

· 教学研究 ·

XR信息技术在细胞生物学教学中的应用探索

张涛 耿杰杰 边惠洁 陈志南*

(空军军医大学国家分子医学转化中心&基础医学院细胞生物学教研室, 西安 710032)

摘要 细胞生物学教学内容具有微观性、立体性、动态性与复杂性, 传统教学方式在微观结构可视化、动态过程呈现和部分实践教学实施等方面存在显著局限。该研究将扩展现实(XR)技术融入细胞生物学课程, 基于具身认知理论与佩顿四步教学法, 结合XR信息技术独特优势, 设计了“感知–交互–内化–创造”的螺旋式学习路径, 构建了“XR沉浸式融合教学模型”, 并以“细胞信号转导”和“细胞器观察”为例, 系统论证了基于该模型的理论与实践教学具体的理论模型与应用路径, 为改善细胞生物学传统教学方式中的局限性提供了实践依据, 明确XR信息技术定位应该是融合互补而非代替传统教学方式。XR信息技术在细胞生物学中的应用将有望推动教学方式向智能化、个性化、效率化的更高层次发展。

关键词 XR信息技术(拓展现实); 细胞生物学教学; 沉浸式学习; 虚实融合教学; 医学教育创新

An Exploration into the Application of Extended Reality Technology in Cell Biology Education

ZHANG Tao, GENG Jiejie, BIAN Huijie, CHEN Zhinan*

(National Translational Science Center for Molecular & Department of Cell Biology,
School of Basic Medical Sciences, Air Force Medical University, Xi'an 710032, China)

Abstract Cell Biology education involves microscopic, three-dimensional, dynamic, and highly complex content, presenting significant challenges for traditional instructional methods in visualizing microscopic structures, dynamic processes, and conducting certain practical experiments. This study integrates XR (extended reality) technology into the Cell Biology curriculum by incorporating embodied cognition theory and Peyton's four-step instructional approach. Leveraging the unique advantages of XR led to the design of a spiral learning path—“Perception, Interaction, Internalization, Creation”—and the construction of an XR immersive integrated teaching model. Using “cellular signal transduction” and “organelle observation” as representative examples, this research systematically demonstrates the application of this model in both theoretical and practical teaching contexts. The findings provide empirical evidence for mitigating the limitations of conventional teaching methods in Cell Biology, highlighting that XR technology should serve as a complementary rather than substitutive tool. The implementation of XR technology in Cell Biology education is poised to advance instructional methodologies toward greater intelligence, personalization, and efficiency.

Keywords XR (extended reality) technology; Cell Biology education; immersive learning; blended reality pedagogy; medical education innovation

收稿日期: 2025-07-10

接受日期: 2025-09-02

江西省自然科学基金(批准号: 20232BCD44010)资助的课题

*通信作者。Tel: 029-84712310, E-mail: znchen@fmmu.edu.cn

Received: July 10, 2025

Accepted: September 2, 2025

This work was supported by the Jiangxi Provincial Natural Science Fund Projects (Grant No.20232BCD44010)

*Corresponding author. Tel: +86-29-84712310, E-mail: znchen@fmmu.edu.cn

细胞生物学是临床医学专业、基础医学专业和生物技术等医学类专业学员医学课程中的基础必修课程,也是现代生物学教育的重要基础学科^[1]。该课程从细胞和分子水平阐释生命的结构基础、功能机制及疾病发生的分子机理,为生命科学和医学相关课程提供基础知识框架。细胞生物学理论性强、内容抽象,涉及生物化学、分子生物学与医学遗传学等多学科知识,同时具备高度实践性,注重培养学员动手能力与科研思维。在空军军医大学的教学规划中,该课程属于细胞与分子基础模块化教学的重要环节,于本科学员的第一学年开设,涉及到的学员专业有:临床医学、基础医学、航空航天医学、口腔医学、生物技术、药学、护理和医学工程专业。该阶段的学员医学知识体系尚未完善,学习方法尚未成熟,对抽象医学思维的理解能力欠缺,学习热情虽然高涨但面对学习困难时容易气馁,信心不足。在教学过程中,学员不仅需要深入理解掌握细胞生物学核心理论知识,而且需接受初步的科研思维的训练,掌握分子生物学基础实验技能。

此外,细胞生物学的教学内容具有微观性、立体性、动态性和复杂性等特征,如细胞器的超微结构、信号通路的级联反应以及实践课的特定局限性等。传统教学方式主要依赖文字叙述、二维图像和静态模型等,难以帮助学员建立准确的微观空间结构和动态过程认知,导致其在抽象与具象、理论与实践的转换中存在一定困难。目前在细胞生物学教学创新中,主要集中于对授课组织方式的革新,比如问题导向式教学法、“情景式”教学模式的探索等^[2-5]。这些教学组织方式的革新虽然可能克服了部分传统教学方式的局限性,但在新技术发展背景下无法解决上述细胞生物学教学的主要痛点,这也催生了对沉浸式、交互式、可视化新技术的迫切需求。

XR信息技术(extended reality, 又称ER技术),即拓展现实技术,指通过计算机技术和可穿戴设备产生的真实和虚拟结合的,可进行人机交互的环境。XR信息技术是涵盖多种沉浸式体验技术的统称,主要包括虚拟现实(virtual reality, VR)、增强现实(augmented reality, AR)和混合现实(mixed reality, MR)。其中,VR虚拟现实是通过头戴显示器(即头显)为用户构建完全由计算机生成的虚拟环境,以视觉和听觉为主导的感官输入,营造强烈的环境沉浸感。其核心在于融合多通道来源的信息,实现用户与三维

动态仿真场景及其中虚拟实体行为的交互。AR增强现实与VR不同,该技术是基于使用者所处的真实环境,实时叠加虚拟信息(如图像、三维模型、视频、声音)。使用者的视野中真实世界与虚拟元素共存,后者被精准地映射到现实空间的位置和视角上。MR混合现实是VR和AR的进阶形态,不仅将虚拟内容叠加到现实世界,更实现了两者的深度融合与实时交互。在MR构建的“新世界”中,数字化后的现实对象与虚拟物体无缝共存并相互作用^[6-8]。

XR技术首次出现于1968年^[9],后续一直处于缓慢发展的低潮阶段。随着信息技术的不断迭代,在2019年后,在硬件升级、架构革新和5G等技术加持的推动下,XR技术获得突飞猛进的进步。2021年,国务院在《“十四五”数字经济发展规划》中将VR虚拟现实和AR增强现实产业确立为数字经济七大重点发展领域之一。2022年,工业和信息化部等五部委联合发布《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划(2022至2026年)》,标志着XR产业步入快速发展新阶段。依托其沉浸式、交互性等独特优势,XR信息技术在文化娱乐、工业生产,特别是在教育领域的应用正不断深化和拓展。“XR信息技术+”应用研究文献在国内外的报道也不断增多,有学者关注到XR信息技术对高校教学的助力作用,尤其是在医学教育中具有显著的优势^[10-14];有报道称将XR信息技术用于解剖学和生理学,显著提高了学员的理解力^[15-16]。综上所述,XR信息技术的软硬件体系日益完善,其作为新一代信息技术,展现出与教育教学深度整合的巨大潜力,有望成为推动新时代基础教育课程改革深化的重要方式。

2022年,我校教学实验中心已建成基于临床医学、基础医学打造的以VR虚拟现实、AR增强现实、MR混合现实技术为软硬件基础的“XR沉浸式教学体验平台”,积极推进XR技术与教学融合的理论 and 实践探索,助推产、学、研成果转化^[17]。在细胞生物学理论和实践课的教学过程中,如何将XR技术融入课程建设,如何运用沉浸式教学模式投入实际教学是我们目前的一个课题。我们正在积极进行基于XR技术的教学设计,以及教材和教具的开发,以期尽快投入日常理论和实践教学活动中。

1 传统教学方式面临的现实挑战

传统教学方式立足于我国人口基数大的国情,

旨在保障教育的广泛普及性。然而,其本身的特征难以实现个性化的、高效率的教学,从而面临着一些普遍存在的挑战,特别是在某些教学场景和条件下。这些传统教学方式的部分局限性不仅容易忽视学习者的个体差异,更会制约学员综合素质的提升、实践技能的培养以及创新思维的激发。

1.1 微观结构和动态过程可视化不足

细胞生物学课程知识体系庞杂,知识点众多,其中包含细胞内部复杂立体结构(如细胞器空间排布、生物大分子组装)和动态过程(如细胞膜及其囊泡之间的运输,细胞分裂和周期性变化、细胞亚显微水平的结构和细胞信号转导的复杂过程等)。细胞功能是基于细胞结构的,如不能正确理解细胞结构,则无法进一步理解细胞的各项错综复杂的功能。

这类理论课程教学内容高度抽象,尽管教员常采用讲授、PPT、动画视频等多种手段,学员仍普遍反映仅依靠静态图片、二维动画或语言描述,难以建立准确的空间构象和理解动态变化的连续性与调控机制。在这些课程的教学过程中,常发现学员学习兴趣低,缺乏互动性,难以引起学员注意和持续性专注。另外,教学效果受到教师的教学水平及教学热情的影响,导致授课质量无法保证,不利于课程建设的标准化。

1.2 部分实践教学存在客观限制

首先,在细胞生物学的实践课的教学过程中,涉及到众多实验的教学,其中小部分实验可能会接触到有毒有害物质、腐蚀性液体等对学员可能造成潜在伤害的试剂,比如细胞固定所用多聚甲醛、戊二醛和Triton X-100等试剂。其次,一些实验需要较长的时间间隔才能进行观察,如细胞融合、细胞培养和细胞染色等,中间存在大量碎片时间,这使得课程变得冗长枯燥,大大削弱了学员兴趣和实践课的教学效果,甚至杂交瘤、Elisa等实验等待时间超过24小时,使教学过程变得割裂,课程连贯性大大受影响。再次,目前细胞生物学前沿的实验技术,如流式细胞术、细胞免疫荧光染色、多色组化细胞染色等无法在本科生实践课程中开展,这限制了学员对于细胞生物学前沿科研领域知识的认识和掌握。最后,真实实验中,试剂耗材成本、仪器损耗以及等待时间使得学员难以进行充分的重复练习和自由探索。

综上所述,目前在细胞生物学的教学过程中,以上这些存在的特定局限性导致该课程的理论课和

实践课教学效果仍具有较大的提升空间。而这些局限性会随着新技术、新方法的涌现得以改善,通过教学方式的改革,促进教学效果的改善,激发学员的创新思维和提高学员解决问题的能力。但需要强调的是,传统教学方法中的启发式、探究式教学以及真实的动手实验操作,在培养学员的批判性思维、科研素养和动手能力方面仍具有核心价值,这也是XR技术无法替代的。本文所探讨的XR技术在细胞生物学课程中的应用,旨在针对上述教学中面临的特定挑战提供补充性解决方案。

2 XR信息技术为教学过程赋能的理论基础

1994年,美国罗格斯大学教授Grigore BURDEA和法国国家工程院院士Philippe COIFFET^[18]提出了虚拟现实的三个基本特征,即沉浸性(immersion)、交互性(interaction)和构想性(imagination),合称为“3I”特征。这三个特性共同构成了虚拟现实技术的核心框架,使用者能够身临其境地感知虚拟现实环境,并与之形成互动。结合XR技术的本质认识,可将其特征和优势总结为以下方面。一是包含AR、VR、MR在内的XR技术优势在于全方位的情景感知、全感官的参与互动、物理对象在XR支持下实现自主互动^[19],以及数字虚拟和现实的无缝对接。二是XR信息技术与5G技术等新信息技术的融合应用,低延迟和高带宽使XR信息技术优势实现和应用到更广泛的领域中,再依托互联网整合广大网络资源,促使现代医学教育向信息化新维度转变^[20-21]。XR整合到医学教育中,可为学员提供传统教学方式无法触及的学习环境和学习工具来增强理解能力和学习效率,构建高效的、优质的、智慧的课堂教学新生态^[22]。若将XR应用于细胞生物学的理论或实践教学,学习者将能突破虚拟与现实的界限,沉浸式地参与课堂活动^[23]。课本中的抽象文字和平面图像在XR下转化为具象、可交互的场景,大幅提升认知的真实感。依据具身认知理论,这种“境教”模式超越了传统的“言传”与“身教”,通过多感官沉浸体验有效激发学员的学习动机与探索兴趣。简而言之,XR信息技术通过对知识的多通道感知强化→具身交互模式进一步内化知识→基于新获得知识解决情境问题的递进机制,将细胞生物学教学中抽象的细胞和分子水平的事件转化为沉浸式可交互、实时反馈的具身体验。该理论基础反映了认知进化的根本

需求:用身体理解世界,这也是传统教学方式难以企及的获取知识的方式。需要指出的是,XR技术在教育中的应用价值已被多领域探索证实,其核心优势在于创设沉浸情境和提供自主交互。结合细胞生物学教学的具体需求和面对的挑战,我们认为XR可在以下方面提供有力补充。

2.1 XR信息技术补充并丰富传统教学模式

XR情景互动的教学方式依托其沉浸式、交互式、虚实结合、实时交互等强认知感的优势,改善并丰富了传统教学方式和学习方式,通过更新颖和更具吸引力的方式呈现课程,通过“教、学、练”与XR的“人、场、物”交互的模式,从而可以有效辅助学员理解复杂抽象的概念,补充传统课堂在直观体验方面的不足^[24]。SUN等^[25]报道称,AR增加了受训者的主观吸引力,提高了学习注意力和表现。许多学员认为XR是令人新奇的和令人兴奋的,与传统教学方法相比,其显著提高学习兴趣、使学习效率大大增加、使学员更加专注,从而使教学效果更好,以这种形式呈现时,他们对学习内容更有动力和参与感^[26]。

2.2 XR信息技术可营造沉浸式学习环境

在XR信息技术支持下的教学场景中,学员佩戴头部显示器或者增强现实眼镜,其中高分辨率显示屏可实时将教学内容信息以360°封闭式图像信息展示给学员,在此过程中,教学内容声音信息也同步被学员接受。在学员的视角中,虚拟加现实的图像信息到声音信息营造身临其境的沉浸式体验。同时,学员可操控手柄或触控板对学习内容进行控制,对学习内容进行即时的交互反馈,从而自由、全面的获取信息,真实体验到不同的学习情境,享受到更多的学习资源,提高学员的参与率,为学员理解复杂的微观结构与动态过程提供传统手段难以企及的直观辅助^[27]。

2.3 XR信息技术为实训课程提供高效的补充手段

佩顿四步教学法(Peyton's Four-Step Approach)是一种广泛运用于医学教育领域的技能教学方法,包括示范(demonstration)、解构(deconstruction)、模仿(performance)、强化(reinforcement)。其中,模仿步骤和强化部分被认为是佩顿教学法的重要步骤,对技能的掌握十分有益。XR可作为佩顿四步教学法中“模仿”和“强化”步骤的有效辅助工具,为学员提供了一个安全的、可重复的、低成本的虚拟环境

和更多的练习机会,学员可进行重复练习,并不断纠错,更快地理解并掌握实验技能。XR可应用于多种实践课场景:在实践课程中运用XR进行教学可避免直接接触有毒有害物质,提前对高风险实验进行预习与提前练习(在接触真实有毒有害试剂或复杂设备前,先在虚拟环境中演练操作步骤和安全规范);可增强对长周期、长时间的实验原理的理解与关键节点的模拟,降低实验课时间成本和经费成本;可平替高成本、稀缺设备的模拟操作进行教学,许多学员在虚拟环境中操作昂贵的精密仪器(如共聚焦显微镜、流式细胞仪),熟悉其原理和操作界面。总之,XR优势可克服实训课程的局限性,为实训课加深理解、熟悉流程、降低风险、节约成本,并为真实操作打下坚实基础。但需要指出的是,XR不能完全替代必要的动手实践,最终技能的熟练掌握和科研思维的培养,必须通过真实的实验操作来完成。

综上所述,XR技术在细胞生物学教学中的应用可归纳为三种模式。①对于抽象动态知识(如信号转导等理论课),其作为核心教学工具用于教学实践。②对于高风险、高成本实验课教学,其可作为低成本和保证安全的模拟预演平台。③对于基础技能操作(如显微镜观察等相对简单的实践课),其可作为智能增强辅助工具。这种优势互补的策略,是最大化其教学效果的关键。基于上述结论,我们融合具身认知理论和佩顿四步教学法等,构建了“XR沉浸式融合教学模型”,强调了“感知-交互-内化-创造”的螺旋式学习过程,将XR技术有机嵌入到课前预习、课中探究和课后拓展的全流程。

3 “XR沉浸式融合教学模型”在细胞生物学课程的教学应用探索

基于上述模型,我们以“细胞信号转导”和“细胞器观察”为例,详述“XR沉浸式融合教学模型”在教学中的实践方法。在空军军医大学细胞生物学课程教学计划中,明确教学理念应以学员为主体,重在激发学习的内驱力,关注更高阶的知识综合分析运用,需整合多种教学形式,比如信息化的教学平台,保证教学的先进性。另外,由于细胞生物学课程具有理论性强,内容抽象的特点,XR通过其“沉浸性”的优势将一一解决这些痛点。细胞的功能依赖于细胞复杂的微观结构,学员可通过XR设备直接“进入”细胞内部,沉浸式感受细胞内部复杂微观结构和动态变

化,使学员认知从传统二维图像转变为三维空间认知体验,更难能可贵的是,细胞中的动态变化如细胞信号转导过程可动态演示,实时观察。有别于视频学习资料,学员可通过XR信息技术直接控制细胞结构和动态变化,三维拆解立体结构,并通过任意角度观察。另外,学员可通过XR设备对现实中高风险、高成本的实验操作,如细胞培养等进行高效率、可重复性的学习,无需担心浪费试剂和设备损害,实现零成本试错。在此过程中,教员可通过XR设备上布置游戏式的任务和关卡并进行即时反馈,激发学员学习热情,调动学员学习内在驱动力。下面,以理论教学细胞信号转导和实践教学细胞器的观察为例,详述XR如何融入教学过程中。

3.1 XR信息技术在理论课程中的应用探索,以细胞信号转导为例

在细胞生物学教学内容的信号转导课程中,学员需掌握细胞信号转导的基本概念、细胞间通讯的类型、细胞信号转导的基本过程、细胞信号转导相关分子、细胞信号转导的特点和规律,胞内受体的基本类型,膜受体的基本类型。难点在于受体与配体、第二信使、级联瀑布效应、代表性通路的基本组成和生物学功能、信号转导异常与疾病、信号转导与医学,教学方式建议选用启发式教学和信息化教学手段。站在学员的角度,细胞信号转导是学习难点,在初次接触该知识内容时常常出现理解困难,无所适从的感觉。运用XR信息技术,在知识层面可阐明三类主要信号受体的结构与激活机制,描述cAMP和Ca²⁺等第二信使的作用途径;在能力层面,培养学员对复杂信号通路的系统分析能力;提升空间思维与动态过程理解能力;在学员素养培养层面,训练学员形成科学探究思维,理解细胞通讯的整体性与精确性。

结合XR特性与细胞信号转导课程特点,可构建线上线下融合的教学模式,详情见细胞信号转导XR学习流程图(图1),包含以下环节:AR预习→VR沉浸探索→MR小组协作→虚拟故障排除→AI复习评估。线上即课前教员提前发布预习资料,为学员提供充分的自主学习空间与时间,确保其掌握必要的基础知识后再进入课堂。旨在提升课堂效率,为深入学习奠定基础。线下即课中可借助XR设备打造沉浸式学习环境,将抽象的知识内容进行可视化、形象化的呈现,从而促进学员对知识的准确理解。具体

来说,在课堂预习阶段,教员提前发布预习内容,学员通过手机设备AR软件扫描学习资源,触发AR功能,在真实的环境中叠加虚拟图像,比如受体蛋白的三维模型。学员也可以通过手机进行交互操作,将受体蛋白拆解为胞外域、跨膜区和胞内域,观察各结构域的特征。在该过程中,教员可设计交互式测试,比如“受体配体匹配”的交互式小游戏,即时巩固预习效果。在课堂教学阶段,教员先进行情景导入,通过VR头显播放一段以糖尿病病人或医生为视角的交流视频,直观呈现血糖和胰岛素异常及其两者关系与疾病的关系,进而引出核心问题:“胰岛素如何通过细胞表面蛋白和下游信号分子将胞外信号转化为胞内响应?”接下来,学员佩戴VR头显,以第一人称视角沉浸式化身胰岛素分子,经历从血液运输到与细胞表面受体结合的过程。进入细胞内部后,可逐步放大观察关键步骤细节,如胰岛素受体的自磷酸化、IRS蛋白的募集以及PI3K的激活等过程。除了每个学员个体的学习外,教员也可以通过MR设备,将虚拟信号分子投射至现实课堂空间。学员分组进行小组合作,例如共同识别并“捕捉”特定分子(如GLUT4转运囊泡),将其精准定位至信号通路正确节点。XR设备实时构建并展示完整的信号转导通路,各组依据任务完成的速度与准确性进行互动竞赛,有效提升专注度与参与感。在此过程中,教员可预先在虚拟通路中设置障碍,例如将关键蛋白(如Ras蛋白)替换为功能异常的突变体。学员在操作过程中发现由此引发的级联反应失效的现象。通过小组讨论分析问题根源,学员需主动运用虚拟“分子修复工具”进行纠错,恢复通路功能。这一环节强调以学员为中心的探索式学习,教师角色转为引导者,通过实际问题深化学员对信号转导机制(理性认知)及其动态过程(感性认知)的理解。在课后,学员可通过手机设备AR软件进行复习,在虚拟现实环境中自主组装信号通路,拖拽信号分子和蛋白等元件完成信号通路的构建。完成后,由软件自带的AI对学员的操作过程和结果进行评估,显示错误或提供建议,并进行信号转导通路前沿知识的拓展。最后,该系统需将学员对信号通路的完成度和准确度作为课后成绩反馈给教员端,对学员学习程度进行掌握。

XR与细胞信号转导通路教学的结合,可实现分子水平到细胞器水平的实时观察,沉浸式体验信号转导完整过程。通过教员设计引入错误节点,让

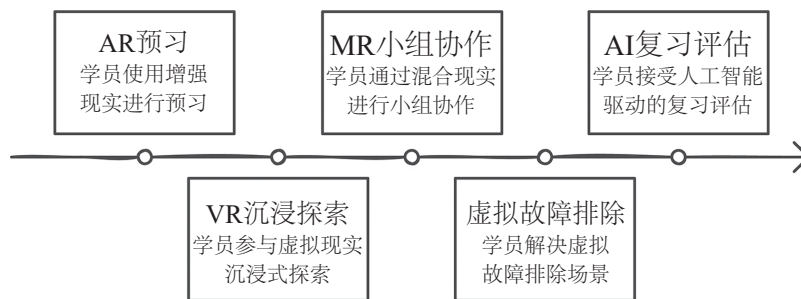


图1 XR信息技术在“细胞信号转导”理论教学中的应用流程

Fig.1 Implementation framework of XR information technology in theoretical instruction on cellular signal transduction

学员直观感受单点变异导致的通路失效,强化学员认知,并通过学员分组自主学习,可培养团队合作能力,通过比赛激发学员学习兴趣。综上所述,依托XR构建“课前自学→情景导入→自主探索→障碍设置→合作竞争→课后巩固”的递进式教学闭环,教员可通过系统实现对学习成果的多维度、全过程评估。XR系统实时采集的数据(如操作路径、停留时长、错误频次)、分组竞赛表现及课后测评成绩,共同构成全面化的教学效果评估体系。基于此数据反馈(例如特定环节的高错误率),教员能即时调整教学策略,如提供针对性辅导或优化活动设计,确保学习目标达成。此外,数据还能揭示学员的学习进度与兴趣点,为个性化教学提供依据,从而持续提升教学效能,保障教学目标高效实现。

XR在此的应用,核心在于将抽象的微观分子事件转化为直观、可交互的具身体验,有效解决了传统讲授和平面媒体在展示空间结构和动态过程时的不足。通过“做中学”,显著提升了学员对复杂信号通路机制的理解深度和空间思维能力。同时,这种虚拟体验是理解真实生物过程的有力辅助,而非替代对分子机制本身的深入学习。

3.2 XR信息技术在实训课程中的应用探索,以细胞器的观察为例

在细胞生物学教学计划的实践课程中,需掌握几种细胞器形态的观察,教学方式主要依靠讲授法、电子幻灯、信息化教学手段以及学员实验操作。该课程主要是通过光学显微镜对线粒体(蛙肾切片)、高尔基体(兔脊神经切片)和中心体(马蛔虫子宫切片)三种细胞器的形态进行观察,实验操作简单,近年来学员认为该课程比较简单枯燥,实践技能也无法得到充分锻炼,所以基于这些现状,迫切使用XR对该课程进行升级,以提高学员学习动机。运用XR,

形成细胞亚显微结构三维情境,突破了在传统实验教学中受空间和时间的诸多约束,学员可对细胞器进行充分观察和控制,从亚显微结构到具体承载细胞器功能的分子水平,学员均可进行拆解、交互和操作,加强学员对实践课程内容的认知,体现了XR的“交互式”优势。

结合细胞器的观察课程特点和XR的优势,可基于XR构建虚拟仿真实验平台,提供各种不同细胞的内部完整结构,比如学员可通过VR头显“进入”兔脊神经细胞内部,对亚显微结构高尔基体进行实时观察,通过“荧光探针”标记高尔基体囊泡,追踪囊泡运输途径,感受基于高尔基体结构的物质运输功能。观察线粒体时,学员可“进入”蛙肾细胞,通过“分子镊子”工具分离线粒体内外膜,观察线粒体嵴的结构,甚至可以通过控制器放大微观结构,进一步观察线粒体膜上的氧化呼吸链结构,感受ATP产生的动态过程。观察中心体时,学员“进入”马蛔虫子宫内,对不同分裂期的细胞进行观察,并在这些细胞中,学员也通过控制器进行细胞分裂期时间进程的“快进”、“后退”和“缓慢”,对中心体不同时期的形态特点进行细微观察,总结其在不同时期的特点,自由地对不同分裂阶段进行区分,教员可通过评估学员主动提交的细胞不同分裂周期的区分结果,判断学员对知识的掌握情况。VR头显的深度观察,提供了超越光学显微镜极限的视角,允许学员从亚显微甚至分子层面“进入”细胞内部,自由探索细胞器的精细结构和模拟其功能动态。这极大地弥补了传统切片观察的静态性和视角限制的缺陷,帮助学员建立更全面、立体的结构-功能认知。

在细胞器观察的实验操作中,也可整合XR的特点和优势。结合实验操作和AR增强现实技术,学员可佩戴AR眼镜设备操作光学显微镜对不同切片进

行观察,学员在观察到细胞亚显微结构的同时,AR眼镜可实时且智能地叠加细胞器的亚显微结构的标识,比如学员观察蛙肾细胞的线粒体时,系统标注嵴的结构并显示电子显微镜的图像对比,使学员对不同实验技术形成直观的认识。基于AR显微镜的辅助,实时叠加的智能标识和对比图像,作为学员自主观察的辅助提示和验证工具,降低了初学者的认知负荷,提高了观察效率和学习信心。另外,在教员进行集体总结时,可利用希沃白板的交互功能,每个学员将显微镜下的图像上传至共享平台,教员可利用XR投影展示每个学员的结果,学员可共同在三维图像上指出细胞器结构特征,也体现了XR“构想性”优势。

XR与细胞器观察的实践课程结合,可推动传统实验教学从静态观察转变到动态交互,详情见细胞器观察XR实验流程图(图2),包含:VR结构预习→真实显微镜操作→AR实时辅助标识→结果MR共享讨论。根据该流程图,不仅学员实验操作技术得到了锻炼,并且在XR信息技术加持下,获取了更多的信息。不光在观察类的实验课中,其他实验课程也可以与XR深度融合,提高实验操作的容错率,压缩实验周期,深化实验深度,完善评价体系,甚至可以可视化实验数据,对关键数据进行高亮标记,从而推动传统教学向智能时代的细胞生物学教学转变。

XR技术在实训课程中的应用,始终定位于真实实验的预习、补充和延伸。例如,在“细胞器的观察”实验中,标准的操作流程仍要求学员独立使用光学显微镜观察真实切片,培养其基本的显微操作技能、样本识别能力和绘图记录能力。XR的学习体验安排在课前(预习结构)或课后(深化理解),或在特定环节(如高危操作模拟、前沿技术原理演示)作为补充。“能动手,不虚拟”是指导我们设计混合式实验教学的根本原则。XR的引入是为了让有限的真实实验时间更高效、更有针对性,并拓展学员的理解维度,而非减少必要的动手操作机会。

4 教学效果评价方案设计

为科学论证“XR沉浸式融合教学模型”的教学效果,遵循教学研究规律,我们设计了一套多维度的混合方法评价方案,计划在后续教学实践中开展。该方案旨在从量化数据与质性反馈两个层面,全面评估学员在知识、能力与情感态度维度的提升。

4.1 评价维度与指标

4.1.1 知识掌握维度 重点考察学员对微观结构、动态过程等抽象核心知识的理解深度。主要指标包括:①课程期末考试中,与XR教学模块高度相关试题的得分率;②针对特定知识点(如信号通路排序、细胞器结构辨识)的前后测验对比。

4.1.2 能力提升维度 重点评估学员的空间思维能力、实验操作技能及问题解决能力。主要指标包括:①实验操作考核成绩(如显微镜操作规范性、虚拟仿真实验完成度与准确率);②基于XR系统记录的交互数据(如任务完成时长、错误尝试次数、路径优化率)。

4.1.3 情感态度维度 重点考察XR教学对学员学习动机、自信心和课堂参与度的积极影响。主要指标通过问卷调查和访谈获取,包括:①学习兴趣与投入度量表评分;②技术接受度与满意度问卷反馈;③学员访谈中收集的学员主观体验与建议。

4.2 混合评价方法与实施

4.2.1 量性研究 采用准实验研究设计,在后续课程中设置实验班(采用XR融合教学)和对照班(不采用XR融合教学),在控制无关变量后,对上述量化指标进行对比分析,采用SPSS Statistics 23软件进行统计学检验,以验证教学效果的有效性。

4.2.2 质性研究 将对实验班学员进行随机抽样访谈,并收集开放式问卷反馈,旨在深入理解XR教学影响学习效果的内在机制,并挖掘其潜在优势与改进空间。

通过上述教学评价方案,我们期望能全面、客观地评估XR技术的教学效用,并为教学模式的优化

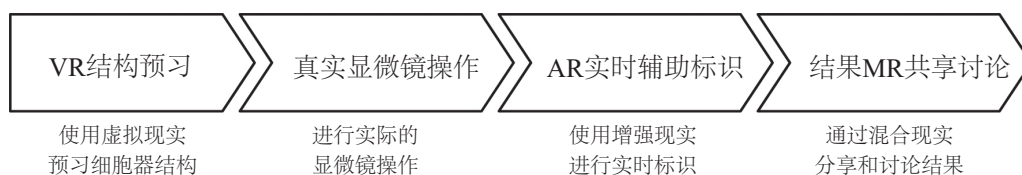


图2 XR信息技术在“细胞器观察”实践教学中的应用流程

Fig.2 Implementation framework of XR information technology in practical instruction for organelle observation

提供持续反馈。当前本研究虽无实证数据,但已为后续效果论证工作奠定了坚实的方法学基础。

5 总结与展望

信息技术爆炸发展的今天,各种硬件和软件的迭代,信息技术的进步可能为本科教学注入新鲜血液,使传统教学方式受到挑战。中共中央办公厅与国务院办公厅在《中国教育现代化2035》中强调,要依托现代信息技术赋能教育,不断丰富和创新课程形态^[28]。XR的技术优势可以为传统教育方式赋能,补充传统教育方式工具箱,其所创造的沉浸式学习环境可提供全新破解方法,显著提高学员兴趣和专注力,达到提升教学效果的目的,实现高质量人才的教育目标,是实现教育现代化的有利途径。

然而,XR信息技术融入细胞生物学教学仍面临一些挑战。①XR作为新兴技术尚处于高速发展阶段,软硬件迭代速度快,设备成本高昂,需要专门的场地进行XR设备基础建设,资金投入较大,制约了XR在教学中的大量应用。②学员在佩戴VR头显长时间进行学习时,容易导致生理性适应困难,主要表现在有小部分学员出现了晕动症,引发恶心、眩晕的症状。该局限性可能通过减少VR设备使用时长或采用分体式VR头显解决。③基于XR的教学内容开发壁垒高,教学内容备课负担重,对教员信息能力要求更高。目前大部分教员无法自主开发XR教学内容,对XR厂商依赖度高,自主性受限,后期可通过建设教员XR工作室,加强信息化培训,促进产学研转化。目前,我们正在积极进行基于XR的教学设计,以及教材和教具的开发,并展望未来如何通过“建设教员XR信息技术平台”等措施来解决这一问题。更重要的是,未来在进行XR教学实践的同时,我们将严格按照所设计的教学评价效果评价方案,开展对照教学实验,收集学员学习效果的数据,通过定量和定性分析,对XR融合教学模型的教学效果进行实证检验,以数据驱动教学模式的优化与改善。

当前的XR存在的局限性导致其绝非意在也尚无法替代经过长期验证的课堂讲授、师生深度讨论、启发式教学以及至关重要的真实动手实验操作等传统教学方式,其更合理的定位是作为现有教学方法工具箱中的一项强大的补充性工具^[29-31]。在许多教学场景下,传统方法凭借其成本效益高、操作便捷、利于直接人际互动等显著优势,依然是高效且可靠

的选择。教员需深入把握课程的核心目标、具体内容特性以及学员的实际需求,在此基础上审慎的进行教学设计决策。关键在于实现XR(例如:模拟复杂微观场景、简化抽象概念、提供安全的预操作环境、可视化长周期过程、降低试错成本)与传统教学方式(例如:理论讲授与思辨、启发式探究、真实的动手实验操作、师生面对面深度互动)的有机融合与优势互补。通过这种整合,教员能够构建出更加灵活、高效且更具吸引力的混合式学习环境,从而显著提升教学成效,更好地满足多元化、个性化的学习目标。例如,在细胞器观察的实践教学,标准的流程是学员操作真实显微镜观察切片,然后辅以课前在XR平台上进行虚拟结构预习,课后利用XR进行三维结构拆解和功能模拟以深化理解,形成以“真实操作为主,虚拟体验为辅”的互补学习闭环。

总而言之,随着软硬件不断迭代成熟,XR在医学本科教育中可提供新的机遇,为提升教学效能提供了极具潜力的新途径,是推动实现高质量人才培养和教育现代化目标的有力杠杆。但也要意识到XR在未来的本科教育创新中,是“融合”而非“代替”,要构建灵活、互补的混合式学习生态,方能最大化的发挥各自优势,在提升教学效率与吸引力的同时,满足多元、个性的学习需求,为教育现代化提供坚实的支撑。随着XR技术的更进一步的持续迭代成熟与教育实践的深入探索,这种融合模式有望迸发出更强大的生命力,引领教学方式向智能化、个性化、效率化的更高层次发展。

参考文献 (References)

- [1] 冉亚辉. 中国研究生教育基本理论论纲[J]. 研究生教育研究(RAN Y H. On the principles of the basic theory of postgraduate education in China [J]. Journal of Graduate Education), 2020, doi: 10.19834/j.cnki.yjsjy2011.2020.02.02.
- [2] 李一鸣, 吴佼, 蒋建利, 等. “培优”背景下特色研究驱动式医学实验教学新模式探析[J]. 细胞与分子免疫学杂志(LI Y M, WU J, JIANG J L, et al. Exploring a novel research-driven model for medical laboratory education within an excellence-oriented framework [J]. Chin J Cell Mol Immunol), 2025, doi: 10.13423/j.cnki.cjcmi.009899.
- [3] 孔令敏, 柯元, 杨杰, 等. 突发公共卫生事件期间线上和线下团队学习法在医学本科生细胞生物学教学中的应用[J]. 中国细胞生物学学报(KONG L M, KE Y, YANG J, et al. Application of online and in-person team-based learning methods in cell biology teaching for medical undergraduate students during the public health emergency events [J]. Chinese Journal of Cell Biology), 2024, 46(2): 283-8.

- [4] 王珂, 边惠洁. 问题导向教学法在医学本科生课外科研实践中的应用[J]. 细胞与分子免疫学杂志(WANG K, BIAN H J. The application of problem-base learning in extracurricular research practices among medial undergraduates [J]. Chin J Cell Mol Immunol), 2024, doi: 10.13423/j.cnki.cjemi.009756.
- [5] 钱美睿, 缪金林, 黄婉, 等. 细胞与分子基础实验课程“情景式”教学模式探索[J]. 生物学杂志(QIAN M R, MIAO J L, HUANG W, et al. Exploration on the teaching model of scenario-based experimental course for cellular and molecular basis [J]. Journal of Biology), 2025, doi: 10.3969/j.issn.2095-1736.2025.02.112.
- [6] MCGUIRT J T, COOKE N K, BURGERMASTER M, et al. Extended reality technologies in nutrition education and behavior: comprehensive scoping review and future directions [J]. Nutrients, 2020, 12(9): 2899.
- [7] YUAN J, HASSAN S S, WU J, et al. Extended reality for biomedicine [J]. Nat Rev Methods Primers, 2023, doi: 10.1038/s43586-023-00208-z.
- [8] MORIMOTO T, KOBAYASHI T, HIRATA H, et al. XR (extended reality: virtual reality, augmented reality, mixed reality) technology in spine medicine: status quo and quo vadis [J]. J Clin Med, 2022, 11(2): 470.
- [9] 洛图科技, VRAR星球. 2025XR行业发展白皮书 [EB/OL]. 2025. <https://www.100ec.cn/detail--6649551.html> [2025.6.18].
- [10] INCEKARA F, SMITS M, DIRVEN C, et al. Clinical feasibility of a wearable mixed-reality device in neurosurgery [J]. World Neurosurg, 2018, 118: e422-7.
- [11] SUTHERLAND J, BELEC J, SHEIKH A, et al. Applying modern virtual and augmented reality technologies to medical images and models [J]. J Digit Imaging, 2018, 32(1): 38-53.
- [12] ROMAND M, DUGAS D, GAUDET-BLAUVIGNAC C, et al. Mixed and augmented reality tools in the medical anatomy curriculum [J]. Stud Health Technol Inform, 2020, 270: 322-6.
- [13] BISHT B, HOPE A, PAUL M K. From papyrus leaves to bio-printing and virtual reality: history and innovation in anatomy [J]. Anat Cell Biol, 2019, 52(3): 226-35.
- [14] MUNZER B W, KHAN M M, SHIPMAN B, et al. Augmented reality in emergency medicine: a scoping review [J]. J Med Internet Res, 2019, 21(4): e12368.
- [15] GONZALEZ A A, LIZANA P A, PINO S, et al. Augmented reality-based learning for the comprehension of cardiac physiology in undergraduate biomedical students [J]. Adv Physiol Educ, 2020, 44(3): 314-22.
- [16] LANGLOIS J, BELLEMARE C, TOULOUSE J, et al. Spatial abilities training in anatomy education: a systematic review [J]. Anat Sci Educ, 2019, 13(1): 71-9.
- [17] 吴雪, 董琪.《高校XR沉浸式教学体验馆》(实验室设计)[J]. 出版发行研究(WU X, DONG Q. XR immersive learning laboratory for higher education [J]. Publishing Research), 2023(12): 1-7.
- [18] BURDEA G, COIFFET P. Virtual reality technology [M]. PRESENCE, 2003, 12(6): 26-7.
- [19] 褚乐阳, 陈卫东, 谭悦, 等. 重塑体验_扩展现实(XR)技术及其教育应用展望——兼论“教育与新技术融合”的走向[J]. 远程教育杂志(CHU L Y, CHEN W D, TAN Y, et al. Rebuliding the experience: extended reality (XR) technology and its education application outlook: also discuss the trend of “education and new technology integration” [J]. Journal of Distance Eduation), 2019, doi: 10.15881/j.cnki.cn33-1304/g4.2019.01.002.
- [20] 杨丹, 眭碧霞. “5G+XR”支持的实训教学变革: 模式、挑战与建议[J]. 教法与学法(YANG D, SUI B X. “5G+XR” supported practical teaching reform: modes, challenges and suggestions [J]. Vocational and Technical Education), 2021, 17(42): 43-7.
- [21] 孙伟, 吕云. 5G+XR开启智慧教育新时代[J]. 计算机教育(SUN W, LÜ Y. 5G and XR: toward a new era of smart education [J]. Computer Education), 2019, doi: 10.16512/j.cnki.js-jjy.2019.12.001.
- [22] KAPLAN A D, CRUIT J, ENDSLEY M, et al. The effects of virtual reality, augmented reality, and mixed reality as training enhancement methods: a meta-analysis [J]. Hum Factors, 2020, 63(4): 706-26.
- [23] 郭张燕, 郑国旭, 席文锦, 等. XR信息化在《医学免疫学》实践课程中的应用探索[J]. 细胞与分子免疫学杂志(GUO Z Y, ZHENG G X, XI W J, et al. Application of XR information technology in the practical course of medical immunology [J]. Chin J Cell Mol Immunol), 2025, doi: 10.13423/j.cnki.cjemi.009903.
- [24] 王同聚. 虚拟和增强现实(VR_AR)技术在教学中的应用与前景展望[J]. 数字教育(WANG T J. Application and prospect forecast of VR/AR technology in education [J]. Diftal Education), 2017, 3 (1): 1-10.
- [25] SUN P, ZHAO Y, MEN J, et al. Application of virtual and augmented reality technology in hip surgery: systematic review [J]. J Med Internet Res, 2023, 25: e37599.
- [26] SIMON-LIEDTKE J T, BARAAS R. The future of extended reality in primary and secondary education [J]. Stud Health Technol Inform, 2022, 297: 549-56.
- [27] 张斌, 杨彩霖. XR学习资源的建设与创新实践应用——以西安开放大学为例[J]. 陕西教育(高教)(ZHANG B, YANG C L. Research on the development and innovative application of XR learning resources: a case study of Xi'an open university [J]. Shaanxi Education), 2024, doi: 10.16773/j.cnki.1002-2058.2024.10.022.
- [28] 中华人民共和国教育部. 中国教育现代化2035[Z]. 人民教育出版社, 2019, 2-45.
- [29] LIU X, XIAO W, YANG Y, et al. Augmented reality technology shortens aneurysm surgery learning curve for residents [J]. Comput Assist Surg, 2024, 29(1): 2311940.
- [30] ROS M, DEBIEN B, CYTEVAL C, et al. Applying an immersive tutorial in virtual reality to learning a new technique [J]. Neurochirurgie, 2020, 66(4): 212-8.
- [31] PEEK J J, MAX S A, BAKHUIS W, et al. Virtual reality simulator versus conventional advanced life support training for cardiopulmonary resuscitation post-cardiac surgery: a randomized controlled trial [J]. J Cardiovasc Dev Dis, 2023, 10(2): 67.