

DOI: 10.61189/524688gdrjug

· 综述 ·

虚拟现实在心肺复苏培训中的应用与进展:挑战与展望



甘舜轩*

南京柏拓视觉科技有限公司, 南京 210019

[摘要] 心肺复苏(cardiopulmonary resuscitation, CPR)是挽救心搏骤停患者生命的核心技能,其普及程度直接决定了院外抢救的成功率。然而,无论在公众教育还是专业医护培训中,传统CPR教学方式仍存在很多局限。近年来,随着人工智能、虚拟现实(virtual reality, VR)、增强现实以及元宇宙相关技术的发展,沉浸式交互训练逐渐被用于医学教育领域,成为CPR培训模式创新的重要方向。本文综述了CPR VR系统的研究进展和挑战,为未来技术开发提供思路。

[关键词] 心肺复苏;虚拟现实;元宇宙;医学教育;沉浸式培训;人工智能;技能迁移

[中图分类号] R-1 **[文献标志码]** A

Application and progress of virtual reality in cardiopulmonary resuscitation training: challenges and prospects

GAN Shunxuan*

Nanjing Baituo Visual Technology Co., Ltd, Nanjing 210019, Jiangsu, China

[Abstract] Cardiopulmonary resuscitation (CPR) is a critical life-saving skill, and its widespread adoption is closely associated with the survival rate of out-of-hospital cardiac arrest. However, traditional CPR training remains several limitations. With the rapid development of artificial intelligence, virtual reality (VR), augmented reality, and metaverse-related technologies, immersive training has emerged as a promising innovation in medical education, particularly in CPR instruction. This article reviews the research progress and challenges of VR-based CPR system, and provides ideas for future technology development.

[Key Words] cardiopulmonary resuscitation; virtual reality; metaverse; medical education; immersive training; artificial intelligence; skill transfer

近年来,随着虚拟现实(virtual reality, VR)、增强现实(augmented reality, AR)及混合现实(mixed reality, MR)技术的不断成熟,基于沉浸式交互的医学教育模式逐渐受到重视,其中心肺复苏(cardiopulmonary resuscitation, CPR)培训成为研究与应用的焦点方向之一。

1 CPR VR 相关研究综述

1.1 全球CPR VR培训发展概况 欧美国家的CPR VR教育起步较早。早在21世纪10年代,美国心脏协会(American Heart Association, AHA)和欧洲复苏委员会(European Resuscitation Council, ERC)就提出应探索数字化和模拟技术在急救培训中的应用,以弥补传统假人培训的不足^[1]。VR与AR在CPR教学中的应用不仅提升了学习者的操作兴趣和沉浸感,还提高了技能掌握率,改善了记忆保持效果。

欧美的一些高校和急救机构已经将CPR VR模块纳入医学教育课程与继续教育项目,并尝试用于CPR科普。

在亚洲,尤其是中国、日本和韩国,CPR VR的研究与应用正处于快速发展阶段。例如,日本研究者开发了一套用于日本前创伤急救评估(Japan Advanced Trauma Evaluation and Care, JPTEC)课程中初评环节的VR系统,用来替代传统的30 min面对面培训。该VR系统简单易用,即使没有专业技能,也可仅用2 d就完成VR内容制作。学员可在该系统内反复练习CPR,仅需15 min,就可以显著提升学员的实操测试通过率^[2]。在中国,一些高校和医院也已经开始探索低成本的CPR VR方案,以期解决师资短缺与场地限制的问题。然而,亚洲地区的研究多集中于应用探索和效果评估,尚缺乏大规模的随机对照试验和长期随访数据。

[收稿日期] 2025-09-08

[接受日期] 2025-09-24

[作者简介] 甘舜轩.

*通信作者(Corresponding author). Tel: 025-58715810, E-mail: 33971873@qq.com

1.2 经典研究与典型案例

1.2.1 相关研究 已有多项研究验证了CPR VR培训对提高操作准确性和学习主动性的积极效果。Sun等^[3]对15项研究进行荟萃分析,发现VR或AR培训效果在按压深度、频率及整体掌握度方面与传统培训相当;部分研究显示,VR组在某些指标上可能优于传统培训组。Nikiema等^[4]的系统综述指出,基于VR的严肃游戏能够显著提升学习者的CPR技能获取、自我效能感及知识保持。Artero等^[5]的随机对照试验结果显示,VR训练可以有效提升学员的按压正确率与自信心,尤其适用于混合教学模式。

1.2.2 产品与系统 CPR VR已经逐渐从“概念验证”走向“临床教育与公众普及”的双重应用场景。目前,市场上已出现多种CPR VR产品。(1)CPR VR App:部分基于Oculus、HTC Vive平台,能够提供虚拟场景与语音或视觉反馈。(2)Haptic-enabled systems:结合数字人和VR场景的系统,如Yigitbas等^[6]提出的AR或VR BLS培训平台,能够提供触觉反馈和自动化评估。(3)移动端:已有团队开始尝试开发轻量化的手机+简易VR头显CPR培训工具,以降低成本并支持大规模推广。

1.3 教学效果评估与比较 CPR VR培训已展现出多种优势。(1)提升操作准确性:研究^[7]表明,VR培训组的按压频率、深度及位置的准确性显著高于对照组。(2)提高学习效率:VR培训能够在更短时间内帮助学员掌握基本技能,尤其适合时间有限的非专业群体。(3)促进记忆保持:研究显示,VR训练在技能保持方面优于传统培训。一周或数周后的追踪测试中,VR组正确率下降幅度更小。(4)优化学习体验:VR训练提供更强的沉浸感和参与度,受训者普遍反馈“更有趣、更真实”,从而激发学习者的自主性。

然而,CPR VR也存在多处不足。(1)迁移效度问题:目前缺乏充分证据证明VR训练技能在真实急救环境中完全迁移。(2)个体差异:部分受训者出现VR晕动症或不适感,影响培训效果。(3)成本限制:高端VR硬件的价格较高,阻碍了相关VR产品在资源有限环境中的普及^[8]。

现有研究证明了VR或AR在CPR培训中的应用价值,它能够提高操作准确率、学习效率和主观能动性,为传统培训提供有力补充。然而,CPR VR在大规模推广、真实环境迁移、数据安全和成本控制等方面仍存在挑战。未来,需要进行更多高质量的随机对照试验和长期随访研究,同时结合人工智能(artificial intelligence, AI)与多模态交互技

术,以推动元宇宙医学教育体系的发展。

2 实现CPR VR培训的技术手段

基于VR的CPR培训系统能够提供沉浸式学习体验,其沉浸式效果很大程度上取决于所采用的技术。目前,相关技术研究与应用主要集中在硬件设备、软件平台、交互方式以及数据驱动的反馈机制4个层面。

2.1 硬件设备

2.1.1 头戴式显示器(head-mounted display, HMD) HMD是VR系统的核心组件,目前主流设备包括Oculus Quest、HTC Vive、Pico Neo等。这些设备能够提供沉浸式三维场景,并具备空间定位和运动追踪功能,使学习者在虚拟环境中能够完成CPR操作的空间定向。高端HMD支持6自由度(6DoF)追踪,可准确捕捉学习者头部与上肢的动作,沉浸式进行胸外按压和人工呼吸操作。

2.1.2 动作捕捉与传感器 手势识别与动作捕捉是CPR VR系统的关键环节。目前主要采用红外光学传感器(如leap motion)、惯性测量单元(IMU)以及摄像头结合的多模态追踪技术。这些传感器可实时捕捉学习者的双手位置、按压动作与角度,从而评估学习者的按压位置是否正确。部分系统还配备力敏传感器,以测量按压深度和力度。但是,光学传感器的成本比较高昂,并且对于设备的性能要求比较高,目前在实际开发过程中主要会采用摄像头进行用户行为的捕捉。无论使用哪种动作捕捉方式,由于目前HMD的普及程度远低于手机、平板等消费电子产品,其手势操作方案多样且缺乏统一标准,从而显著增加了用户的学习成本。因此,在现阶段,动作捕捉技术的应用应着眼于夯实基础功能的用户体验,而非追求功能的多样性,这是降低技术门槛的关键。

2.1.3 力反馈装置与触觉交互 传统CPR假人的优势在于能够提供真实阻力和反馈。因此,一些CPR VR系统尝试结合力反馈装置或混合模拟假人。例如,由浙江大学医学院附属邵逸夫医院设计开发的CPR VR训练平台(图1),采用VR头显与传感器集成的模拟假人作为核心交互设备,并创新地简化CPR流程和教学模式,集中优化按压力度、频率与时间等关键参数的实时反馈,在维持虚拟场景的沉浸感的同时,提供了触觉反馈,提升了操作真实性。

2.2 软件平台

2.2.1 虚拟患者生成 相关软件通常基于Unity或Unreal Engine开发,能够模拟院外心脏骤停等急救

场景。场景包含虚拟患者、环境噪音、围观人群等要素,以增加紧迫感 and 情境真实性。部分系统还支持

多种难度等级,从单一心脏骤停患者到复杂环境中的多任务急救,便于分层教学。



图1 CPR VR 产品介绍

2.2.2 实时反馈模块 实时反馈是CPR VR系统的核心优势之一。系统可通过颜色提示、语音指导或图形化界面显示学员的按压深度、频率和手位偏差(图2)。例如,当按压过浅时,系统会给出“压得不够深”的提示;当频率过快时,则提醒“请降低节奏”。这种即时反馈有助于纠正错误并增强学习记忆。

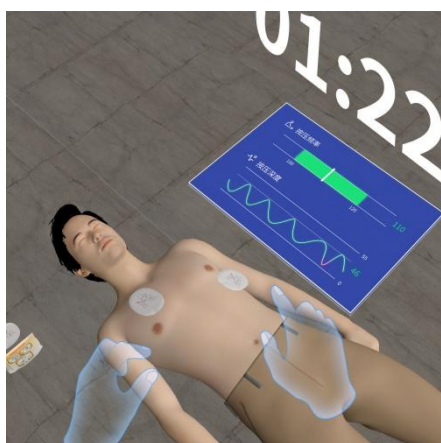


图2 CPR VR 产品图形化界面

2.2.3 AI教学与个性化学习 近年来,AI被逐渐应用至CPR VR培训。AI模块能够根据学习者的操作数据生成综合评分,并提供个性化改进建议^[9]。一

些研究提出可以利用机器学习预测学员的技能掌握曲线,从而调整训练强度和內容,定制个体化学习方案。

2.3 交互方式

2.3.1 手势与语音交互 手势识别允许学员在VR场景中完成按压动作,而无需外接复杂控制器。同时,语音交互可模拟急救指令场景,例如学员对虚拟旁人发出“拨打120”的指令,以提升团队协作与临场感。

2.3.2 多用户协作模式 部分VR平台支持多人协同训练。学员可在同一虚拟场景中分工合作,例如一人负责胸外按压,另一人负责人工呼吸或操作自动体外除颤器。这种模式不仅增强互动性,还能训练团队的急救配合能力。

2.3.3 混合现实与增强现实 相比单一VR技术,增强现实(augmented reality, AR)与混合现实(mixed reality, MR)技术能够在现实环境中叠加虚拟元素。例如,通过AR眼镜在假人模型上叠加实时按压反馈参数,实现虚实结合的训练模式。这种教学方式即保留了假人的物理阻力,又增加了数据化反馈,更容易推广。但由于AR眼镜本身的性能以及产品显示技术的限制,导致AR眼镜易受周围复杂光学环境的干扰,沉浸感不强,叠加的信息无法清晰显

示,结构配重不合理导致无法长时间佩戴,未来仍需要进一步完善。

2.4 数据驱动与反馈机制 数据采集与分析是 CPR VR 系统的另一大优势。采集的数据主要包括动作数据(按压深度、频率、角度、位置偏差),时间数据(反应时间、操作流程完成时间),生理数据(心率、呼吸频率)。这些数据不仅用于学员个人反馈,也可上传至云端,支持教师或机构的批量分析与远程监督。未来,结合大数据与 AI 算法,CPR VR 系统可为学员建立个人技能档案,实现纵向跟踪和动态改进。

当前 CPR VR 培训的技术手段呈现出“硬件—软件—交互—数据”的综合特征。在硬件方面,HMD、动作捕捉与力反馈假人共同构建沉浸体验;灶软件方面,虚拟病人场景与实时反馈模块提高学习效果;在交互方面,手势、语音及多人协作增强了临场感与真实性;在数据层面,系统能够实现量化评估与个性化学习路径。

尽管技术发展迅速,但在成本控制、硬件普及度、交互精度和用户体验稳定性方面仍有挑战。这些问题的解决,将推进 CPR VR 系统在元宇宙医学教育框架下实现大规模应用。

3 挑战与不足

尽管基于 VR 技术的 CPR 培训取得了积极进展,相关研究也不断涌现,但从现有证据和应用情况来看,CPR VR 系统在教育推广和实际应用中仍然面临诸多挑战与不足。这些问题主要集中在技能迁移效率、硬件与成本限制、用户体验、技术精度、数据与伦理风险等方面。

3.1 技能迁移与有效性不足 虚拟环境能否真实转化为临床与公众急救情境中的有效技能,是 CPR VR 培训面临的核心问题之一。部分随机对照试验表明,VR 训练可以显著提升学员在模拟测试中的表现,但对于真实院外急救事件中的表现尚缺乏直接证据。目前,多数研究的随访期较短,难以评估长期记忆保持和行为迁移效果^[10]。此外,VR 训练在心理压力模拟方面仍有不足,无法完全再现真实急救情境中的紧张氛围,这可能影响其在真实场景中的应用价值。

3.2 硬件成本与推广局限 高端 VR 头显、动作捕捉传感器和力反馈设备的采购与维护成本较高,限制了其在学校、社区和基层医疗机构中的大规模普及。尽管已有研究尝试开发轻量化、低成本的移动端解决方案,但这些系统在交互精度、反馈真实性

方面往往有所妥协。同时,设备更新迭代快,培训机构在投资时可能面临“技术折旧”的风险。对于资源有限的发展中国家而言,硬件成本高是 CPR VR 难以大规模推广的主要原因之一。

3.3 用户体验与接受度问题 VR 系统的使用体验直接影响学习效果。部分受训者在使用 VR 设备时出现头晕、恶心等症状,导致培训中断或效果下降。此外,不同年龄群体和技术熟悉程度的学员在接受度上存在差异:年轻人普遍适应较快,而年长的学员可能因系统操作复杂而降低其学习兴趣。VR 培训在提升学习兴趣方面虽具优势,但若体验不佳,可能反而影响参与度和普及性^[10]。

3.4 技术精度与标准化不足 动作捕捉和力度检测的精度仍是限制 CPR VR 培训效果的关键因素。目前多数 VR 系统能够提供按压频率与深度的反馈,但在手位偏差、胸廓回弹等关键操作的检测上仍不够精确。各系统评估指标与算法差异明显,缺乏统一规范,导致培训效果存在差异^[3],亟需行业标准化建设。

3.5 数据安全与伦理挑战 CPR VR 系统往往需要采集学员的动作数据、操作表现,甚至包括心率等生理参数。这些数据一旦上传至云端,可能面临隐私泄露与滥用的风险。此外,随着 AI 教练和大数据分析的应用,如何确保数据处理的透明性与合规性,成为亟待解决的问题。医学教育类期刊近年逐渐强调在虚拟教学研究中应包含伦理审批与数据保护说明,这提示未来 CPR VR 研究必须在设计阶段就重视隐私与伦理规范。

CPR VR 培训在技术创新和教育效果上展现出巨大潜力,但当前仍处于探索与过渡阶段。其推广与应用受到技能迁移证据不足、硬件成本高、用户体验不稳定、技术精度有限以及数据安全问题等多方面挑战的制约。未来发展需要更多高质量的随机对照试验与长期随访研究,同时推动行业标准化建设与成本优化,并在数据安全与伦理规范方面建立健全的框架,才能真正实现 CPR VR 的大规模应用和价值落地。

4 展望

随着 VR、AR、AI 和元宇宙概念的不断融合,CPR 培训在未来的发展方向逐步清晰。虽然现有研究已证实 VR 在提升学习兴趣、操作准确率和促进技能保持方面的潜力,但要真正实现 VR 在医学教育与公共卫生中的大规模应用,仍需从技术升级、个性化教育、跨学科融合、推广策略与政策标准

化等方面持续推进。

4.1 数字孪生与个性化学习路径 未来 CPR VR 系统有望结合数字孪生技术,为学习者建立个体化虚拟模型,动态跟踪学习进展并模拟真实操作表现。通过采集多模态数据(动作、语音、生理指标),系统可生成个性化学习曲线,并结合 AI 教练提供定制化训练方案。例如,对于按压深度不足的学员,系统可自动增加相关模块的训练频率,并提供针对性的语音或视觉提示。这种基于个体化数据驱动的学习方式,有助于解决当前“一刀切”培训效果存在个体差异的问题。

4.2 AI 教学与智能反馈 AI 技术的引入将使 CPR VR 培训迈向智能化。未来,系统不仅能实时评估学员操作,还能借助机器学习模型预测学员的潜在错误,并提前干预。AI 教练可以在虚拟场景中扮演导师,提供自然语言交流、即时纠错与心理激励,从而增强学习者的沉浸感和学习黏性。同时,结合大语言模型与多模态交互,系统可实现语音、手势、眼动等多通道输入,进一步提升训练的自然性与交互性。

4.3 多模态交互与沉浸式体验升级 未来 CPR VR 培训不应仅局限于手部动作识别和力反馈,而应扩展至多模态交互,例如以下几方面。(1)语音交互:允许学员在模拟场景中向虚拟旁人发出急救指令;(2)眼动追踪:用于评估学员在紧急情境下的注意力分布,帮助改进教学策略;(3)全身动作捕捉:训练团队协作与整体应急流程,而不仅是胸外按压环节。此外,随着触觉反馈技术与可穿戴设备的发展,学员可获得更真实的力反馈与身体沉浸感,从而提高训练的真实性与学习迁移效度。

4.4 公共健康普及与大规模推广 在应用层面,未来 CPR VR 系统有望在学校、社区、企业或事业单位中广泛部署,实现公众 CPR 教育常态化。轻量化、低成本的移动端 VR 方案将成为大规模推广的关键。例如,利用智能手机和便携式 VR 头显开展 CPR 基础培训,辅以 AI 评分系统和云端平台进行远程监督。这种模式不仅降低了成本,还能突破地域与师资限制,使 CPR 教育得到普及。

4.5 跨学科融合与元宇宙医学生态 CPR VR 的发展不仅是技术升级,更是跨学科融合的结果。构建完整的元宇宙医学生态,亟需医学、教育学、计算机科学、人机交互、心理学与公共政策等学科的协同共建,以形成坚实的支撑体系。在该生态中,CPR VR 将作为重要应用场景之一,与其他虚拟医疗教

育、手术模拟、慢病康复平台共同发展,形成覆盖教学、临床和公共健康的闭环。

4.6 标准化与政策支持 目前,CPR VR 培训尚缺乏统一的行业标准,不同系统之间的评估指标差异显著,影响了研究结果的可比性。未来应由国际组织(如 AHA、ERC)牵头,制定基于 VR 的 CPR 培训技术规范 and 认证体系,将其纳入急救教育的标准流程。此外,政策支持至关重要。各国政府和医疗监管机构若能在经费补助、认证体系建设和推广政策上给予支持,将极大促进 CPR VR 技术的落地与普及。

未来 CPR VR 培训的发展应聚焦于数字孪生与个性化学习、AI 教练与智能反馈、多模态交互与沉浸升级、大规模公共普及、跨学科融合与元宇宙医学生态建设。在政策与标准的引导下,CPR VR 技术有望从教育创新工具演变为公共健康战略资源,成为提升社会整体急救能力与医疗教育水平的重要组成部分。

5 小 结

CPR 作为最关键的院外急救技能,其培训质量与普及率直接关系到患者生存率。近年来,VR、AR 及元宇宙相关技术为 CPR 教育带来了全新的发展机遇。CPR VR 培训在提高操作准确率、提升学习效率、促进记忆保持以及增加学习主观能动性方面均表现出一定优势,其可扩展性和可及性为大规模推广提供了新的可能。

然而,当前 CPR VR 的应用仍面临诸多挑战,包括虚拟训练到现实场景的技能迁移效度不足、硬件成本较高、用户体验差异明显、动作捕捉与反馈精度有限,以及数据隐私安全挑战与伦理问题等。这些因素在一定程度上限制了 CPR VR 的广泛推广和标准化应用。

我们认为,CPR VR 技术的下一个突破点在于深度智能化。其中,AI 教练的集成尤为关键。它不仅需提供实时纠错,更应能基于学习者历史数据(如错误模式、学习速度),构建个性化数字孪生模型,动态生成针对性的强化训练模块。要实现这一目标,首要解决的是高精度、低延迟的多模态数据融合问题(如动作、眼动、语音、生理信号),其次需要开发更强大的行为预测算法。相比之下,元宇宙概念的融合虽具想象空间,但在 CPR 培训的具体落地路径和实际教育价值上,目前仍需更多的可行性论证。

伦理声明 无。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献 甘舜轩:选题、撰写、修改。

参考文献

- [1] American Heart Association. 2020 American Heart Association guidelines for CPR & emergency cardiovascular care [J]. Circulation, 2020, 142(16 suppl 2).
- [2] KIYOZUMI T, ISHIGAMI N, TATSUSHIMA D, et al. Development of virtual reality content for learning Japan prehospital trauma evaluation and care initial assessment procedures[J]. Acute Med Surg, 2022, 9: e755.
- [3] SUN R, WANG Y X, WU Q Y, et al. Effectiveness of virtual and augmented reality for cardiopulmonary resuscitation training: a systematic review and meta-analysis [J]. BMC Med Educ, 2024, 24(1): 730.
- [4] NIKIEMA S L W, BARRO S G, KANTAGBA Y M K, et al. Advancing CPR training with virtual reality: a review [M]// Digital health and informatics innovations for sustainable health care systems. Amsterdam: IOS Press, 2024.
- [5] ALCÁZAR ARTERO P M, PARDO RIOS M, GREIF R, et al. Efficiency of virtual reality for cardiopulmonary resuscitation training of adult laypersons: a systematic review [J]. Medicine, 2023, 102(4): e32736.
- [6] YIGITBAS E, KROIS S, RENZELMANN T, et al. Comparative evaluation of AR-based, VR-based, and traditional basic life support training [C]. 2022 IEEE 10th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH), Sydney, Australia: IEEE, 2022: 1-8
- [7] 王思瑶. 虚拟现实技术在医学生心肺复苏培训中的应用 [D]. 南方医科大学, 2019.
- [8] 李娜. 基于虚拟现实智能救护培训平台的培训需求调查及心肺复苏培训效果分析 [D]. 南昌大学, 2021.
- [9] American CPR Care Association. How AI revolutionizes CPR and AED training: key benefits [EB/OL]. [2025-08-12]. <https://cprcare.com/blog/use-of-ai-in-cpr-training/>.
- [10] 陈震. 基于虚拟现实技术的护理人员心肺复苏培训方案构建研究 [D]. 电子科技大学, 2024.

引用本文

甘舜轩. 虚拟现实在心肺复苏培训中的应用与进展:挑战与展望[J]. 元宇宙医学, 2025, 2(3): 19-24.

GAN S X. Application and progress of virtual reality in cardiopulmonary resuscitation training: challenges and prospects [J]. Metaverse Med, 2025, 2(3): 19-24.

·消息·

中山医院将建设国家人工智能应用中试基地

近日,国家发改委正式批复,由中山医院承担建设“国家人工智能应用中试基地(医疗领域临床医学科研方向)”的任务。该基地以“聚焦临床科研、破解行业痛点、构建生态标杆”为核心定位,致力于打造覆盖“研发—测试—验证—应用”全链条的创新支撑平台。

基地将建设国产化算力支撑平台,通过自建微调/推理算力集群,严格保障隐私数据“不出域”,为安全高效的数据处理与模型训练提供坚实基础。基地将打造全链条模型服务体系,以国产自主可控的基础大模型和AI框架为底座,构建涵盖模型工程、Agent(智能体)工程、AI资产管理在内的全流程服务能力。开发开放工具链,打造模块化应用开发组件,提升医疗多智能体系统构建效率,并向行业开放共享。

在具体应用层面,基地将面向医学科研、智能诊疗能力提升,智能医疗器械开发,智能医用机器人研发等方向,落地不少于49个特色应用场景,并发布超过10项配套标准规范。这些创新将显著提升诊断精准度和效率,使医务人员能够更专注于复杂病例的攻关和治疗方案的优化。同时,患者也将受益于更高效的诊断流程、个性化的治疗方案,以及从诊前咨询到术后随访的全流程优化服务。

来源:解放日报

记者:顾泳

2025 年 8 月 7 日