·教育研究·

面向数智时代的医学教育：现代教育技术的发展路径、应用现状与未来趋势

胡逸菲　黄涔　朱丹　成军　吴宁　罗天友
重庆医科大学附属第一医院教务处，重庆　400016
通信作者：吴宁，Email：920526275@qq.com

【摘要】 本文通过介绍教育技术的发展历程，从行为主义与计算机辅助教学到建构主义与虚拟情境技术，以更好地理解当前教育技术在医学教育中所扮演的角色。通过在线学习、人工智能、学习行为分析、虚拟仿真等关键技术在医学教育领域中的应用现状，展示现代教育技术如何促进了新教学理念的实现和新学习范式的产生。文章最后展望了新兴技术环境下未来医学教育发展的趋势，并提出了教育技术应用领域新的研究方向。

【关键词】 医学教育数字化；　现代教育技术；　教学改革
【中图分类号】 R-05
基金项目：重庆市高等教育教学改革研究项目（222066、182123、202085）；重庆医科大学教学改革研究项目（JY200313、JY210201）
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20221107-01403

Medical education in the age of digital intelligence: development path, application status, and future trends of modern educational technology

Hu Yifei, Huang Cen, Zhu Dan, Cheng Jun, Wu Ning, Luo Tianyou
Academic Affairs Office, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China
Corresponding author: Wu Ning, Email: 920526275@qq.com

【**Abstract**】 This article introduces the development history of educational technology to better understand the role of current educational technology in medical education. These technologies include behaviorism and computer-assisted teaching as well as constructivism and virtual situational technique. The article also demonstrates the application status of key technologies in medical education such as online learning, artificial intelligence, learning behavior analysis, and virtual simulation. This shows how modern educational technologies promote the realization of new teaching concepts and the emergence of new learning paradigms. The article finally provides an outlook of medical education development with the emerging technologies and the directions of research in the application of educational technologies.

【**Key words**】 Digitization of medical education;　Modern educational technology;　Teaching reform
Fund program: Higher Education Teaching Reform Research Project of Chongqing (222066, 182123, 202085); Teaching Reform Research Project of Chongqing Medical University (JY200313, JY210201)
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20221107-01403

党的二十大报告首次把教育、科技、人才进行“三位一体”统筹安排、一体部署，并提出“推进教育数字化，建设全民终身学习的学习型社会、学习型大国”。《关于加快医学教育创新发展的指导意见》要求医学教育体系要深化医学人才培养模式改革，推进复合型创新拔尖人才培养。在此时代背景下，教育技术如何参与、推进医学教育改革成为值得关注的议题。

美国教育传播与技术学会将教育技术定义为：“教育技术是通过创建、使用和管理适当的技术过程与技术资源来促进学习和提升绩效的研究与合乎道德的实践。”教育技术被视为是充分运用现代信息技术，通过对教与学的过程和资源的设计、开发、利用、管理和评价，以实现教学优化的理论和

实践。

现代医学教育与现代教育技术密切关联，医学教育涉及大量形态学内容，人体系统、结构的复杂性需要借助信息技术来呈现；医学教育对教学资源有较大的需求，需要教育技术减轻医学教育运行的负担；医学是快速发展和多学科交叉的，信息技术可以帮助实现时间和空间跨度都十分宽广的医学教育。

近年来，现代教育技术以前所未有的程度渗透进医学教育中，在线教育为广大师生所接受，翻转课堂、微课教学、虚拟仿真教学等教学模式成为新常态。虚拟仿真、人工智能等对现代医学教育有重大影响的信息技术在发展上也取得新突破[1]，2022 年以人工智能研究实验室 OpenAI 研发的 ChatGPT 为代表，其强大的上下文理解及文本创造能力掀起了新一轮围绕 AI 的狂热，元宇宙、去中心化、强人工智能等原来仅存在于科幻小说中的概念在现实中变得近在咫尺，在信息技术飞速发展的环境下，一个全新的医学教育时代已到来。

1 教育技术的发展历程

教育技术包含了两条平行的发展线索：一条是物化技术——媒体技术的发展，另一条是非物化技术——学习理论的发展。接下来研究将从物化技术与非物化技术两个角度，对教育技术的发展历程进行梳理。

1.1 行为主义与计算机辅助教学（1920—1980 年）

20 世纪初，行为主义由美国心理学家约翰·华生（John Watson）率先提出，行为主义主张学习是建立刺激—反应之间联结的过程，爱德华·桑代克（Edward Thorndike）进一步指出这种联结在获得满意的结果时被强化，相反则被削弱。60 年代以来，随着计算机和有关信息加工技术的发展，计算机辅助教学系统（computer-aided Instruction，CAI）开始出现，例如伊利诺伊大学开发的 PLATO 系统、德克萨斯大学开发的 TICCIT 系统。70 年代左右，CAI 以能力清单、多项选择题等形式应用于医学教育领域。在这一阶段，CAI 主要采用提问—回答—反馈的程序教学模式，用于科目课堂知识的传递，在行为主义学习理论指导下技术的应用让学习者成为了被动的测试对象。

1.2 认知主义与媒体教育技术（1950—2000 年）

20 世纪 50 年代，社会认识到人才的培养不仅仅是知识的传递与掌握，还要提高学生对复杂问题的解决能力。认知主义认为学习比单纯的“行为主义”认为的刺激-反应联结复杂得多，把学习看作是学习者根据自身原有的认知结构，对外部刺激主动作出的、有选择的信息加工的过程。皮亚杰（Jean Piaget）、布鲁纳（Jerome S. Bruner）、加涅（Robert M. Gagn é ）等人主张认真研究知识的结构特点，将知识以学生容易接受和理解的方式呈现给学生，强调教学事件安排的意义。在认知主义的影响下，技术着力于促进信息组织、信息加工、信息呈现 3 个方面。TextVision、SemNet、Mindmanger 等能进行“信息设计”并能够帮助学习者组织知识的软件大量出现。这些软件应用概念图、语义网络、思维导图、内容概要等方式梳理并可视化知识结构。除此之外，90 年代末以后，幻灯片、投影、录像等多媒体技术的使用变得普遍，在医学教育里，生动形象的多媒体演示有助于教师对分子结构、疾病的发病机制、治疗手段等比较抽象的医学知识进行系统讲解。但以上部分技术的使用仍局限用于教学资源信息的传递，而没有创建有意义的整体的学习过程。

1.3 建构主义与虚拟情境技术（1970 年—至今）

20 世纪 70 年代，建构主义在认知主义的基础上进一步发展，认为学习是学习者在自身经验基础上的主观建构过程，斯腾伯格（Robert J. Sternberg）、卡茨（D.Katz）、维果斯基（Lev Vygotsky）等人的研究强调了学习的主观性、社会性和情景性，以及学习者所处“文化历史背景”“活动”“社会交往”在人的高级心理机能发展中的作用。90 年代之后，网络技术、社交媒体、虚拟现实、计算机支持的协作学习、智慧学习环境等技术的发展，使建构主义学习理论所要求的自主探索式的、社会化的、体验式的学习环境成为可能。学生根据自己的需要，利用网络找到合适的资源，完成知识体系的构建。在线上学习平台上，学习者群体的思维和智慧被整个群体所共享，同时线下课堂有了更多机会开展协作学习。虚拟仿真让学生在类似于实际情境中进行针对性的学习，让他们日后在真实临床环境下，能够通过联想思维，调动自己原有认知结构中的有关经验去解决问题。

2 医学高等教育的数字化改革

20 世纪末开始，援引了建构主义、社会建构主义和情境学习等促进学习者主动学习的教学方式并成为主流。学生被视为教育的中心，学生的自主

学习能力、团队协作能力、分析和利用信息能力、创新思维能力被视为教育培养的高阶目标。在这场教育理念更新的变革当中，现代教育技术提供了变革发生的必要条件，它突破了原有教学环境里对时间、空间、教学资料的限制，提高了教师教学的“生产力”，改变了教与学的“关系”。

美国高等教育信息化专业组织每年发布的《地平线报告：教与学版》，因其具有独有的超前性、科学性和准确性，是了解全球技术当前赋能教育情况的重要报告。在2020—2022年的《地平线报告：教与学版》报告中，多次将混合/远程学习模式、开放教育资源、学习分析和大数据、自适应学习技术、人工智能教育技术、扩展现实（AR/VR/MR/Haptic技术）作为在高等教育里产生重大影响的关键技术列出。接下来本研究将介绍相关技术在医学领域的应用现状，展现现代教育技术如何促进新教育理念的实现和新学习范式的产生。

2.1　在线学习与“教与学关系”的转变

在线学习克服了传统教学在时间、空间、授课方式上的束缚，极大地释放了课堂的可能性，促使了医学教育中心由教师转向学生。以中国大学慕课MOOC、Coursera、Edx为代表的在线课程平台的出现，让教师得以再造课堂流程，基础理论知识学生通过网络不受时间、地点限制地展开自主学习，线下课堂则以协作研讨和解决学生学习问题为主。传统大课演讲式的教学模式，丰富为线上教学、移动教学、翻转课堂教学、微课教学、计算机支持的协作教学、虚拟仿真教学、智慧教学等多种方式。

教学模式的变化改善了传统课堂上照本宣科的状况，给予医学生更多分析讨论临床病例，培养临床思维的机会；同时，学生团队合作意识增强[2-3]，教师可以为学生提供更多的个人指导，被鼓励地去自主学习与积极参与课堂研讨，以此促进核心知识的内化、降低困难概念理解的难度[4]。许多Meta分析及实例研究表明，混合式教学组在理论成绩、技能操作、自学能力等方面均优于传统教学的对照组[5-7]。

但混合式教学也有不足的地方，如学生学习过程缺少教师监管，学生容易产生惰性心理[8]，对学生学习能力要求过高容易造成两极分化[9]，学生学习时间延长，学习负担加重，线上线下学习时间分配不合理等[10]。

2.2　自适应性技术与教师课堂控制力的增强

大数据、数据挖掘、学习行为分析、云服务等人工智能相关技术衍生出的自适应式技术，大大增强了教师对学生学习情况的控制力，教师得以及时灵活地调整课堂教学策略。

传统的医学课堂上，无论个体是否掌握，教师都将无差别地进行知识点教授。而自适应性学习技术则可以实现将个体学习时间集中在其薄弱的技能点上。自适应性学习适用于在线学习或混合式学习环境，学习系统通过向学生发放问题、活动或通过眼动仪、生物传感器、语音识别等跟踪设备检测采集学习者行为大数据，算法根据学习者的测评结果和行为分析，判断学生技能掌握情况，发现当前问题，进而精准化地提供学习内容和学习支持策略。

自适应性学习平台的行业领导者——由Wiley开发的Knewton Alta在美国亚利桑那州立大学2 000多名学生中使用两个学期后，研究人员发现Knewton Alta系统的应用明显缩短了课程时间，提高了学生的课程通过率，降低了退学率，学生在课堂上的注意力更集中，学生的无聊和挫折感降低[11]。在医学领域的应用，适应性学习相关的正式研究逐年增多，当前专门为医学教育设计的自适应性学习系统有：由丹麦公司开发的Area9 Lyceum、由爱思唯尔（Elsevier）开发的Osmosis系统等。

然而，因自适应性学习等学习行为分析技术而引发的新的顾虑，例如数据安全、学生个人隐私、数据所有权、算法造成的歧视与不平等问题同样引起了社会的广泛关注[12]。未来个人数据安全相关立法还需进一步完善以适应技术发展。

2.3　虚拟现实技术对教学资料的极大丰富

虚拟现实技术创造出现实世界里学生难以触及的学习场景，增加了学习机会，降低了学生进行探究性学习的时间成本、空间成本、物料成本、人力成本、犯错成本。虚拟现实技术是指将仿真与多媒体等新型计算机技术相结合，创造出一种逼真的视觉、听觉、触觉或集多种感官于一体的集成虚拟环境技术。在医学教育领域的虚拟仿真实验教学中，学生通过提出假设，通过虚拟实验和观察来检验假设。研究结果表明，当虚拟实验室与动手实验室结合用于探究性学习时，可以支持学习者并帮助他们获得对科学更深入的概念理解[13]。数字化人体解剖模型相比图片、视频或模型，能够更好地帮助学生理解人体组织器官的属性及器官内外的空间关系。例如，在神经外科教学中，神经定位一直是重难点，现在利用头骨和血管的图像重建手术样本模型，则

可以解决学生难以将神经解剖学与颅骨的基本图像数据结合形成三维空间的问题。Visible Body 公司的产品 Human Anatomy Atlas 就是虚拟现实如何增强解剖学学习的一个例子。

临床思维训练及测评系统通过构建仿真临床诊疗过程的训练系统，让学生通过诊断虚拟病人，习得临床诊疗思维，通过过程中对干扰信息的判断与筛选一并培养了学生批判性思维等更高级的认知能力[14]。

此外，虚拟现实临床技能训练系统可以让学生从错误和操作环境中的一些潜在风险中学习。例如，首尔一家医院的研究团队就开发了一个应用增强现实技术的脊柱手术平台[15]，用于医生和学生的手术培训。当前还有许多虚拟模拟的临床技能训练系统，如 EndoVR 内镜电脑模拟教学系统、LapVR 腹腔镜电脑模拟教学系统、CathLabVR 导管介入治疗电脑模拟教学系统等。

2.4 智能化学术搜索引擎辅助下的学术研究

随着计算机和信息技术的发展，免费的学术搜索引擎如 PubMed、Medline、中国生物医学文献数据库、Google Scholar、知网等虽然为广大科研工作者搜索学术文献提供了方便，但是基于数据库技术构建的这些学术搜索引擎无法“理解”文献的内容。AI 驱动的学术搜索引擎，使得“智能化”学术搜索和评价文献价值与学者学术影响力成为可能。基于深度学习的检索系统能同时理解查询者的需求和文献的意思，辅助科研学者高效地检索学术信息。这一阶段主要是以知识图谱、可视化技术、智能推荐与智能指派、技术趋势分析等搜索技术为代表。随着知识经济时代的到来，不同数据源更加重视知识语义的挖掘，在文献计量结果呈现方面呈现出非常明显的可视化和智能化特征。如利用可视化技术显示某领域论文发展数量年度分布、关键词共现网络等。

信息素养（information literacy）概念最初由美国信息产业协会主席保罗-泽考斯提出，意指能够判断何时需要信息并且懂得如何去获取、评价和有效利用所需的信息。医学生信息素养的培养尤为关键，在医学专业课程教学过程中有意识、有目的、有计划地培养医学生的信息素养、自我学习能力与研究能力，是以后学生开展课题研究、论文写作的基础。为此，重庆医科大学等医学院校专门为临床学生开设了《医学文献获取与研究利用》《文献检索与临床信息系统》《智慧医学语言基础》等课程。

3 未来医学教育数字化的发展趋势

3.1 更逼真的沉浸式学习场景：元宇宙

元宇宙作为虚拟现实的高阶发展产物，与现有虚拟现实技术相比，可以提供更具协作性、个性化、数据丰富和真实性的学习体验，更好地解决学生因时间、空间受到局限的教学问题。元宇宙集 VR/AR/MR、5G、云计算、人工智能、数字孪生等新兴信息技术于一体，能够为学习者提供常态化、高沉浸感的虚实交流空间，而学习者则将以半数字人或数字人的方式进入到未来虚实共生世界进行学习。

在医学教育方面，元宇宙解决了传统基于单机软件学习“欠缺互动”的问题，来自世界各地的学生在共享虚拟空间中协作学习、分享知识、讨论病例和合作研究项目；能够优化当前三维可视化图像与虚拟模拟手术场景，让医学生以更互动、更生动的方式探索和学习解剖学、练习手术；能够提供包括患者记录和研究成果在内的大量医学数据，使学生能够及时了解领域内的最新发展。

近日，总部位于迪拜的 Thumbay Group 计划推出世界上第一家元宇宙医院，英国初创公司 DeHealth 创建了一个基于 AR 和 VR 的去中心化元宇宙，使得医生和患者能够以 3D 方式进行交互，公司计划通过出售医疗数据来赚取虚拟资产。北美 Aris MD 和 Echopixel 等公司则通过提供患者解剖结构的 3D 可视化、创建患者的“数字双胞胎”等方式，允许外科医生在虚拟空间中执行手术。这些充满想象力的问题解决方案，连通了现实世界与虚拟世界，让教学、医疗的空间从一拓宽到无限。

3.2 更精准的个性化学习策略：脑机接口

脑机接口相比眼动仪、运动传感器、语音识别等技术，能够提供更高精度的脑部运转数据，成为机器与人类之间更低损耗的信息传递通路。近年来，大脑成像技术的发展为探究教育与学习背后的神经生理机制奠定了基础，脑-机接口技术通过采集学习者的神经生理活动，结合机器学习与深度学习等方法了解到的典型学习情境下学习者的神经生理特征，对学习者当前情绪状态、专注程度、认知负荷等学习状态进行解码，帮助教育者及时了解学习者学习情况并调整接下来的教学策略。未来脑机接口技术将对学习状态识别、学习者个体特质测评和学习障碍干预 3 个场景产生重要影响。当系统检测到学生处于较低的注意水平时，系统可通过消息提醒敦促学习者集中注意力，或停止播放学习材

料，向学生推送测试题。当检测到学生持续处于高认知负荷水平时，学习平台将可能调整下阶段的任务难度或提供休息时间等，保持学生的学习效率[16]。目前还有大量针对学习风格的研究，研究者将学生划分为不同类型，再根据学习者个体特质，从海量的学习资料中筛选内容，制定针对性的学习计划[17]。利用脑-机接口技术开展认知能力提升训练，研究者将可能针对性地解决由于认知能力受损引发的学习障碍问题，帮助学习者实现学业表现的提升[16-18]。

美国初创公司 BrainCo 一直致力于跟踪学生学习注意力设备的研发，他们开发的无线 EEG 注意力头环，能够准确、快速地判断大脑的运转状态，其产品已在部分中国学校里展开应用实验。

3.3　更高效的学术研究：人工智能研究助理

2022 年 Open AI 开发的 ChatGPT 将 GPT-3 技术带入广泛的公众视野，未来自然语言（natural language）或将代替许多其他操作界面成为新的人机交互的用户界面（user interface）。GPT-3 生成型预训练变换模型（generative pre-trained transformer 3），是 2020 年发布的自回归语言模型，使用神经网络等深度学习技术来生成类似人类的文本。除了为人所熟知的文本生成、问题回答之外，GPT-3 还擅长文本总结、文本情感分析、文本分类、文本补全等工作。

在学术研究领域，GPT-3 及其他自然语言处理技术（natural language processing，NLP）能够显著提高研究者的研究效率。例如英国 Scholarcy 公司开发的学术研究辅助产品能够生成简洁易懂的学术论文和研究文件的摘要，使用户更容易理解文献的关键发现与见解。由 Ought 研究实验室开发的 Elicit 使用 GPT-3 等 NLP 技术和机器学习来帮助研究者寻找值得阅读的论文。目前，Elicit 主要用于文献综述，用户提出问题，Elicit 将以易于使用的表格显示相关论文关于该问题的信息提取（图 1）。类似可以快速形成文献关键信息矩阵的工具还有 Lateral、SciSpace Copilot 等。

但与此同时，GPT-3 强大的文本创造能力引发了学术界对于学术诚信等问题的强烈担心，人工智能生成的写作可能会生成看似原创的论文，从而使学生更容易在作业和考试中作弊。同时，学术抄袭将变得更加难以觉察。对于 AI 学术助手使用的推广与限制未来值得进一步讨论。

3.4　更真实的物理体验：3D 生物打印

从世界上第一台商用 3D 打印机的诞生到现在已经过了 30 年，早期以塑料为“墨水”的 3D 打印可以创建人体解剖学上准确的模型，而现在 3D 生物打印技术能够以生物材料作为“墨水”。以细胞、营养

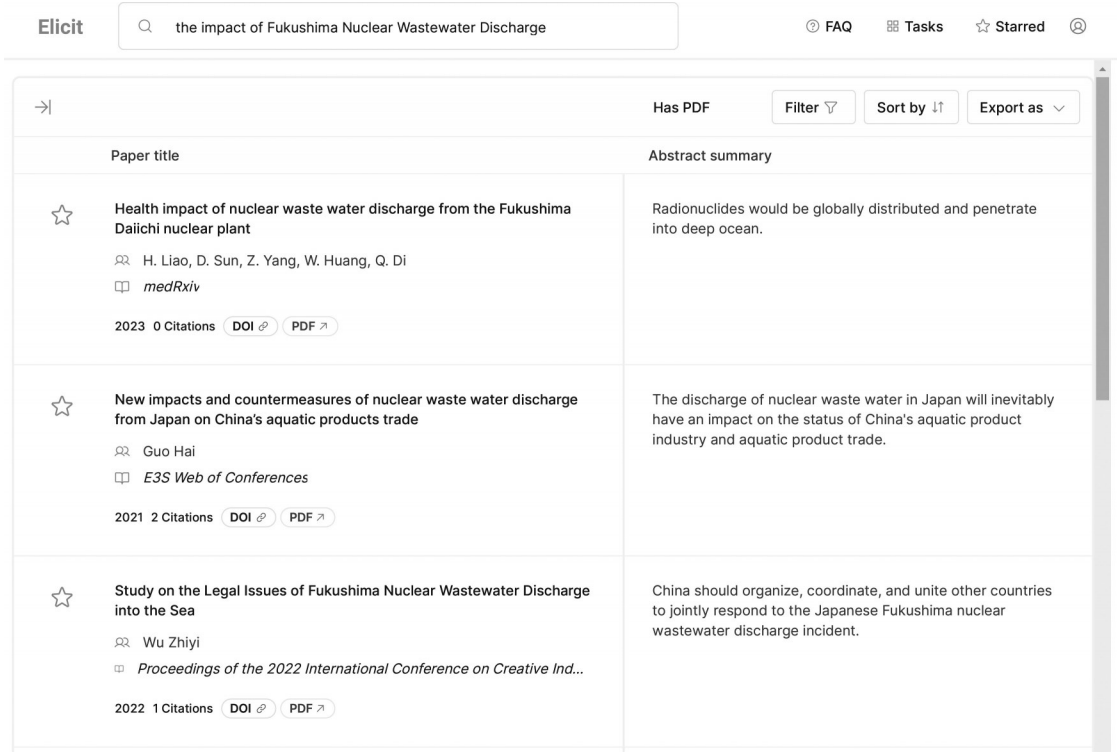


图 1　Elicit 生成的基于用户问题的文献相关信息提取

素等为材料用于3D打印生物医学部件，最大限度地模仿自然组织特征。最终，研究人员希望开发出3D打印的替代器官，但这仍处于开发阶段，在这成为现实之前还需要进行更多的研究。

4 讨论

毫无疑问，未来现代教育技术将继续重塑医学教育。第一，教与学的关系将进一步变化，随着在线教育范围和层次扩大和加深，从理论知识延伸到技能操作、临床实践，从主单向输出的网课平台发展为高互动、密交流的学习型社区，学生对学校的依赖程度将降低，在校教师将把更多的注意力放在满足学生的发展性需求上；第二，重视各种仿真技术对招生规模大、办学体量大的医科类院校而言意义重大，技术将缓解当前棘手的教学资源紧张的问题，学生将拥有更多接触复杂真实临床环境的机会；第三，未来与AI共生将成为一种生活方式，如何合理应用AI技术辅助临床工作、开展学术研究成为新课题，例如：如何判断AI辅助阅片结果的可靠性，如何鉴别AI学术助手返回结果的可靠性等。

教育技术的应用存在机会的同时也有潜在担忧，例如，在教育中使用人工智能和算法可能会引发歧视和偏见。同时，由于数字系统对于学生的个人数据的收集，网络安全与数据隐私保护问题还需引起更多的重视。此外，由于并非所有学生都可以平等地获得必要的技术和资源，存在关于可访问性和教育公平性的担忧。当数字世界变得更沉浸、更有吸引力之后，需注意数字成瘾问题以确保学生不会因过度使用技术而受到伤害。为了预防科技应用可能带来的问题，教育部门、高等院校需制定指导方针和最佳实践方案，例如如何在课堂上以合乎道德的方式使用技术，如何投资新的基础设施以改善数字公平，并为教师及学生提供有关技术使用的培训等。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 胡逸菲：提出研究题目、论文构思、项目实施、文章撰写；黄涔、朱丹、成军、罗天友：论文指导；吴宁：项目负责

参考文献

[1] Jiang H, Vimalesvaran S, Wang JK, et al. Virtual reality in medical students' education: scoping review [J]. JMIR Med Educ, 2022, 8(1): e34860. DOI: 10.2196/34860.

[2] 闫宝龙，梁韶晖.《医学寄生虫学》线上线下混合式课程建设及应用[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志，2021，39(3)：376-379. DOI: 10.12140/j.issn.1000-7423.2021.03.013.

[3] 陈明，牛浩. 基于学习性投入视角的中医药课程混合学习学业评价策略[J]. 时珍国医国药，2020，31(12)：3024-3026. DOI: 10.3969 /j.issn.1008-0805.2020.12.060.

[4] 孟建宇，李蘅，陶羽，等. 微生物学混合式教学的探索与实践[J]. 微生物学杂志，2021，41(5)：121-128 . DOI: 10.3969/j.issn.1005-7021.2021.05.015.

[5] 邹文晨，何宇，韩小钗，等. 物理治疗翻转课堂教学应用效果的系统综述[J]. 中国康复理论与实践，2022，28(4)：490-496. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2022.04.018.

[6] 吴莎，施珊珊. 基于微视频的翻转课堂在医学微生物学实验教学中的探索[J]. 微生物学杂志，2021，41(6)：123-128 . DOI: 10.3969/j.issn.1005-7021.2021.06.017.

[7] 彭宇，沙丽艳，董建俐，等. 基于SPOC的混合式教学在护理专业教学中应用效果的系统评价[J]. 中华护理教育，2021，18(5)：446-451. DOI: 10.3761/j.issn.1672-9234.2021.05.014.

[8] 曾美琪，熊娟，左敏，等. 口腔组织病理学翻转课堂教学的初步探索与研究[J]. 中国组织化学与细胞化学杂志，2021，30(4)：396-400. DOI: 10.16705/j.cnki.1004-1850.2021.04.016.

[9] 刘佳梅，薛辉，刘颖，等. 免疫系统形态与功能有机衔接的在线教学方式探讨与实践[J]. 中国免疫学杂志，2020，36(19)：2316-2319. DOI: 10.3969/j.issn.1000-484X.2020.19.004.

[10] 高典，朱春潮，石林波，等. 基于超星学习通的翻转课堂教学设计与实践：以人体寄生虫学课程为例[J]. 生物学杂志，2021，38(2)：116-119. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1736.2021.02.116.

[11] Jones AM, Bomash I. Validating mastery learning: assessing the impact of adaptive learning objective mastery in knewton alta [M/OL] //Lecture Notes in Computer Science. Springer Science, Business Media, 2018 [2022-06-10]. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-93846-2_81.

[12] Pardo A, Siemens G. Ethical and privacy principles for learning analytics [J]. British J Educ Techn, 2014, 45(3): 438-450. DOI: 10.1111/bjet.12152.

[13] 申培，倪静，武涵，等. 探索以“霍乱弧菌检测虚拟仿真实验”为载体的混合式实验教学模式[J]. 微生物学通报，2022，49(4)：1320-1325. DOI: 10.13344/j.microbiol.china.210741.

[14] Chen Y, Wang C, Liu L, et al. Exploring the cultivation mode of critical thinking in clinical-thinking training of diagnostics [C]. 2022 8th international conference on education and training technologies. DOI: 10.1145/3535756.3535776.

[15] Seoul National University Bundang Hospital, Development of AR technology-based spine surgery platform [EB/OL]. (2021-01-11) [2022-10-11]. https://www.koreabiomed.com/news/articleView.html?idxno=10133.

[16] Yang SM, Chen CM, Yu CM. Assessing the attention levels of students by using a novel attention aware system based on brainwave signals [J]. British J Educ Techn, 2015, 48(2): 348-369. DOI: 10.1111/bjet.12359.

[17] Katsaris I, Vidakis N. Adaptive e-learning systems through learning styles: a review of the literature [J]. Adv Mobile Learning Educat Res, 2021, 1(2): 124-145. DOI: 10.25082/amler.2021.02.007.

[18] El Sabagh Hassan A. Adaptive e-learning environment based on learning styles and its impact on development students' engagement [J]. Int J Educ Technol High Educ, 2021, 18(1): 53. DOI: 10.1186/s41239-021-00289-4.

（收稿日期：2022-11-07）

（本文编辑：唐宗顺）