

DOI: 10.61189/232629rxugrx

· 医学教育 ·



# 元宇宙医学赋能呼吸专科教学创新:从课堂教学到沉浸式临床培训

余 情<sup>1</sup>, 张 雯<sup>1</sup>, 白春学<sup>2,3,4\*</sup>

1. 复旦大学附属中山医院教育处, 上海 200032
2. 复旦大学附属中山医院呼吸危重医学科, 上海 200032
3. 上海呼吸物联网医学工程技术研究中心, 上海 200032
4. 上海市呼吸病研究所, 上海 200032

**[摘要]** 随着扩展现实、人工智能、数字人、虚拟患者、数字孪生及医疗物联网等技术快速发展,医学教育正由以课堂讲授和机会性床旁学习为主的传统模式,逐步转向以情境化、交互化、连续化和胜任力导向为特征的新模式。元宇宙医学并非单一设备或单一软件,而是以虚实融合、实时互联、沉浸交互和数据驱动为核心特征的医学应用生态。呼吸专科教学兼具知识体系复杂、动态监测要求高、程序性技能密集和团队协作依赖强等特点,因此成为元宇宙医学较具应用潜力的专科领域。现有研究表明,XR/VR/AR、虚拟患者、仿真教育及大语言模型辅助教学有助于改善知识掌握、操作技能、学习投入和病例推理能力,但其长期迁移效应、真实临床结局和成本效益证据仍需进一步积累。在呼吸专科中,数字人教师、虚拟病例、虚拟病房、支气管镜与EBUS仿真训练、呼吸衰竭识别及机械通气沉浸式教学,是当前最具现实意义的重点场景。白春学教授团队提出的元宇宙医学、医学GPT与BAIMGPT等概念,为我国呼吸教学智能化升级提供了本土化理论支点和实践路径。本文围绕元宇宙医学在呼吸专科教学中的理论基础、关键应用场景、教学价值、现实挑战及实施路径展开综述,以期对呼吸医学教学改革和人才培养体系优化提供参考。

**[关键词]** 元宇宙医学;呼吸教学;数字人教师;虚拟病例;虚拟病房;沉浸式临床训练;BAIMGPT

**[中图分类号]** R 192 **[文献标志码]** A

## Metaverse medicine and innovation in respiratory education: from the classroom to immersive clinical training

Yu Qing<sup>1</sup>, Zhang Wen<sup>1</sup>, Bai Chunxue<sup>2,3,4\*</sup>

1. Department of Education, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China
2. Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China
3. Shanghai Engineering Research Center of Internet of Things for Respiratory Medicine, Shanghai 200032, China
4. Shanghai Institute of Respiratory Diseases, Shanghai 200032, China

**[Abstract]** Medical education is moving beyond a model dominated by classroom teaching and opportunistic bedside exposure toward one characterized by contextualization, interactivity, continuity, and competency-based learning, driven by the rapid development of extended reality, artificial intelligence, digital humans, virtual patients, digital twins, and the Internet of Medical Things. Metaverse medicine should not be understood as a single device or software platform; rather, it represents an integrated educational and clinical ecosystem built on immersive interaction, virtual-real fusion, real-time connectivity, and data-driven learning. Respiratory education is particularly well suited to this transformation because it involves complex knowledge structures, dynamic monitoring, procedure-intensive training, and strong reliance on teamwork and workflow coordination. Current evidence suggests that XR/VR/AR, virtual patients, simulation-based education, and large language model-assisted teaching can improve knowledge acquisition, procedural performance, learner engagement, and clinical reasoning, although stronger evidence is still needed regarding long-term transfer, real-world clinical outcomes, and cost-effectiveness. In respiratory education, digital human teachers,

**[收稿日期]** 2026-04-15

**[接受日期]** 2026-05-26

**[基金项目]** 上海市卫生健康委员会 2026 年卫生健康行业发展课题(定向类)(2026HP30),上海申康医院发展中心管理研究项目(2025SKMR-21),高等教育科学研究规划课题(24CX0201),复旦大学附属中山医院管理科学基金(2024ZSGL14). Supported by Shanghai Municipal Health Commission Health Industry Development Project (Directed Category) (2026HP30), Shanghai Shenkang Hospital Development Center Management Research Project (2025SKMR-21), Higher Education Science Research Planning Project (24CX0201), Management Science Fund of Zhongshan Hospital, Fudan University (2024ZSGL14).

**[作者简介]** 余 情,博士,主任医师;E-mail: yu.qing@zs-hospital.sh.cn

\*通信作者(Corresponding author). 白春学,博士,主任医师、教授;E-mail: cxbai@fudan.edu.cn

virtual cases, virtual wards, bronchoscopy and EBUS simulation, immersive training for respiratory failure recognition, and mechanical ventilation education appear to be the most practice-relevant and immediately actionable scenarios. In parallel, concepts proposed by Professor Chunxue Bai's team—including metaverse medicine, medical GPT, and BAIMGPT—provide an important localized theoretical foundation and implementation pathway for the intelligent upgrading of respiratory education in China. This review summarizes the theoretical basis, major application scenarios, educational value, practical challenges, and implementation strategies of metaverse medicine in respiratory education, with the aim of informing future educational reform and talent development in respiratory medicine.

**[Key Words]** metaverse medicine; respiratory education; digital human teacher; virtual case; virtual ward; immersive clinical training; BAIMGPT

现代医学教育的核心目标,已由单纯知识传授逐步转向以岗位胜任力为导向的综合能力培养<sup>[1-2]</sup>。对呼吸专科而言,这一转变尤为迫切<sup>[1,3-4]</sup>。呼吸疾病诊疗不仅涉及解剖、影像、肺功能、血气分析、感染与炎症评估等复杂知识体系,还高度依赖支气管镜、支气管内超声(endobronchial ultrasound,EBUS)、氧疗、无创通气、机械通气和危重症升级处理等程序性技能与情境决策能力<sup>[3-9]</sup>。传统教学虽仍是医学教育的重要基础,但普遍存在病例机会不均、床旁教学随机性强、程序训练风险高、教学标准化不足和形成性评价薄弱等问题<sup>[1-3,10]</sup>。

与此同时,数字技术快速发展正在深刻重塑医学教育生态<sup>[10-16]</sup>。扩展现实(extended reality,XR)技术可将抽象知识转化为可视、可交互的空间对象<sup>[10-14]</sup>。虚拟患者和虚拟病例可将静态病例讨论转化为动态推理训练<sup>[17-18]</sup>。人工智能(artificial intelligence,AI)与大语言模型可在内容组织、即时反馈和个体化辅导中发挥作用<sup>[16,18-20]</sup>。医疗物联网(internet of medical things,IoMT)和数字孪生则为真实世界监测信息、院内外连续场景及过程数据采集提供技术基础<sup>[20]</sup>。在此背景下,元宇宙医学逐渐由概念走向应用,并成为医学教育创新的重要方向之一<sup>[11-14,21-22]</sup>。

白春学教授团队较早提出元宇宙医学、医学新质生产力和医学GPT等相关概念,强调未来医学活

动将由“数字化辅助”进一步走向“虚实融合、智能协同、持续连接”的新形态<sup>[21-25]</sup>。这一判断与呼吸专科教学的现实需求高度契合<sup>[3-4,21-25]</sup>。呼吸教学对象往往具有明显的空间属性、动态属性和协作属性,如气道导航、病情演变、通气参数调节、病房升级处置及出院后连续管理等,因此更需要以场景为中心、以能力为导向的教学体系<sup>[3-4,9-10,26]</sup>。因此,系统梳理元宇宙医学在呼吸教学中的应用价值、证据基础与建设路径,具有较强的理论意义和现实意义<sup>[10-16,21-25]</sup>。

## 1 元宇宙医学与呼吸教学创新

元宇宙医学首先是一种新的医学场景组织方式,而非单纯的“虚拟现实(virtual reality,VR)教学”或“数字课程展示”<sup>[11,13,21-22]</sup>。其核心在于借助XR、数字人、虚拟患者、AI、数字孪生与实时互联数据环境,将教师、学习者、患者、病例信息、设备数据和评价反馈整合到同一可交互、可追踪、可复用的数字空间中<sup>[11-14,21-24]</sup>。与传统数字教学相比,元宇宙医学更强调“情境中的学习”和“交互中的能力形成”<sup>[1,10,13]</sup>。其并非只是把知识搬到屏幕上,而是把知识、决策、行为与反馈放入同一运行环境中<sup>[10,13]</sup>。呼吸专科教学与元宇宙医学具有较高适配性(表1)<sup>[10,12]</sup>。

表1 呼吸专科元宇宙医学教学适配性

| 教学适配性维度                               | 具体内容                                                                                            |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 空间解剖与结构可视化适配性高 <sup>[3,5-7]</sup>     | 呼吸系统大量教学内容具有空间解剖特征,如肺段结构、支气管树分支、病灶定位、淋巴结站点识别及镜下路径导航等,适合以三维可视化和沉浸式方式呈现。                          |
| 动态病情演变与时序逻辑展示需求突出 <sup>[4,8-10]</sup> | 呼吸疾病管理高度依赖动态信息,如症状演变、血气变化、生命体征波动、机械通气参数和波形联动等,传统静态授课难以完整展示其时序逻辑。元宇宙场景更有利于呈现“数据—病理生理—临床处置”的连续关系。 |
| 多场景教学整合能力强 <sup>[4,20,26]</sup>       | 呼吸医学实践广泛涉及门诊、病房、内镜中心、ICU、康复与家庭管理等多场景切换,这使其天然适合构建跨场景、跨角色和跨阶段的教学体系。                               |

近年国际研究<sup>[10-15]</sup>为这一趋势提供了初步而重要的证据基础。很多综述<sup>[10-15]</sup>认为, XR/VR/增强现实(augmented reality, AR)在医学教育中总体可改善学习者的知识、技能、投入度和满意度。但研究间仍存在明显异质性, 长期迁移效果和真实患者终点证据尚不足。因此, 元宇宙医学在教育中的价值, 不宜被理解为对传统教学的替代, 而更应被视为对教学过程的强化、扩展与标准化<sup>[10, 14-15]</sup>。对呼吸专科而言, 其意义更在于支持由“知识中心”向“能力中心”转变, 即让学生在更接近真实临床的情境中理解疾病、识别风险、完成操作并接受反馈<sup>[1-4]</sup>。

## 2 数字人教师与课堂教学

数字人教师是元宇宙医学在教学端较易落地的表现形式之一<sup>[13, 21-22]</sup>。其本质不是对教师角色的替代, 而是应用虚拟形象、语音交互、知识图谱和场景展示能力, 承担标准化讲授、重复性演示、基础答疑和学习导航等任务(图1)<sup>[10, 13, 16]</sup>。在呼吸专科教学中, 数字人教师尤其适合用于肺部解剖、气道分支、肺功能原理、呼吸生理、机械通气基础和典型影像判读等高频且结构化程度较高的内容<sup>[9-10, 27]</sup>。相较于传统PPT授课, 其优势在于可视化更强、内容复用性更高、节奏更稳定, 也更便于嵌入互动式提问和情境化演示<sup>[10, 13]</sup>。

白春学教授团队提出的医学GPT与BAIMGPT, 为数字人教师从“内容呈现工具”进一步升级为“专科教学代理”提供了方向<sup>[23-25]</sup>。BAIMGPT的关键价

值, 不在于泛化地回答所有问题, 而在于依托专科知识约束、场景化提示和结构化输出, 为呼吸教学提供更有针对性的辅助<sup>[24-25]</sup>。在实际教学中, 其既可扮演“线上呼吸导师”, 也可充当“课堂助教”, “病例讨论提示者”或“课后复盘助手”<sup>[24-25]</sup>。例如, 在学习肺炎、呼吸衰竭或肺结节评估时, BAIMGPT可帮助学生梳理病史采集要点, 提示鉴别诊断路径, 生成结构化总结, 并指出思维漏洞<sup>[24-25]</sup>。

近年关于AI和大语言模型在医学教育中应用的研究总体持审慎乐观态度<sup>[16-20]</sup>。一方面, AI可提升个体化学习、即时反馈和教学资源可及性, 尤其适合高频训练和课后辅导<sup>[16, 18]</sup>。另一方面, 模型幻觉、知识时效性不足、推理透明性有限和不当依赖等问题, 仍是其进入正规教学的重要障碍<sup>[16, 18, 28-29]</sup>。因此, 在呼吸教学中, 数字人教师和BAIMGPT应定位为“增强式教学工具”, 而非教师判断的替代者<sup>[16, 18, 24]</sup>。

从课程实施看, 数字人教师与BAIMGPT的价值, 不仅体现在课中讲授, 更体现在课前、课中、课后的连续教学组织。课前可用于知识预热、重点提示和预习测验<sup>[24-25]</sup>。课中可承担情境演示和即时答疑<sup>[16, 24]</sup>。课后则可支持错题归纳、病例延伸和形成性反馈<sup>[16, 24-25]</sup>。这种“教师主导—数字人协同—AI助教辅助”的模式, 有助于改善呼吸教学长期存在的知识碎片化问题<sup>[1, 24-25]</sup>。其最终目标, 不是简单增加技术参与度, 而是提升课堂教学的一致性、连续性和个性化水平<sup>[1, 16, 24-25]</sup>。



图1 数字人教授在医学元宇宙教学中应用

### 3 虚拟病例

病例教学是医学教育中连接知识和临床实践的关键环节<sup>[1-2]</sup>。但传统病例讨论常偏重结果呈现,推理过程训练相对不足<sup>[1-2]</sup>。虚拟病例通过分阶段释放信息、引入多路径决策节点、模拟病情时间演化和设置反馈后果,可将病例教学由“静态讲解”转化为“动态推理训练”<sup>[17-18]</sup>。对呼吸专科而言,这一转变尤为重要<sup>[3-4,9]</sup>。呼吸疾病诊疗往往依赖多模态数据的连续整合,如症状变化、生命体征、影像随访、血气结果、呼吸支持反应及并发症演变等<sup>[3-4,9]</sup>。

呼吸专科适合开发为虚拟病例的场景十分丰富,包括肺结节与早期肺癌评估、社区获得性肺炎与重症肺炎识别、慢性阻塞性肺疾病急性加重、哮喘急性加重、不明原因呼吸衰竭、免疫治疗相关肺炎、间质性肺病急性加重及肺栓塞等<sup>[3-4,9]</sup>。这些病例的共同特点是:不仅要求学习者识别疾病本身,还要求其根据不完整且不断变化的信息作出连续判断<sup>[9]</sup>。虚拟病例的优势正在于可将这一决策过程结构化、重复化和可评价化,从而弥补临床轮转中“病例遇见什么学什么”的局限<sup>[1,17-18]</sup>。

相关综述<sup>[17-18]</sup>表明,虚拟患者和大语言模型驱动的病例系统有助于提升学习参与度、部分沟通能力和临床推理表现。但其效果受病例真实性、反馈设计、课程整合程度和评价指标质量明显影响<sup>[17-18]</sup>。

当前证据仍提示,虚拟病例更适合被视为临床推理训练平台,而不是“自动给答案”的教学捷径<sup>[17-18]</sup>。对呼吸专科教学而言,优质虚拟病例应重点体现:(1)信息开放具有时间逻辑;(2)关键决策节点明确;(3)能够引导学习者识别红灯征象与升级信号;(4)具有复盘和纠错机制<sup>[1,17-18]</sup>。

在BAIMGPT支持下,虚拟病例还可由单向练习进一步升级为多角色互动系统<sup>[24-25]</sup>。学习者既可与“数字患者”进行问诊,也可与“数字护士”获取床旁补充信息,或由“数字导师”追问其决策依据<sup>[24-25]</sup>。这一设计有助于把病例训练从单纯的知识应用拓展至沟通表达、优先级判断和错误识别等更高层次能力训练<sup>[1,18]</sup>。

### 4 虚拟病房

呼吸专科的临床能力不仅体现为个体知识和单项技能,更体现为在真实工作流中识别风险、组织沟通和完成升级处置的综合能力<sup>[4,26]</sup>。虚拟病房正是承载这类训练的重要形式<sup>[13-14,30]</sup>。其基本逻辑是将传统病例讨论扩展为多角色、连续化和流程化的数字临床场景,使学习者在其中完成查房、监测解读、病情识别、团队沟通和转运升级等任务<sup>[13-14,30]</sup>。呼吸专科尤其适合虚拟病房训练(表2)<sup>[4,9]</sup>。

表2 呼吸专科虚拟病房训练的高价值教学场景及其优势

| 教学场景                           | 具体内容                                                                                         |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 虚拟病房训练 <sup>[4,9]</sup>        | 呼吸专科尤其适合虚拟病房训练。                                                                              |
| 高价值临床教学场景 <sup>[4,9]</sup>     | 普通病房患者突发低氧、无创通气效果欠佳后的升级评估、重症肺炎或急性呼吸窘迫综合征的早期处置、呼吸机相关问题识别、围术期呼吸并发症管理以及出院前氧疗和家庭监测交接,均是典型的高价值场景。 |
| 虚拟病房训练的教学优势 <sup>[26,30]</sup> | 虚拟病房训练的优势,正是能够把这些常在传统课堂中被弱化的要素重新纳入教学过程之中。                                                    |
| 训练难点所在 <sup>[26]</sup>         | 这些场景的难点不在于孤立知识点,而在于时间压力下的信息整合、任务排序和跨角色沟通。                                                    |

团队训练文献<sup>[26,30]</sup>提示,情境模拟有助于改善沟通流程、角色认知和部分安全相关行为。将这一思路引入呼吸教学,可使学习者在低风险环境中反复演练“早识别—早汇报—早升级—早干预”的工作流能力<sup>[4,26,30]</sup>。对于初学者而言,这类训练不仅利于建立临床优先级意识,还有助于理解呼吸专科管理并非单人行为,而是医师、护士、治疗师、设备与信息系统共同参与的协同过程<sup>[26]</sup>。

值得关注的是,呼吸专科虚拟病房还可与

IoMT、远程监测和居家医疗教学结合<sup>[20]</sup>。在未来更成熟的平台中,病房场景并不局限于住院病区,还可延伸至门诊随访、出院后氧疗、居家无创通气(noninvasive ventilation, NIV)和家庭病房相关教学<sup>[20]</sup>。这意味着呼吸教学可由传统“住院中心”模式进一步走向“医院—社区—家庭”连续管理能力训练<sup>[4,20]</sup>。不过,虚拟病房设计也需防止过度复杂化<sup>[10,14]</sup>。若信息源过多、角色设置过杂或反馈逻辑不清,反而可能增加认知负荷并削弱学习效果<sup>[10,14]</sup>。

因此,其课程设计应强调分层递进、目标对齐及高质量总结讨论<sup>[30-31]</sup>。

## 5 虚拟操作训练

在所有元宇宙医学场景中,虚拟操作训练是呼吸专科最具现实可行性和证据基础的应用方向之

一<sup>[3-9]</sup>。其中,支气管镜和EBUS培训证据相对最为成熟<sup>[3,5-7]</sup>。这类操作具有学习曲线长、解剖定位复杂、并发症风险高和床旁练习机会有限等特点,因此尤其需要仿真训练作为正式临床上手前的关键环节(图2)<sup>[3,5]</sup>。



图2 气管镜虚拟操作训练

系统综述<sup>[3,5]</sup>已显示,柔性支气管镜与支气管内超声引导下经支气管针吸活检仿真训练可改善学习者的技能表现,并有助于缩短学习曲线和提高训练安全性。这表明,现代呼吸内镜教学已逐渐由“依赖病例数量积累”转向“理论学习—仿真训练—监督下临床实践”的递进式模式<sup>[3,5-7]</sup>。从教学角度看,仿真训练的价值不仅在于让学习者“敢操作”,更在于帮助其建立解剖定位、路径规划、镜身控制和规范流程意识<sup>[3,5,7]</sup>。

AI的引入为虚拟操作训练进一步升级提供了可能。AI辅助可改善支气管镜表现,这提示未来有望通过路径识别、盲区提醒、轨迹分析和错误反馈等方式,构建“智能数字导师”<sup>[6]</sup>。若与BAIMGPT和元宇宙平台结合,则有望实现对学习者操作轨迹、错误类型、学习曲线和达标情况的自动化记录与评估<sup>[6,24-25]</sup>。这将推动操作训练由经验评价向数据驱动评价转变<sup>[1,6]</sup>。

除呼吸内镜外,呼吸衰竭识别与机械通气教学同样适合沉浸式训练<sup>[4,8-9]</sup>。相关研究<sup>[4,8]</sup>提示,沉浸式VR课程能够改善学习者对呼吸窘迫和呼吸衰竭前状态的识别能力。机械通气虚拟模拟则可帮助学习者理解参数调整、波形变化、氧合状态和呼吸力学之间的联动关系,从而降低传统课堂中抽象概念的理解难度<sup>[9]</sup>。

从课程设计看,呼吸专科虚拟操作训练应遵循“先认知、后操作;先模拟、后临床;先单项、后整合”的基本原则<sup>[1,3]</sup>。支气管镜训练宜从解剖识别和基

础操控起步,逐步进入定位、采样和复杂场景<sup>[3,5,7]</sup>。机械通气训练则宜先建立参数与病理生理的对应,再过渡到病情升级和团队协作决策<sup>[8-9]</sup>。

## 6 建设路径、评价体系与伦理治理

元宇宙医学在呼吸教学中的应用,若要由单点创新走向体系化实施,必须同步建设课程架构、评价体系与治理机制<sup>[10,21]</sup>。现实中,数字教学项目的主要瓶颈往往并非硬件不足,而是目标不清、内容碎片化、课程嵌入不足和效果评价薄弱<sup>[10,30]</sup>。因此,呼吸元宇宙教学平台建设必须以教学问题为中心,而非以技术展示为中心<sup>[10]</sup>。较为理想的平台架构,可包括采集层、治理层、内容层、交互层、评价层和安全层6个部分(表3)<sup>[21,24-25]</sup>。

这一架构既体现元宇宙医学虚实融合和持续连接的特征,也符合现代医学教育强调可追踪、可迭代和可评价的基本要求<sup>[10,21]</sup>。

评价体系建设尤为关键<sup>[1,30-31]</sup>。现有仿真教育标准强调,教学效果不能仅停留在满意度层面,而应进一步考察知识掌握、技能表现、行为迁移、团队协作和患者安全相关结果<sup>[30-31]</sup>。对呼吸专科而言,评价指标至少应涵盖基础知识达标率、临床推理质量、支气管镜或通气操作表现、危急事件识别时效、沟通与团队协作能力、课程依从性和临床迁移情况<sup>[6,30]</sup>。只有建立多维评价框架,元宇宙医学教学才能真正成为可验证、可优化的教育体系,而非停留于技术体验层面<sup>[30-31]</sup>。

表 3 元宇宙医学教学平台的核心层级、功能与任务

| 层级                        | 功能与任务                              |
|---------------------------|------------------------------------|
| 采集层 <sup>[20,24-25]</sup> | 负责接入课程资源、病例数据、影像资料、肺功能与监测信息、操作日志等。 |
| 治理层 <sup>[24-25]</sup>    | 负责术语标准化、质量控制与权限管理。                 |
| 内容层 <sup>[24-25]</sup>    | 用于构建数字人课程、虚拟病例、虚拟病房和虚拟操作模块。        |
| 交互层 <sup>[13,24-25]</sup> | 承载数字人教师、虚拟患者和沉浸式情境等教学交互场景。         |
| 评价层 <sup>[11,6,30]</sup>  | 负责形成性评价、阶段考核与学习曲线分析。               |
| 安全层 <sup>[28-29]</sup>    | 负责隐私保护、伦理审查、算法审计和数据安全。             |

伦理治理同样不可忽视。世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 有关卫生领域 AI 治理文件明确强调透明性、公平性、人类监督、责任落实和可持续治理等原则<sup>[28-29]</sup>。对应到教学场景, 数字人教师和 BAIMGPT 的应用需关注模型幻觉、知识偏差、信息过时及不当依赖问题<sup>[16,18]</sup>。虚拟病例与虚拟病房建设需处理病例来源合法性、隐私脱敏和数据使用边界<sup>[17-18]</sup>。平台对学习过程的追踪则涉及学习者知情、数据归属与评价公平性等问题<sup>[28-29]</sup>。因此, 元宇宙呼吸教学不应只谈技术赋能, 更应同步建立制度与规范<sup>[28-29]</sup>。

此外, 相关教育研究亦应提升方法学质量。CONSORT-AI、SPIRIT-AI 和 DECIDE-AI 等规范虽主要服务于 AI 医疗研究, 但其关于算法角色、数据质量、偏差控制、外部验证与真实场景适用性的要求, 对教学研究同样具有借鉴价值。未来围绕元宇宙医学呼吸教学开展研究时, 应更多采用前瞻性设计、客观结局指标和跨场景验证, 以提升证据质量和推广价值<sup>[32]</sup>。在我国实践中, 可考虑分阶段推进: 先建设数字人课程、BAIMGPT 辅助问答和虚拟病例, 再发展虚拟病房和沉浸式操作训练, 最终逐步联通 IoMT、院外监测和连续照护教学场景<sup>[20-25]</sup>。这一渐进式路径更符合当前资源条件, 也更有利于形成具有中国特色的呼吸元宇宙教学体系<sup>[21-25]</sup>。

7 小 结

元宇宙医学正在推动医学教育由静态、分散和机会性学习, 向沉浸式、连续性和胜任力导向学习转变<sup>[10-14,21]</sup>。对呼吸专科而言, 这一转变具有较强现实针对性<sup>[1,3-4]</sup>。呼吸教学对象兼具空间解剖复杂、动态监测密集、程序性技能突出和团队协作依赖强等特点, 传统课堂与床旁教学虽仍不可替代, 但已难以单独满足现代人才培养需求<sup>[1,3-4]</sup>。数字人教师、BAIMGPT、虚拟病例、虚拟病房和虚拟操作训练, 为呼吸教学提供了由课堂延伸至沉浸式临床训

练的连续化新路径<sup>[17-25]</sup>。

现有证据支持 XR/VR/AR 与仿真训练在知识掌握、技能训练和学习体验方面具有积极作用<sup>[10-15]</sup>。虚拟患者和大语言模型也在病例教学与个性化辅导中显示出明显潜力<sup>[16-20]</sup>。其中, 支气管镜、EBUS、呼吸衰竭识别、机械通气和病房升级处置, 是当前最值得优先推进的呼吸专科场景<sup>[3-9]</sup>。但同时亦应看到, 长期迁移效应、真实临床结局、成本效益及伦理治理机制仍需进一步完善<sup>[28-29]</sup>。

综上所述, 元宇宙医学在呼吸教学中的价值, 不在于技术形式的新颖, 而在于是否能够服务于明确的教学目标、嵌入系统的课程设计和接受严格的效果评价, 并在伦理和治理框架下安全运行<sup>[1,28-30]</sup>。未来, 应在白春学教授团队提出的元宇宙医学、医学 GPT 和 BAIMGPT 等思路基础上, 逐步构建覆盖课堂讲授、病例推理、团队训练、程序技能培养和院内外连续管理教学的一体化平台<sup>[21-25]</sup>。由此方能推动呼吸专科教学模式由“知识传授”为主, 进一步迈向“能力建构”为核心的新阶段<sup>[1,21-25]</sup>。

伦理声明 无。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突。

作者贡献 余情: 撰写、修改; 张雯: 修改, 核对文献; 白春学: 选题、撰写、修改、应用 OpenAI 生成图片。

参考文献

[1] Boyd V A, Whitehead C R, Thille P, et al. Competency-based medical education: the discourse of infallibility[J]. Med Educ, 2018, 52(1):45-57.

[2] Motola I, Devine L A, Chung H S, et al. Simulation in healthcare education: a best evidence practical guide. AMEE Guide No. 82[J]. Med Teach, 2013, 35(10): e1511-e1530.

[3] Gerretsen E C F, Chen A B, Annema J T, et al. Effectiveness of flexible bronchoscopy simulation-based training: a systematic review[J]. Chest, 2023, 164(4): 952-962.

[4] Zackoff M W, Real F J, Sahay R D, et al. Impact of an immersive virtual reality curriculum on medical students' clinical assessment of infants with respiratory distress [J].

- Pediatr Crit Care Med, 2020, 21(5): 477-485.
- [5] Naur T M H, Nilsson P M, Pietersen P I, et al. Simulation-based training in flexible bronchoscopy and endobronchial ultrasound-guided transbronchial needle aspiration (EBUS-TBNA): a systematic review[J]. *Respiration*, 2017, 93(5): 355-362.
- [6] Cold K M, Agbontaen K, Nielsen A O, et al. Artificial intelligence improves bronchoscopy performance: a randomised crossover trial[J]. *ERJ Open Res*, 2025, 11(1): 00395-02024.
- [7] Lee H J, Corbetta L. Training in interventional pulmonology: the European and US perspective[J]. *Eur Respir Rev*, 2021, 30(160): 200025.
- [8] Raab D L, Ely K, Israel K, et al. Impact of virtual reality simulation on new nurses' assessment of pediatric respiratory distress[J]. *Am J Crit Care*, 2024, 33(2): 115-124.
- [9] Lino J A, Gomes G C, Nancy Delma Silva Vega Canjura Sousa, et al. A critical review of mechanical ventilation virtual simulators: is it time to use them?[J]. *JMIR Med Educ*, 2016, 2(1): e8.
- [10] Mergen M, Graf N, Meyerheim M. Reviewing the current state of virtual reality integration in medical education - a scoping review[J]. *BMC Med Educ*, 2024, 24(1): 788.
- [11] Eng E S L, Liaw S Y, Tan R X R, et al. Metaverse in healthcare education: a scoping review of definitions and challenges[J]. *Nurse Educ Today*, 2026, 162:107039.
- [12] Popov V, Mateju N, Jeske C, et al. Metaverse-based simulation: a scoping review of charting medical education over the last two decades in the lens of the 'marvelous medical education machine'[J]. *Ann Med*, 2024, 56(1):2424450.
- [13] Hulsen T. Applications of the metaverse in medicine and healthcare[J]. *Av En Med De Lab*, 2024, 5(2): 159-165.
- [14] Bernardes A, Gardim L, Araújo A A C, et al. Exploring the metaverse in the education of healthcare students: a scoping review[J]. *Rev Lat Am Enfermagem*, 2024, 32: e4347.
- [15] Elendu C, Amaechi D C, Okatta A U, et al. The impact of simulation-based training in medical education: a review[J]. *Medicine*, 2024, 103(27): e38813.
- [16] Gordon M, Daniel M, Ajiboye A, et al. A scoping review of artificial intelligence in medical education: BEME Guide No. 84[J]. *Med Teach*, 2024, 46(4):446-470.
- [17] Faferek J, Cariou P L, Hege I, et al. Integrating virtual patients into undergraduate health professions curricula: a framework synthesis of stakeholders' opinions based on a systematic literature review[J]. *BMC Med Educ*, 2024, 24(1): 727.
- [18] Zeng J W, Qi W H, Shen S Y, et al. Embracing the future of medical education with large language model-based virtual patients: scoping review[J]. *J Med Internet Res*, 2025, 27: e79091.
- [19] Gandhi B, Morjaria L, Illamperuma I, et al. Large language model-based virtual patients for simulated clinical learning: a scoping review[J]. *AI Med*, 2026, 1(1): 7.
- [20] Behmanesh A, Shams R, Soleimanpour S, et al. Internet of Things in medical education: a systematic mapping review[J]. *Med J Islam Repub Iran*, 2025, 39:39.
- [21] Yang D W, Zhou J, Chen R C, et al. Expert consensus on the metaverse in medicine[J]. *Clin eHealth*, 2022, 5: 1-9.
- [22] 白春学. 元宇宙医学之我见[J]. *中国医药导刊*, 2023, 25(1):1-5.
- [23] 白春学. 医学新质生产力之我见[J]. *元宇宙医学*, 2024, 1(3):3-10.
- [24] 白春学. 医学GPT研发应用之吾见[J]. *元宇宙医学*, 2025, 2(1):6-14.
- [25] 白春学. 肺结节专家3——BAIMGPT白皮书[J]. *元宇宙医学*, 2025, 2(2):55-64.
- [26] Weaver S J, Dy S M, Rosen M A. Team-training in healthcare: a narrative synthesis of the literature[J]. *BMJ Qual Saf*, 2014, 23(5): 359-372.
- [27] Sonicki Z. Large multi-modal models - the present or future of artificial intelligence in medicine?[J]. *Croat Med J*, 2024, 65(1): 1-2.
- [28] World Health Organization. Ethics and governance of artificial intelligence for health [EB/OL]. [2021-06-28] (2026-01-25). <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200>.
- [29] World Health Organization. Ethics and governance of artificial intelligence for health: guidance on large multi-modal models [EB/OL]. [2025-03-25] (2026-01-25). <https://www.who.int/publications/i/item/9789240084759>.
- [30] Decker S, Sapp A, Bibin L, et al. Healthcare simulation standards of best practice®: the debriefing process[J]. *Clin Simul Nurs*, 2025, 105: 101775.
- [31] Sharon Decker R F A F, Ahip A S M, Lauren Bibin DNP, et al. Healthcare Simulation Standards of Best Practice: The Debriefing Process[J]. *Clinical Simulation in Nursing*, 2025, 105(000).
- [32] Liu X, Cruz Rivera S, Moher D, et al. Reporting guidelines for clinical trial reports for interventions involving artificial intelligence: the CONSORT-AI extension[J]. *Lancet Digit Health*, 2020, 2(10): e537-e548.

## 引用本文

余 情,张 雯,白春学. 元宇宙医学赋能呼吸专科教学创新:从课堂教学到沉浸式临床培训[J]. *元宇宙医学*, 2026, 3(2): 113-119.

Yu Q, Zhang W, Bai C X. Metaverse medicine and innovation in respiratory education: from the classroom to immersive clinical training[J]. *Metaverse Med*, 2026, 3(2): 113-119.