

沉浸式虚拟现实技术对学习及其迁移的影响

肖芬妮

福建师范大学心理学院, 福建 福州

收稿日期: 2023年6月29日; 录用日期: 2023年8月23日; 发布日期: 2023年8月30日

摘要

近年来, 虚拟现实技术发展迅速并被运用于各种领域。其中, 沉浸式虚拟现实技术逐渐被运用于培训和教学, 沉浸式虚拟现实技术对学习及其迁移的研究目前还处于一个起步阶段。本文整理概述沉浸式虚拟现实技术与学习及其迁移的相关研究, 主要基于沉浸式虚拟现实技术的课程学习和技能训练等相关研究; 以及沉浸式虚拟现实学习的理论模型等。旨在梳理当前基于沉浸式虚拟现实技术的学习及其迁移的研究现状, 也提出一些建议, 希望可以为后续研究提供一些启发。

关键词

沉浸式虚拟现实技术, 学习, 学习迁移, 沉浸式学习的认知情感模型

The Impact of Immersive Virtual Reality Technology on Learning and Its Transfer

Fenni Xiao

School of Psychology, Fujian Normal University, Fuzhou Fujian

Received: Jun. 29th, 2023; accepted: Aug. 23rd, 2023; published: Aug. 30th, 2023

Abstract

In recent years, virtual reality technology has developed rapidly and has been applied in various fields. Among them, immersive virtual reality technology is gradually used in training and teaching, and the research on learning and learning transfer of immersive virtual reality technology is still in its infancy. This paper summarizes the related research on learning and migration based on immersive virtual reality technology, mainly based on the related research on course learning and skill training based on immersive virtual reality technology; and the theoretical model of immersive virtual reality learning. This paper aims to sort out the current research status of learning and its transfer based on immersive virtual reality technology, and puts forward some suggestions, hop-

ing to provide some inspiration for future research.

Keywords

Immersive Virtual Reality Technology, Learning, Learning Transfer, The Cognitive Affective Model of Immersive Learning

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

虚拟现实技术包括沉浸式虚拟现实技术(VR)、增强现实技术(AR)和混合现实技术(MR),随着技术的进步和个人移动设备的普及,虚拟现实技术被运用于医学、工业和教学等诸多领域。虚拟现实设备具有便捷性、可移动性、交互性和个性化等特点,可在教学中作为实际操作危险和复杂实验的替代和补充,一定程度上可以降低实验成本和风险,因此又被描述为 21 世纪的学习辅助工具[1] [2]。但是虚拟现实技术对教育行业的贡献还没有得到全面评估,证明其教育价值的实证研究还较少[2]。崔钰婷等利用元分析技术,对有关使用虚拟现实技术对有效教学影响的文章进行分析,研究结果确实发现虚拟现实技术对学习绩效有较大幅度提升作用,且其教学的有效性受学段、学科、技术类型和学习环境等多种因素的影响,其一定程度上说明了虚拟教学技术对学习的促进作用[3]。

在虚拟现实技术的众多分类中,沉浸式虚拟现实技术(Immersive Virtual Reality, IVR)可以模糊真实世界和数字世界之间的边界,为用户提供高沉浸感的环境,因此近年来研究者们正在积极探讨其运用于教育教学中的适配性和有效性,如使用沉浸式虚拟现实技术为 STEM 课程的虚拟实验提供支持[4] [5] [6] [7]。但是虚拟实验并不能完全代替真实的实验,因为虚拟实验中的学习必须要可以迁移到现实世界中。因此,学习者从虚拟现实环境到真实环境下的学习迁移是基于沉浸式虚拟现实技术进行学习时不可避免的问题,始终得到研究者的重视[8]。学习迁移指在学习某个任务或领域后,个体将其学到的知识、技能或策略应用于其他任务或领域的过程。简而言之,学习迁移是将先前学习的内容应用于新的情境中的能力[9]。近年来,人们对基于沉浸式虚拟现实(IVR)的教育和培训课程的兴趣和实施程度激增,出现了很多相关的研究。

2. 沉浸式虚拟现实技术的定义和理论模型

VR 是一个复杂的媒体系统,包含了一个特定的感官沉浸式技术设置,以及一种复杂的内容展示方式,能够模拟真实的或者想象的世界[10]。VR 可以通过各种显示器进行访问,如台式电脑、头戴式显示器(head-mounted display, HMD)或洞穴状自动虚拟系统(cave automatic virtual environment, CAVE) [11]。通过 HMD 和 CAVE 访问的 VR 与通过台式电脑访问的 VR 相比,主要的不同之处在于其沉浸度不同。沉浸度是对系统提供的环境和操作生动度的客观衡量,以及系统能够排斥外部世界的程度[12]。尽管沉浸感的程度会根据不同技术激活的感官数量不同和硬件的质量不同而有所不同,但是相较于通过台式电脑访问的 VR 体验,通过 HMD 和 CAVE 访问的 VR 体验通常被认为是高沉浸感的,通常被称为沉浸式虚拟现实(IVR),这也是本文主要关注的。沉浸式虚拟现实技术主要通过整合丰富的媒体资源为用户提供视、听和触觉等多感官通道刺激,通常通过手柄和头盔等硬件设别来连接虚拟现实,是一种可以创建和体验

虚拟世界的计算机仿真系统，可与参与者进行即时互动。沉浸式虚拟现实技术与混合现实或增强现实技术不同，因为后两者允许学习者同时体验虚拟世界和现实世界，在两种环境中进行切换。而沉浸式虚拟现实技术则完全封闭了现实世界，在心理上将学习者隔离在虚拟环境中[13][14]。

尽管关于基于沉浸式虚拟现实技术的学习的研究在爆发性地增加，但是这一领域缺乏指导研究和应用开发的理论，这也是这一领域的主要挑战之一[15]。沉浸式学习的认知情感模型(The Cognitive Affective Model of Immersive Learning, CAMIL)由 Makransky 和 Petersen 提出，整合了当下沉浸式虚拟现实技术对学习的影响的相关研究，提出一个综合的理论模型，旨在为理解沉浸式虚拟现实环境中的学习提供一个基于研究的理论框架，也便于学生、教师、教学设计者等明确在使用、选择、设计、开发、购买和使用基于沉浸式虚拟现实技术的学习应用程序时需要注意什么[16]。

尽管有无数的潜在因素影响沉浸式虚拟现实下的学习体验，但 CAMIL 基于已有的相关研究定义了一些最重要的因素。该模型的一般理论框架表明，基于低沉浸式媒体的研究证据开发的一系列的学习方法也可以推广到沉浸式虚拟现实中的学习。然而，CAMIL 采取的是媒体互动的观点与方法。这一观点承认学习方法会影响学习，这表明先前在低沉浸式媒体中使用的方法并不一定可以用于沉浸式虚拟现实中的学习。在沉浸式虚拟现实中学习的主要支持功能是存在和代理。该模型描述了这些功能支持如何影响在沉浸式学习中发挥作用的六个情感和认知因素，包括兴趣、内在动机、自我效能、体现、认知负荷和自我调节(见图 1)。

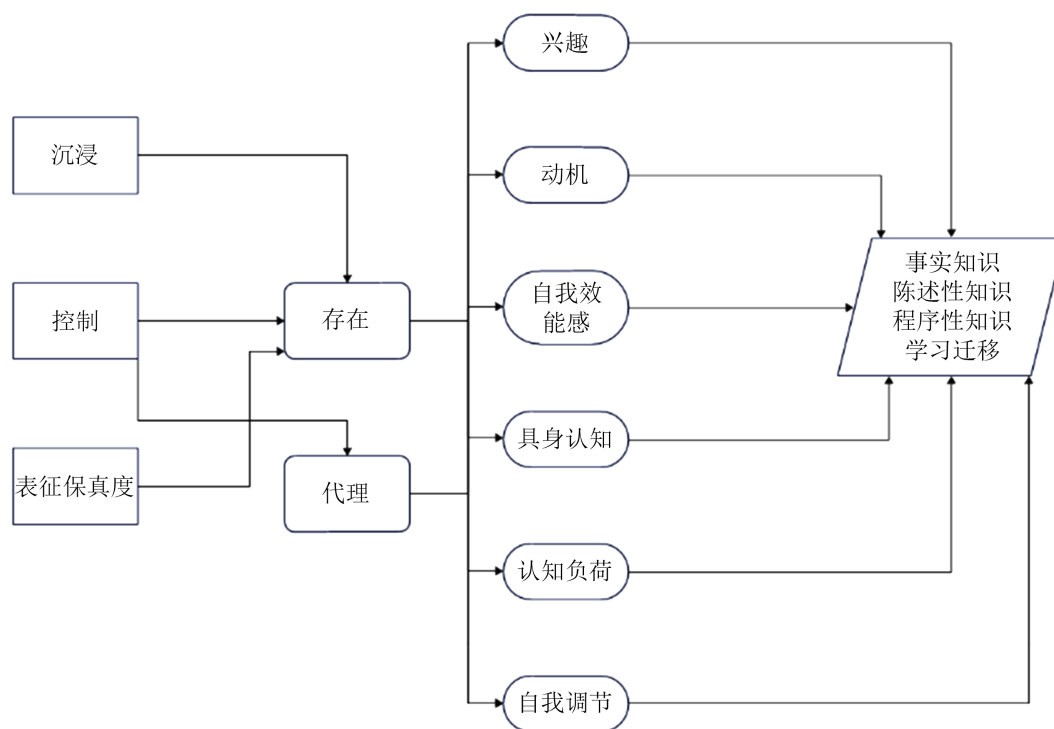


Figure 1. The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL) [16]

图 1. CAMIL 概述[16]

该模型的主要观点是，IVR 特有的技术因素：沉浸因素、控制因素和表征的保真度会影响 IVR 中两种支持学习的功能，存在和代理。“存在”大致可以被理解作为一种“就在那里”的感觉，总之，CAMIL 认为沉浸感、控制感和表征保真度都会正向影响“存在”。“代理”是一种可以产生和控制行动的感觉

[17], 虚拟环境中的“代理”指用户可以控制自己的行为, 并能够对环境中的某些参数施加控制[18], 控制因素被 CAMIL 认为最重要的“代理”预测因素(正相关)。而在现实的虚拟环境中感受到高水平的存在可能构成新奇和强烈的体验, 触发一个人对当下的兴趣。此外, 虚拟环境中高度的代理对学习者的情境兴趣有积极的影响。在一个能够提供积极反馈的真实虚拟教师(社会存在)的存在下, 可以满足学习者对能力和社会关系的需求, 从而导致更高的活动内在动机, 沉浸式学习过程中的高代理也会激发内在动机。当用户认为虚拟体验是“真实”的(存在), 并感觉自己在控制自己的行为(代理), 自我效能感会得到提高。在 CAMIL 中, 存在, 被认为与用户在 IVR 中经历的具身水平有关(正相关), 同样的, 控制身体行为的感受也与具身水平呈正相关。CAMIL 描述了存在与外部认知负荷之间的正相关关系, 外部的认知负荷也可以由高水平的代理产生。存在与代理与自我调节也是一个正相关的关系。总的来说, “存在”和“代理”可以影响情境兴趣、内在动机、自我效能感、具身认知、自我调节和认知负荷, 而较高水平的情境兴趣、内在动机、自我效能感、体现、自我调节和较低水平的认知负荷可以对学习结果产生积极的影响。CAMIL 预测的学习成果类型包括事实知识、陈述性知识和程序知识的学习以及学习迁移。IVR 并不一定是教授事实知识的理想媒介, 而导致 IVR 在发展事实和概念知识方面或多或少有效的确切机制在很大程度上取决于 IVR 课程的设计方式, IVR 最常被用于教授程序性知识, 对学习迁移也有积极效果。

3. 学习及其迁移的定义和理论模型

学习迁移是指在一种环境下进行的学习会影响在另一种环境下的表现, 并被认为是一个关键的教育概念和目标[19]。研究已经表明通过提供真实情景的虚拟模拟, 沉浸式虚拟现实技术可以促进学习效果和增强学习迁移能力[20]。这种迁移可以是程序性的迁移(如在真实火灾事故中使用在火灾安全模拟中学到的技能)或概念性的迁移(如通过沉浸式虚拟现实对人类大脑进行虚拟“旅行”, 影响现实大脑解剖测试中的表现)。

学科性知识结构理论是关于学习迁移的重要理论之一, 由 Bransford、Franks 和 Vye (1986)在教育心理学领域提出[21]。该理论强调学习迁移与学习者先前建立的知识结构和情境之间的紧密联系。据此理论, 学习者通过先前的学习和经验, 建立了一种学科性知识结构, 其中包含与特定学科或领域相关的概念、原理和解决问题的方法。当学习者面临新的学习任务时, 他们通过将学科性知识结构中的相关内容迁移到新情境中, 从而在新情境中应用这些知识和技能。学科性知识结构理论强调了先前学习和新学习之间的关联, 认为先前学习对于新学习的成功应用至关重要。在这一理论模型中, 学习迁移不是简单的知识迁移, 而是一种复杂的过程, 涉及到先前学习的知识与新情境的匹配和调整。学习者需要将先前学习的知识结构中的相关元素和策略转化为适用于新情境的解决问题的方法。

4. 沉浸式虚拟现实技术在学习及其迁移中的应用

近年来关于沉浸式虚拟现实技术对学习及其迁移的影响的研究逐渐增多, 相关研究主要集中于基于沉浸式虚拟现实技术的学习及其迁移的实际应用研究、和影响基于沉浸式虚拟现实技术的学习和迁移的因素等。沉浸式虚拟现实技术主要应用 STEM 课程和职业训练中。STEM 课程往往需要大量抽象概念的讲解和复杂实验的操作, 研究发现基于沉浸式虚拟现实技术的学习可使得学生在沉浸式的环境中更为直观地理解一些教师难以用言语进行讲解的抽象知识[22]。另一方面, 沉浸式虚拟现实技术有助于为因为场地限制或预算不足等原因而无法在实验室环境中进行学习的学生带来逼真的交互式实验室体验, 如 Broyer 等讨论开发了一套方法来使用虚拟现实技术演示如何在需要手套的实验或者程序中解决化学品和污染物的转移问题[23]。Elme 等研究表明沉浸式虚拟现实技术是 STEM 教学的有效学习媒介, 使用沉浸式虚拟现实技术进行学习, 学习前后测试在知识获取和学习迁移(程序和概念)上都有显著提高[6]。

对复杂技能、危险技能和高场景依赖性技能的培训也是沉浸式虚拟现实技术的一大应用。与传统的文本学习或者 2D 学习对比, 沉浸式虚拟现实技术在技能学习和技能迁移上具有巨大的优势。

在某些特定学科和领域中, 有一些非常复杂且依赖于实践的技能, 在无法进行实际练习的情况下, 沉浸式虚拟现实技术可以提供一个非常有效的补充。其中医学领域是沉浸式虚拟现实技术的一个重要的使用领域。由于伦理问题、对患者的安全承诺以及对成本资源的控制等原因, 使用传统模拟器(如尸体、动物或者演员等)来提高医学工作者的技能的培训变得越来越少, 虚拟现实技术有助于弥补这些缺失。Gasteiger 等的元分析结果表明为医护人员使用虚拟现实的技术或者非技术技能培训可能会引发对现实和沉浸感的感知, 并在安全环境中实现更轻松的可视化、交互性、增强技能和重复练习[18]。这可以提高技能并增加获得的知识和经验以及学习者的满意度。如 Logishetty 等研究使用沉浸式虚拟现实训练提高学员的髋关节置换术学习表现, 结果表明, 使用沉浸式虚拟现实训练的学员较之使用传统学习方法的学员, 可以更好地将学到的程序知识和实操技能转移到实际运用中(在传统训练器上练习), 实现高度精确的定位和更高效的手术[24]。类似的, Lohre 等的研究通过评估沉浸式虚拟现实是否能提高骨科住院医师进行反向肩关节置换术的学习效率, 研究表明相较于使用传统方法进行培训, 使用沉浸式虚拟现实技术进行的外科培训显示出更为卓越的学习效率、知识和技能迁移能力[25]。

一些危险场景下使用的技能, 在难以进行实际练习的情况下, 基于沉浸式虚拟现实技术的培训较之传统培训在技能学习和迁移上也具有更大的优势。如 Molan 等为 10~12 岁儿童开发了一个基于问题的沉浸式虚拟环境作为森林火灾安全的学习工具, 其学习有效性是根据儿童确定如何在丛林大火事件中更安全的能力来评估的[26]。学习前和学习后的测验结果显示该培训出现了积极的学习效果, 体现在儿童对丛林火灾安全知识的显著提高和他们对对自己是否具有在丛林火灾事件期间做出贡献的能力的信心。

对于一些非常依赖情景的技能, 基于沉浸式虚拟现实技术培训在技能的学习和迁移上同样具有巨大的发展潜力。如教师课堂管理是一项高场景依赖性的技能, 很难通过文本或 2D 学习等得到很好的学习和迁移效果。Chen 通过一项试点研究调查了沉浸式虚拟现实培训对入职前教师课堂管理能力的影响, 将管理学生的挑战性行为作为培训目标, 研究结果表明, 基于沉浸式虚拟现实技术培训提高了参与者管理学生挑战性行为的速度和有效性, 并且参与者可以很好地将他们习得的技能和技巧转移到现实的课堂中去[27]。因此, 沉浸式虚拟现实技术有非常大的潜力可以成为有效的教师培训工具。如 Liu 等就探究了对幼儿园教师的基于沉浸式虚拟现实技术的心肺复苏培训教学的教学效果[28]。研究结果表明, 基于沉浸式虚拟现实技术的培训显著提高了幼儿园教师进行心肺复苏术的自我效能和执行意图, 较之传统的心肺复苏培训, 虚拟现实培训的技能迁移意图和效果更强。

综合近期的研究, 这些研究结果可以似乎表明, 使用沉浸式虚拟现实技术有望在各种环境中最大限度地提高学习的效率和迁移效果等, 然而也有一些研究发现沉浸式虚拟现实技术似乎对学习及其迁移似乎并没有积极效果。如 Meyer 等研究发现, 基于沉浸式虚拟现实技术的学习虽然能够提高自我效能感, 但是对知识识记和知识迁移并没有显著影响[29]。对此, Harris 等认为需要基于证据来确定沉浸式虚拟现实技术的有效性, 他们认为沉浸式虚拟现实技术能够将学习转移到现实世界, 其中符合心理情感认知的沉浸式环境是成功迁移的真正决定因素, 可以通过开发有效的环境最大限度地发挥基于沉浸式虚拟现实技术的培训的潜力[30]。还有很多研究者在关注影响将沉浸式虚拟现实技术运用与学习和培训的有效性的因素。如 Zhong 等关注在沉浸式虚拟现实同伴指导对不同认知风格(场依存、场独立)的学习者的影响, 研究表明, 在基于沉浸式虚拟现实技术的课程中, 同伴指导可以通过减少认知负荷、增加动机和促进学习迁移等对学习产生积极影响, 且相较于认知风格为场独立的学习者, 认知风格为场依赖的学习者可以从同伴指导中获得更多的学业收益[31]。因此研究者们建议在基于沉浸式虚拟现实技术的课程中即要强调同伴互动, 同时也要关注个人的认知方式, 以最大限度地发挥课程的作用。

5. 对基于沉浸式虚拟现实技术的学习的建议

5.1. 沉浸式虚拟现实学习工具的开发应该重点关注沉浸式虚拟现实技术的功能支持

设计师在开发沉浸式虚拟现实学习工具时, 应该强调沉浸感、控制感和表征保真度等, 从而增加存在和代理。具体而言就是设计好环境, 确保环境的真实显示和视图变化的平滑和流畅性, 并提供高度和即时的控制。通过这样做, 设计师可以创造现实的体验式学习机会, 允许学习者完成在现实世界中不可能、不现实或者过于昂贵的任务。正如 CAMIL 所描述的, 通过沉浸式学习体验获得的高存在性和代理性可以促进兴趣、内在动机、自我效能感和体现, 从而促进学习[16]。

5.2. 沉浸式虚拟现实课程设计应该以学生为本

沉浸式虚拟现实课程并非知识的一种简单展示, 应该充分发挥学生的主动性。传统的教学模式一般是以教学为中心, 学生处于一个相对被动的地位。而基于沉浸式虚拟现实的教学有助于创建一个以学生为本的个性化的教学环境。因此, 教学在利用沉浸式虚拟现实技术设计教学情境时, 应注意要创建一个学生可以充分参与的情境, 增强教学内容的趣味性, 提升学生的学习投入, 使其充分发挥主动性。

5.3. 将沉浸式虚拟现实技术运用于实际教学和培训中时要注意相关变量调节的作用

尽管大量研究已经表明基于沉浸式虚拟现实技术的教学和培训对提升学习者的学习绩效和学习迁移等有显著效应, 但是依然还有很多变量会影响学习效果, 在课程设计和实际应用的时候应充分考虑。如研究表明, 虚拟现实技术在职业教育和本科即以上层次中应用效果良好[3], 故开发者可以针对这些阶段研发相关的课程和支持系统。而在课程使用中, 还应该充分考虑使用者的个人特质, 如认知风格对课程使用效果的影响[32]。

参考文献

- [1] Makransky, G., Lilleholt, L. and Aaby, A. (2017) Development and Validation of the Multimodal Presence Scale for Virtual Reality Environments: A Confirmatory Factor Analysis and Item Response Theory Approach. *Computers in Human Behavior*, **72**, 276-285. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.02.066>
- [2] Yip, J., Wong, S.H., Yick, K.L., Chan, K. and Wong, K.H. (2019) Improving Quality of Teaching and Learning in Classes by Using Augmented Reality Video. *Computers & Education*, **128**, 88-101. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.014>
- [3] 崔钰婷, 赵志群. 虚拟现实技术对学生学习绩效的影响——基于 59 项实验或准实验研究的元分析[J]. 中国远程教育(综合版), 2020(11): 59-67.
- [4] Baceviciute, S., Cordoba, A.L., Wismer, P., Jensen, T.V., Klausen, M. and Makransky, G. (2022) Investigating the Value of Immersive Virtual Reality Tools for Organizational Training: An Applied International Study in the Biotech Industry. *Journal of Computer Assisted Learning*, **38**, 470-487. <https://doi.org/10.1111/jcal.12630>
- [5] Baceviciute, S., Lucas, G., Terkildsen, T. and Makransky, G. (2022) Investigating the Redundancy Principle in Immersive Virtual Reality Environments: An Eye-Tracking and EEG Study. *Journal of Computer Assisted Learning*, **38**, 120-136. <https://doi.org/10.1111/jcal.12595>
- [6] Elme, L., Jorgensen, M.L.M., Dandanell, G., Mottelson, A. and Makransky, G. (2022) Immersive Virtual Reality in STEM: Is IVR an Effective Learning Medium and Does Adding Self-Explanation after a Lesson Improve Learning Outcomes? *Educational Technology Research and Development*, **70**, 1606-1626. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10139-3>
- [7] Liu, Z.M., Fan, X., Liu, Y. and Ye, X.D. (2022) Effects of Immersive Virtual Reality Cardiopulmonary Resuscitation Training on Prospective Kindergarten Teachers' Learning Achievements, Attitudes and Self-Efficacy. *British Journal of Educational Technology*, **53**, 2050-2070. <https://doi.org/10.1111/bjiet.13237>
- [8] 王济军, 魏雪峰. 虚拟实验的“热”现状与“冷”思考[J]. 中国电化教育, 2011(4): 126-129.
- [9] Perkins, D.N. and Salomon, G. (1989) Are Cognitive Skills Context-Bound? *Educational Researcher*, **18**, 16-25.

- <https://doi.org/10.3102/0013189X018001016>
- [10] Mikropoulos, T.A. and Natsis, A. (2011) Educational Virtual Environments: A Ten-Year Review of Empirical Research (1999-2009). *Computers & Education*, **56**, 769-780. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.10.020>
- [11] Buttussi, F. and Chittaro, L. (2018) Effects of Different Types of Virtual Reality Display on Presence and Learning in a Safety Training Scenario. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, **24**, 1063-1076. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2653117>
- [12] Cummings, J.J. and Bailenson, J.N. (2016) How Immersive Is Enough? A Meta-Analysis of the Effect of Immersive Technology on User Presence. *Media Psychology*, **19**, 272-309. <https://doi.org/10.1080/15213269.2015.1015740>
- [13] 胡艺龄, 常馨予, 吴怵. 沉浸式虚拟现实(IVR)对实验技能迁移的影响: 学习风格的调节作用[J]. 远程教育杂志, 2021, 39(2): 63-71.
- [14] Meyer, O.A., Omdahl, M.K. and Makransky, G. (2019) Investigating the Effect of Pre-Training When Learning through Immersive Virtual Reality and Video: A Media and Methods Experiment. *Computers & Education*, **140**, Article ID: 103603. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103603>
- [15] Harris, D.J., Bird, J.M., Smart, P.A., Wilson, M.R. and Vine, S.J. (2020) A Framework for the Testing and Validation of Simulated Environments in Experimentation and Training. *Frontiers in Psychology*, **11**, Article 605. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00605>
- [16] Zhong, Z., Zhang, G., Jin, S., Wang, J., Ma, N. and Feng, S. (2022) Investigating the Effect of Peer Instruction on Learners with Different Cognitive Styles in VR-Based Learning Environment. *Education and Information Technologies*, **27**, 11875-11899. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11115-3>
- [17] Wu, B., Yu, X. and Gu, X. (2020) Effectiveness of Immersive Virtual Reality Using Head-Mounted Displays on Learning Performance: A Meta-Analysis. *British Journal of Educational Technology*, **51**, 1991-2005. <https://doi.org/10.1111/bjet.13023>
- [18] Makransky, G. and Petersen, G.B. (2021) The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality. *Educational Psychology Review*, **33**, 937-958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
- [19] Alavi, M. and Leidner, D.E. (2001) Research Commentary: Technology-Mediated Learning—A Call for Greater Depth and Breadth of Research. *Information Systems Research*, **12**, 1-10. <https://doi.org/10.1287/isre.12.1.1.9720>
- [20] Bransford, J.D., Franks, J.J. and Vye, N.J. (1986) The Transfer of Learning. In: Wittrock, M.C., Ed., *Handbook of Research on Teaching (3rd Edition)*, Macmillan, New York, 465-486.
- [21] Makransky, G., Borre-Gude, S. and Mayer, R.E. (2019) Motivational and Cognitive Benefits of Training in Immersive Virtual Reality Based on Multiple Assessments. *Journal of Computer Assisted Learning*, **35**, 691-707. <https://doi.org/10.1111/jcal.12375>
- [22] Li, Y., Zhang, J., Sun, W., Wang, J. and Gao, X (2017) VREX: Virtual Reality Education Expansion Could Help to Improve the Class Experience (VREX Platform and Community for VR Based Education). 2017 *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, Indianapolis, 18-21 October 2017, 1-5.
- [23] Buttussi, F. and Chittaro, L. (2018) Effects of Different Types of Virtual Reality Display on Presence and Learning in a Safety Training Scenario. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, **24**, 1063-1076. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2017.2653117>
- [24] Broyer, R.M., Miller, K., Ramachandran, S., Fu, S., Howell, K. and Cutchin, S. (2021) Using Virtual Reality to Demonstrate Glove Hygiene in Introductory Chemistry Laboratories. *Journal of Chemical Education*, **98**, 224-229. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00137>
- [25] Gasteiger, N., van der Veer, S.N., Wilson, P. and Dowding, D. (2022) How, for Whom, and in Which Contexts or Conditions Augmented and Virtual Reality Training Works in Upskilling Health Care Workers: Realist Synthesis. *JMIR Serious Games*, **10**, e31644. <https://doi.org/10.2196/31644>
- [26] Logishetty, K., Rudran, B. and Cobb, J.P. (2019) Virtual Reality Training Improves Trainee Performance in Total Hip Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial. *Bone & Joint Journal*, **101B**, 1585-1592. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B12.BJJ-2019-0643.R1>
- [27] Lohre, R., Bois, A.J., Pollock, J.W., Lapner, P., McIlquham, K., Athwal, G.S. and Goel, D.P. (2020) Effectiveness of Immersive Virtual Reality on Orthopedic Surgical Skills and Knowledge Acquisition among Senior Surgical Residents: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Network Open*, **3**, e2031217. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.31217>
- [28] Molan, S., Weber, D. and Kor, M. (2022) Shaping Children's Knowledge and Response to Bushfire through Use of an Immersive Virtual Learning Environment. *Journal of Educational Computing Research*, **60**, 1399-1435. <https://doi.org/10.1177/07356331211054569>

- [29] Chen, C.Y. (2022) Immersive Virtual Reality to Train Preservice Teachers in Managing Students' Challenging Behaviours: A Pilot Study. *British Journal of Educational Technology*, **53**, 998-1024. <https://doi.org/10.1111/bjet.13181>
- [30] Ijsselstein, W.A. and Riva, G. (2003) Being There: The Experience of Presence in Mediated Environments. IOS Press, Amsterdam.
- [31] Moore, J.W. and Fletcher, P.C. (2012) Sense of Agency in Health and Disease: A Review of Cue Integration Approaches. *Consciousness and Cognition*, **21**, 59-68. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.08.010>
- [32] Johnson-Glenberg, M.C. (2019) The Necessary Nine: Design Principles for Embodied VR and Active Stem Education. In: Díaz, P., Ioannou, A., Bhagat, K. and Spector, J., Eds., *Learning in a Digital World*, Springer, Singapore, 83-112. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8265-9_5