult airway cases, which is a prominent problem in the current postgraduate training. Through the virtual reality (VR) situation system, a VR situation simulation platform can be built, and the VR platform can be used to carry out systematic training practice in stages with the ORSIM simulator, and to improve the diversified assessment system of clinical skills. In this study, it was hypothesized that through group training, the simulator group using the VR platform with the ORSIM simulator outperformed the conventional group using the traditional manikin in the level of fiberoptic bronchoscopy intubation maneuvers, shortened the time of tracheal intubation, and demonstrated higher overall competence in dealing with a difficult airway. The aim of this study was to investigate the best option for teaching and training using the ORSIM simulator on a VR platform and to incorporate specific training methods into the training system for postgraduate anesthesia students to compensate for the shortcomings of the current postgraduate training system so as to improve the overall competence of postgraduate students in dealing with an emergency difficult airway.

【Keywords】Virtual reality context system; ORSIM simulator; Postgraduate anesthesia students; Difficult airway

困难气道是指具有五年以上临床麻醉经验的麻醉医师在面罩通气时或气管插管时遇到困难的一种常见临床情况^[1]。《困难气道管理专家共识》建议: 麻醉医师首选可视喉镜或最熟悉的工具以保证首次插管成功率的最大化, 如插管失败则立即行面罩通气, 如面罩通气失败则推荐使用喉罩通气, 如面罩或喉罩可以保证

患者氧合则需仔细思考如何让患者安全的完成手术, 如患者处于“既不能插管又不能氧合”时则需果断建立紧急有创气道通气, 最终确保患者安全^[2]。如手术中遇到紧急的困难气道且处理不当, 患者极易陷入缺氧状态, 必须紧急建立气道, 其中少数患者既不能插管也不能氧合, 可导致气管切开、脑损伤和死亡等严重后果^[3]。

*通讯作者: 许勇

纤维支气管镜 (fiberoptic bronchoscope, 纤支镜) 引导下气管插管操作是解决困难气道的有效手段, 熟练操作纤支镜是应对困难气道的有效方法^[4]。在临床麻醉实践中, 当遭遇难以预见的困难气道病例时, 麻醉研究生需在保障患者安全的前提下, 及时寻求高年资麻醉医师的协助。但麻醉研究生尚无熟练的纤支镜操作技术且临床经验又较少, 针对较为复杂的经纤支镜引导下留置气管插管这类高危险度的操作应由有经验的麻醉医生完成。因此, 在目前规培机制下, 现阶段麻醉学研究生主要是通过旁观学习、观看上级医师应用纤维支气管镜处理复杂气道的方法和技巧, 没有实际参与操作的机会。当前急需探索既能保证医疗安全, 又能促进麻醉研究生技术能力提升的创新性培养路径, 以破解临床教学与医疗风险控制之间的现实矛盾。

1 现行困难气道处理的培训方法及存在的问题

1.1 传统人体模型

技术特点:

①传统人体模型主要是以聚氨酯等高分子聚合材料根据人体解剖学标准, 依据成人或者小儿解剖特征制成模型, 包括会厌、声带、气管环等关键结构。

②部分高级模型通过机械装置模拟动态生理反应, 例如: 声门开闭控制: 通过手动调节或电机驱动实现声门开合, 模拟自主呼吸时的声门运动。环状软骨按压反馈: 集成压力传感器, 当操作者进行环甲膜穿刺或环状软骨按压时, 模型可提供触觉反馈 (如阻力变化)。

③病理状态模拟: 通过可更换模块模拟舌体肥大 (增加舌体体积 20%-30%)、颈椎固定 (限制颈部后仰角度至 15° 以内) 或下颌强直等困难气道状态。

适用场景:

基础插管技术训练: 适用于直接喉镜、视频喉镜、喉罩置入等基础操作, 尤其适合研究生初期培训。

优点与局限性:

优点: Kennedy, Cassie C.MD 等的研究显示, 在学习者满意度, 技能提升和患者结局方面, 基于模拟的气道管理课程优于无干预和非模拟干预的课程^[5]。

局限性:

①力学差异: 传统模型的刚性材质导致喉镜抬举力反馈失真, 真实喉部组织抬举需 3-5kg 的力, 而模型仅需 1.5-2kg, 刚性材质可导致喉镜反馈失真 30%~40%。

②仿真度缺陷: 无法模拟气道黏膜水肿、分泌物动态积聚或血流动力学变化, 限制其在危重患者培训中的应用^[6]。

1.2 ORSIM 高仿真模拟器

技术特点:

ORSIM 模拟器采用多模态集成技术, 实现高度仿真的纤支镜下气道操作体验:

①气压传感系统: 通过可调节气泵模拟气道阻力 (-20 至 +30cmH₂O), 精准还原支气管痉挛 (阻力 > 25cmH₂O) 或肺顺应性下降等病理状态。

②动态影像模块: 配备 4K 内窥镜摄像头, 可实时生成多种气道病变影像, 包括: 分泌物干扰 (模拟痰液积聚, 覆盖 50% 以上视野)、活动性出血 (血流速度 2ml/s)、解剖变异 (如声门下狭窄, 内径 < 5mm)、肿瘤占位 (阻塞 70% 管腔) 等。

③触觉反馈系统: 通过电磁力反馈装置还原支气管镜尖端与气道壁接触时的力学变化, 当镜体碰撞声门时, 手柄振动频率可达 200Hz, 阻力峰值达 0.8N。

④量化评估体系: ORSIM 模拟器内置智能分析软件, 从多维度评估操作技能:

空间精度: 记录镜体路径与理想路径的偏离度 (以毫米级激光定位), 优秀标准为全程偏离 < 2mm。

操作效率: 计算从进入口腔到通过声门的时间阈值 (熟练者应 < 90 秒)。

安全性指标: 统计镜体与气道壁碰撞次数 (> 5 次触发警报)、黏膜损伤模拟 (压力 > 40g/cm² 持续 3 秒即标记为出血事件)^[7]。

适用场景:

ORSIM 模拟器旨在通过将虚拟患者与困难气道相结合来解决高级气道训练的一些问题^[8]。训练系统具备三种进阶式学习路径: 解剖路径选择训练允许学员根据个人化学习需求选择特定气道入口点; 病例导向训练围绕典型临床场景开展专项技能强化; 能力分级训练则依据操作者水平实施分层递进式训练模式。

优点与局限性:

优点:

①技能提升效果: Melvin, Martina T. FCAI 等的研究显示, 24 名具有 < 8 次纤支镜插管经验的受试者随机分配至高仿真 ORSIM 模拟器和低仿真训练器组, ORSIM 组进行光纤插管的平均时间较短, 模拟器总训练时间较短而整体评分未见显著差异, 这证明了 ORSIM 组能以更少的尝试更快达到相同水平^[9]。

②高风险场景训练: 支持模拟 ICU 床旁插管 (受限空间操作)、急诊创伤气道 (颈椎固定+面部出血) 等复杂场景, 提升应急决策能力。

③客观能力认证: 通过分析操作数据, 建立“专家

级”（偏离度 $<1.5\text{mm}$ ，零碰撞）和“合格级”（偏离度 $<3\text{mm}$ ，碰撞 ≤ 2 次）的认证标准。

局限性：

①触觉延迟：现有系统的力反馈延迟约 50ms，触觉的延迟反馈可能导致操作者形成错误的肌肉记忆。

②病理覆盖不全：难以模拟一些特殊的病理情况，如肥胖患者（BMI >40 ）的颈部脂肪堆积对喉镜视野的遮挡效应。

③仿真度缺陷：虽然 ORSIM 模拟器能够提升纤支镜操作能力，但培训中仍无法身临其境的模拟困难气道时患者的整体情况和操作氛围。

2 实施“虚拟现实情境系统结合 ORSIM 模拟器”教学改革的研究

2.1 “VR 系统结合 ORSIM 模拟器”教学的优势

虚拟现实（Virtual Reality, VR）技术作为沉浸式三维交互数字仿真系统，能够构建具有物理真实性的虚拟环境。该技术通过头戴显示装置、触觉反馈设备及动作捕捉系统构成多模态感知反馈体系，来达到操作者物理感受上的身临其境。其核心交互机制包含三种维度：物理交互（通过触觉手套、力反馈操作杆实现器械操控）、生物信号交互（整合眼动追踪、肌电信号识别技术）及环境交互（动态响应操作者位移及视角变化）。通过融合虚拟和现实世界的沉浸式体验、高度互动性和强大的可视化感知功能，使学生能够更好地完成理论知识记忆和临床技巧的掌握，还可避免真实手术风险和提高实践操作的准确性^[10]。本研究采用全景动态捕捉技术构建危重气道管理场景，通过三维重构算法模拟患者濒危状态下的生理参数波动（如进行性低氧血症、循环衰竭等），结合触觉反馈装置模拟抢救过程中的操作阻力变化。研究显示，VR 系统能够提供实时触觉反馈、准确的软组织变形和身临其境的视觉环境，受试者们往往更喜欢基于 VR 的严肃技能培训，而不是基于传统讲座的简单培训^[11,12]。

教学方案设计遵循“情境-任务-能力”三维教学模式：首先将困难气道管理内容解构为感知环境、使用器械、决策能力等能力单元；其次基于“项目导向式教学法”（Project-Based Learning, PBL），将上述多种能力单元构建为复合训练模块；然后每个训练模块设置 3 个阶梯式训练单元：基础训练单元（解剖认知、设备操作），技能训练单元（设备操作），提高拓展训练单元（应急处置），建立半封闭式的虚拟情景训练模块，使多样的培训内容逐步形成阶段性的能力训练闭环。关键技术主要体现在：（1）采用图像数据集成技术，采集颌面

部创伤、气道占位等困难气道常见疾病病例的 CT/MRI 等数据，经图像三维重构、虚拟重建为标准解剖模型，用于困难气道空间感知；（2）引入“生理驱动模型”，集成于 Unity3D 虚拟现实开发平台中，使得机体的生命体征参数（ SpO_2 、 ETCO_2 等指标）、设备操作参数与受训者实际操作过程进行动态关联，从而使困难气道的模拟训练更加贴近临床情境；（3）引入“轨迹分析技术”；采集镜体的行进轨迹，获取其行进的轨迹偏移程度，并考虑操作时间、力度等协调能力指标，建立操作评价指标数据集。

2.2 使用 VR 平台搭载 ORSIM 模拟器进行分阶段系统性的培训实践

本研究采用前瞻性随机对照的方法评价“虚拟现实-物理模拟器”混合式教学模式的教学效果。纳入标准设定为：临床实习 <1 年、纤支镜操作次数 ≤ 5 例、未曾参加 VR 气道培训的麻醉专业型研究生。通过分层随机法将符合标准的研究生分为模拟器组与传统组，其中，模拟器组是使用 VR 平台搭载 ORSIM 模拟器进行纤支镜下气管插管的培训，而传统组是使用传统标准化人体模型来进行纤支镜下气管插管的培训。

模拟器组实施三阶段整合式培训体系：

①虚拟现实认知模块：通过头戴式显示设备进行 3D 解剖重构学习，重点强化声门复合体、环状软骨间隙等关键标志物的空间辨识；

②ORSIM 模拟器的操作模块设计是基于梯度难度的，包含 7 个递进式训练场景：正常口腔插管—正常鼻腔插管—肿瘤部分阻塞喉部插管—舌根部肿瘤，喉部通路非常有限插管—咽喉脓肿插管—由于前庭褶皱引起的阻塞性病变，狭窄的喉部气道插管—发炎，肿胀的会厌插管等病理状态^[8]，每个场景都设定了操作时间的限制和路径偏移的预警；

③多模态反馈训练：集成触觉传感器监测操作力度（范围 0-5N）、惯性测量单元记录镜体抖动频率（Hz）等参数，实时生成生物力学反馈图谱。

对照组沿用传统人体模型训练方案，进行示教-练习-反馈循环：

为使模拟器组和传统组客观条件基本一致，从我院麻醉科挑选临床及带教经验丰富的掌握纤维支气管镜气管插管技巧的高年资麻醉医生进行传统教学—练习—反馈循环。沿用我院当前的纤维支气管镜气管插管传统教学模式，向传统组研究生讲述相关理论知识，并由教学带教老师组织传统组研究生在人体模型上练习纤维支气管镜气管插管操作。特别说明，本研究中我

们努力为两组提供同等客观条件, 但传统组教育模式必然存在一些不可改变的客观因素, 如传统组教育模式虽有一定的可控学习环境, 但训练使用的模型种类、结构及性能均存在差异, 且教师组织教学的方案设计不同, 故教学方法不同, 学生学习掌握知识掌握程度存在差异。传统组出现上述缺陷在既往研究生教育中也已经显现, 但在传统组中不可避免。

2.3 两组教学培训的评估

为确保教学同质性, 建立双盲评估机制: 由 3 名具有 >10 年困难气道处置经验的麻醉专家组成独立评审委员会, 采用 OSATS 量表(含器械操作、解剖识别、应急决策等维度) 进行技能评估, OSATS 量表来评估手术室学员的手术技能是可行且有效的^[13]。评估者通过单向玻璃观察操作过程以避免霍桑效应。

已有研究证实: 通过 ORSIM 模拟器训练的受试者插管时间和 GRS 测量的插管训练后水平有所提升^[14]。基于现有研究结果, 我们推测, 经过一段时间的培训后, 模拟器组比传统组纤支镜插管操作水平提高, 气管插管时间减少, 处理困难气道的综合水平提高, 二者气管插管成功率无显著差异, 模拟器组学员能够用更少的训练时间和尝试次数达到与传统组相同的插管水平, 并且紧急情况下处理困难气道的综合水平显著提高。

3 教学效果的评价研究

3.1 通过问卷调查实现师生互评

本研究采用双向动态互评机制, 通过匿名问卷实现师生教学效能的全方位评估。让学生匿名评价教学场景设计的解剖真实性、教学内容的准确性、压力情景的临床性; 让教师匿名评价学生的技能迁移性(策略转化率)与认知理解能力(自我纠错准确度)。

3.2 通过固定指标体系评价考核住培医师实践能力

提出使用五维能力分析方法, 并匹配具体的临床指标。任务执行精准度是指镜体行走轨迹径向偏移指数和关键解剖点逗留时间的标准差; 任务执行速度是指急救任务情境应激反应时间和方案的修改率; 生物力学效能维度是指接触力平稳度指数以及接触力异常抖动频谱比值; 临床实现效能维度是指首次插管成功率和粘膜损伤预警次数; 协作效能维度是指人员之间信号指令的传递成功率以及多任务时的注意力分配比例(插管: 监护=7: 3)。

4 虚拟现实系统融合模拟器的教学效能推断

本研究构建的“虚拟现实-物理模拟器”融合教学模式, 其教学优势可通过认知负荷理论与技能迁移理

论进行多维度阐释。

模拟器组采用的虚拟现实(VR)训练模块通过解剖模型三维重建和生理参数实时反馈显示, 可能显著降低受试者的外在认知负荷。相较于传统二维图片教学, 这种空间映射机制有助于建立精确的神经运动模式, 这可以从操作精确性改善上得到印证。而 ORSIM 模拟器的梯度难度设计, 也可使受试者在练习过程中产生逐渐增加的内在认知负荷, 促使其持续突破技能瓶颈。在技能迁移层面, 模拟器组培训方案可能存在三重强化机制: 其一是受试者面对受训练环境中压力态情景的临场感(如代谢性酸中毒、进行性低氧血症等)可能被激活交感神经系统反应, 这种神经适应性训练有助于提升临床应急状态下的操作稳定性; 其二是受试者通过触觉反馈装置设定的操作力量阈值(如人为设定 5N 上限阈值)可能通过本体感觉重塑, 纠正过度用力等常见操作误区, 帮助养成类似于我们熟知的“肌肉感”(muscle feeling); 其三是手眼不协调情况的报警装置, 手部在非正确运动轨迹上的提示会强化对手指肌群的操作反馈的控制, 消除手眼协调性差的不良现象(正性学习), 形成正性技能习得的反馈闭环。

反观传统组训练模式, 其教学效能受限的关键因素可能包括传统人体模型的触感太差导致技能迁移效率低下; 静态训练环境难以培养动态临床决策能力; 无法在统一的标准下培养学生等。

另外, 从教学法的视角分析, 模拟器组的分阶段培训设计暗合安德森的认知技能发展三阶段理论: 认知阶段(VR解剖模块的学习可大量输入多维信息, 快速促进心理表象的建立); 联想阶段(模拟器实践操作建立了动作-结果联系); 自主阶段(在压力情景中训练, 程序化记忆得以不断强化)。这种分层递进的设计可能是实验组在复杂场景中操作较好(甚至喉部占位等病理模型解剖定位有突出优势)的原因。

5 小结与展望

本研究通过虚拟现实情境系统结合 ORSIM 模拟器创新性地构建了“三维认知—器械操控—决策强化”的能力培训体系, 其核心价值在于: ①通过虚拟现实的空间映射机制破解了传统教学的视觉局限; ②利用物理模拟器的触觉反馈优势建立操作直觉; ③借助压力情境模拟培养临床应变能力。后续研究可进一步优化训练周期, 如采用间隔强化训练方案(每周 2 次, 持续 4 周)以实现技能固化; 可参考 David Kolb 的经验学习循环理论, 在 VR 平台中嵌入反思日志模块, 通过操作回放与关键帧标记促进认知能力发展; 可建立跨平

台能力转化评估体系, 将仿真训练数据与临床胜任力指标进行多维度建模分析。以上这些尝试都有可能进一步提高困难气道管理技能的内化效率, 为研究生培养提供新型范式。

参考文献

- [1] 于布为, 吴新民, 左明章, 等. 困难气道管理指南[J]. 临床麻醉学杂志, 2013, 29(01): 93-98.
- [2] 田鸣, 邓晓明, 朱也森, 等. 困难气道管理专家共识[J]. 临床麻醉学杂志, 2009, 25(03): 200-203.
- [3] 赵柏松, 吴军, 金赛芬, 等. ORSIM 模拟器提升规培医师纤支镜操作能力的实践研究[J]. 中国现代医生, 2021, 59(22): 156-160.
- [4] 邓信林, 黄建成, 蔡铁良, 等. 3.5 毫米超细纤维支气管镜在小儿困难气道中的应用[J]. 中国医师进修杂志, 2018, 41(01): 42-45.
- [5] Kennedy CC, Cannon EK, Warner DO, Cook DA. Advanced airway management simulation training in medical education: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care Med*. 2014 Jan; 42(1): 169-78.
- [6] 黄之健, 刘玉凤, 张丽, 等. 医学生气道建立的学习在模拟人上的应用效果[J]. 麻醉安全与质控, 2024, 6(05): 281-284.
- [7] ORSIM® 技术手册及官网技术参数.
- [8] Baker PA, Weller JM, Baker MJ, Hounsell GL, Scott J, Gardiner PJ, Thompson JM. Evaluating the ORSIM® simulator for assessment of anaesthetists' skills in flexible bronchoscopy: aspects of validity and reliability. *Br J Anaesth*. 2016 Sep; 117 Suppl 1: i87-i91.
- [9] Melvin MT, Siddiqui NT, Wild E, Parotto M, Perelman VS, You-Ten KE. Achieving Competency in Fiber-Optic Intubation Among Resident Physicians After Higher-Versus Lower-Fidelity Task Training: A Randomized Controlled Study. *Anesth Analg*. 2023 Jul 1; 137(1): 200-208.
- [10] 张璐, 喻健. 增强现实技术在口腔医学教学中的应用[J]. 口腔材料器械杂志, 2024, 33(02): 111-115.
- [11] Jain S, Dripta Barua Chowdhury B, Mosier JM, Subbian V, Hughes K, Son YJ. Design and Development of an Integrated Virtual Reality (VR)-Based Training System for Difficult Airway Management. *IEEE J Transl Eng Health Med*. 2025 Jan 14; 13: 49-60.
- [12] Aksoy ME, Özkan AE, Kitapcioglu D, Usseli T. Comparing the Outcomes of Virtual Reality-Based Serious Gaming and Lecture-Based Training for Advanced Life Support Training: Randomized Controlled Trial. *JMIR Serious Games*. 2023 Sep 28; 11: e46964.
- [13] Martin JA, Regehr G, Reznick R, MacRae H, Murnaghan J, Hutchison C, Brown M. Objective structured assessment of technical skill (OSATS) for surgical residents. *Br J Surg*. 1997 Feb; 84(2): 273-8.
- [14] Wong DT, Mehta A, Singh KP, Leong SM, Ooi A, Niazi A, You-Ten E, Okrainec A, Patel R, Singh M, Wong J. The effect of virtual reality bronchoscopy simulator training on performance of bronchoscopic-guided intubation in patients: A randomised controlled trial. *Eur J Anaesthesiol*. 2019 Mar; 36(3): 227-233.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS