

卫生信息化国际发展动态

（九） 元宇宙

1. 标题：核医学中的元宇宙：变革性的应用、挑战和未来方向

来源：Front Med (Lausanne).

时间：2024年9月.

链接：<https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1459701>.

概要：元宇宙是一个快速发展的虚拟现实空间，在核医学的教育、培训、诊断和治疗等多方面具有巨大潜能。本文主要探讨了元宇宙在核医学中的一些变革性应用，其中沉浸式虚拟学习、放射性药物制备、基于模拟的训练、人工智能（AI）驱动三维（3D）可视化交互决策支持系统、使用现实患者特定虚拟模型的个性化剂量测定、远程医疗和多学科协作等都被无缝地纳入了元宇宙生态系统，可以为医疗保健专业人员 and 患者创建一个理想的协同平台，但是在核医学的教育培训、医学诊断、协作医疗中采用负责任的、可持续的元宇宙技术还需要采取多学科联合的方法来应对与标准化、可访问性、数据安全和伦理等问题相关的挑战。跨学科联盟的组建、研发投入的增加、数据治理和网络安全措施的完善、优先考虑以用户为中心的设计和可用性、促进元宇宙技术的教育和培训都是确保元宇宙安全有效地融入医疗保健的关键步骤。随着元宇宙的不断发展，研究人员、从业者和政策制定者还必须精诚合作，共同探索其潜能，应对其面临的各类挑战，并塑造技术和医学无缝融合的未来，以增强核医学中的医学护理和患者治疗的效果；而且也需要进一步探索元宇宙在临床实践、教育和研究中的影响，并为采取负责任的实施制定基于证据的指南，通过全方位的创新和协作来开创一个更为精确、高效、个性化和以患者为中心的核医学新时代。

2. 标题：元宇宙及其对医学教育和医疗保健系统的影响

来源：Health Sci. Rep.

时间：2024 年 9 月.

链接：<https://doi.org/10.1002/hsr2.70100>.

概要：元宇宙虽起源于一部文学作品，但是在医学教育和医疗保健等领域也有着巨大潜能。元宇宙可以通过人工智能（AI）、增强现实（AR）/虚拟现实（VR）、医疗设备互联网和量子计算技术等多项技术，为人们提供一个现实和虚拟相结合的电子环境，以模拟现实世界中的各类活动。COVID-19 爆发后，在线教育、远程工作、在线会议、在线购物等互联网上活动迅速增长，“元宇宙”概念也顺势成为各行各业的研究热点。在医学领域，元宇宙在提高手术精度、可视化医学教育、远程医疗协作、避免有害环境伤害等方面都能表现优异。本文通过严谨的文献检索和评估策略，对 PubMed、Scopus 和 Web of Science 数据库中文献进行全面研究，重点解决两大问题：1) 元宇宙为医学教育和医疗保健带来了哪些机遇？2) 与其使用相关的挑战和限制是什么？经研究发现：在医疗保健方面，元宇宙可以为用户创造身临其境的个性化医疗保健体验，使他们能够互动、社交和导航虚拟医疗保健环境和临床体验；可以用可穿戴设备和传感器等技术实时记录患者健康数据，更有效地监测和管理慢性疾病；可以实时开展可视化的治疗指导，提高疾病治疗的准确性和效率；可以促进临床医生的国际交流，降低感染风险，促进数据共享，提高接受医疗和康复的速度；也可以有效减轻患者接受疫苗接种、静脉注射、划痕修复、烧伤换药等医疗程序的疼痛和焦虑，大幅降低制药的测试成本和时间，改善患者的心理健康并治疗恐惧症等。在医学教育方面，可以根据学生喜好提供互动和包容性的课程，即时个性化反馈学习问题并相应改进；可以提供有利于提高医学教育质量的有价值数据，并支持实现医生终身学习的目标；可以减少学习解剖学带来的差距和难度，在无风险环境中获得实际手术经验；也可以允许外科医生使用 AR 远程指导和定位手术中难以发现的疾病。尽管元宇宙有这么多好处，但是也存在一些需要解决的限制和挑战。比如 15-24 岁的人群只有 37%可以上网，AR/VR 眼镜价格昂贵，还可能引起眼睛不适；还有伦理、数据安全、隐私、教育指导缺乏等方面的问题也有待进一步解决。

（徐健编辑）

译文一：

核医学中的元宇宙：变革性的应用、挑战和未来方向

Yufu Tang, Hongying Liang, Xin Yang, Xiangming Xue, Jingming Zhan, 徐健 (译)

1. 简介

元宇宙是一个建立在虚拟现实（VR）和增强现实（AR）基础上的数字共享空间，通过整合人工智能（AI）和区块链等尖端技术，进一步增强了元宇宙的功能，形成了强大的组合，具备彻底改变各个行业的潜力。“元宇宙”一词最初是尼尔·史蒂芬森(Neal Stephenson)在他的1992年科幻小说《雪崩》(Snow Crash)中首次提出，其中将其描述为与现实世界平行存在、持续在线并受到现实世界事件影响并正在彻底改变各个领域的虚拟世界。在教育领域，元宇宙实现了沉浸式学习体验，让学生能够与虚拟对象进行模拟交互，从而增强参与度和知识记忆。娱乐业也接纳了元宇宙，创造了交互式 and 个性化的用户体验。此外，元宇宙也在旅游业中得到应用，实现虚拟旅游和体验，和在汽车行业中得到应用，促进虚拟车辆设计和测试。

元宇宙在其他医疗和健康领域也有突出表现。比如，在骨科领域，虚拟实境已被用来创建用于手术训练和规划的沉浸式虚拟环境，使外科医生能够无风险地练习复杂的手术。在心理健康领域，基于虚拟实境的干预措施已显示出在提供有吸引力且有效的治疗方面的前景，例如针对焦虑症的暴露疗法。此外，元宇宙已被探索作为远程患者监控和远程医疗的平台，使医疗保健提供者能够在虚拟环境中为患者提供个性化护理和支持。

核医学是一个重要的医学领域，主要是使用放射性同位素来诊断、治疗和研究肿瘤学、心脏病学和神经学等各类疾病。先进的成像技术，包括单光子发射计算机断层扫描(SPECT)和正电子发射断层扫描(PET)，能提供有助于早期发现疾病、评估治疗效果和指导临床决策的功能信息。然而，核医学也有其局限性。比如，其主要关注手术过程中辐射暴露风险，所以需要医务人员和患者采取适当的保护措施。再如，核医学成像的空间分辨率低于其他方式，可能会影响小病变的检测。还有，核医学教育和培训通常依赖于二维（2D）图像和简单化模型，限制了学生对复杂解剖结构和生理过程的理解。

将元宇宙融入核医学有可能解决这些局限性并增强该领域的各个方面。通过利

用 VR、AR 和混合现实(MR)技术, 虚拟世界可以提供三维(3D)医学图像的可视化沉浸式交互, 从而实现更精确的诊断和治疗计划。基于元宇宙的模拟还可以改善核医学教育和培训, 使学生能够在无风险的环境中与虚拟放射性药物互动、练习程序并探索解剖结构。此外, 元宇宙可以促进医疗保健专业人员之间的远程协作, 实现跨地域的专家咨询和知识共享。

本本旨在探讨元宇宙在核医学领域的变革潜力, 重点关注其应用、挑战和未来方向。通过研究元宇宙如何加强核医学的教育、培训、诊断和治疗, 我们试图让研究人员、从业者和政策制定者了解这一新兴技术的机遇和挑战。随着元宇宙的不断发展, 了解其对核医学和医疗保健的潜在影响至关重要, 从而塑造技术和医学无缝集成以改善患者护理和结果的未来。

2. 方法

为了确定相关论文和应用, 使用以下数据库进行了全面的文献检索: PubMed、Scopus、IEEE Xplore 和 Web of Science。搜索词包括“metaverse”、“nuclear medicine”、“virtual reality”、“augmented reality”、“mixed reality”、“education”、“training”、“diagnostics”、“therapeutics”、“PET”、“SPECT”、“radiotherapy”和“radiotheranostics”。检索限于 2010 年至 2024 年期间以英文发表的文章。此外, 还对检索到的文章的参考文献列表进行了手动检索, 以识别任何其他相关研究。纳入标准如下: (1) 关注元宇宙技术在医学和健康领域应用的研究, (2) 原创研究文章、综述论文和病例报告, (3) 提供有关虚拟实境应用程序的设计、实施和评估的充分信息的研究。排除标准是: (1) 非英语出版物, (2) 与核医学元宇宙不直接相关的研究, 以及 (3) 摘要、社论和会议记录。

3. 元宇宙在核医学教育培训中的应用

几项研究强调了虚拟和增强现实在医学教育中的潜力, 与传统教学方法相比, 虚拟和增强现实已证明可以改善知识获取、技能发展和学习者满意度。凭借其沉浸式和互动功能, 元宇宙可以通过提供独特的体验式学习和真实模拟机会来增强核医学教育的学习体验和成果。

3.1. 沉浸式虚拟学习和模拟培训平台

在虚拟世界中，将认知、情感和精神运动领域的预期学习结果与学习和模拟机制结合起来是一种很有前途的教学设计方法。例如，一项关于虚拟现实学习应用中动画虚拟代理（AVAs）的视觉复杂性对学习结果影响的研究表明，高度逼真的 AVAs 可以提高学习者的参与度和学习绩效。沉浸式虚拟学习环境可以为学生探索和操作复杂的核医学场景提供高度逼真和互动的平台。这些环境使学生能够可視化解剖结构、放射性药物和成像设备的 3D 模型并与之互动，增强他们对基本概念的理解和在现实世界中应用这些概念的能力。

虚拟辐射实验室展示了虚拟现实在创造现实场景方面的潜力，使核医学专业人员能够与虚拟辐射源互动并实践安全程序。通过提供一个安全可控的学习环境，学生可以深入了解辐射防护原理并获得实用技能，而无需承担处理实际放射性物质的风险。

放射治疗培训虚拟环境（VERT）系统是沉浸式虚拟学习潜力的示例性模型。VERT 使学生能够在现实环境中练习放射治疗计划和实施，为实验和解决问题提供安全的空间。通过这种身临其境的体验，学生可以培养批判性的空间意识和决策技能，为他们在临床实践中面临的挑战做好准备。

此外，经验丰富的核医学专业人员，包括高级医生和技术人员，还可以利用这些技术在现实的虚拟环境中练习和体验罕见或复杂的病例，从而增强他们应对具有挑战性的临床情况的能力。元宇宙平台为跨机构、跨地域的专业人士提供知识共享的协作空间，促进专业知识的交流并促进持续学习。定期在虚拟环境中进行模拟培训和案例讨论，使经验丰富的核医学专业人员能够及时了解最新的知识和技能，从而提高他们的专业能力。

3.2. 增强现实探索与放射性药物制备模拟训练

AR 技术在各个医疗领域显示出巨大的潜力，包括外科手术和康复。例如，AR 可以在手术过程中将患者信息和手术指导叠加到外科医生的视野中，从而提高精度并减少错误。此外，AR 还被用作疼痛管理中的分散注意力技术以及焦虑、抑郁和恐惧症等心理健康问题的治疗方法。

元宇宙中的 AR 学习模块通过提供复杂解剖结构、生理过程和医学成像数据的实时交互式可视化，为核医学教育提供了新的维度。基于 HoloLens 的 AR 系统 HoloAnatomy 展示了 AR 在教授复杂解剖概念方面的强大功能。该系统允许学生与 3D 全息模型互动，以前所未有的细节探索人体，增强他们对主题的理解和记忆。

元宇宙中基于模拟的培训为放射性药物制备和处理教学提供了一种改变游戏规则的方法。通过利用 VR 和 AR，核医学技术人员可以练习这些基本技能，而无需承担处理实际放射性材料的风险。让学习者沉浸在虚拟放射性制药环境中，使他们能够培养肌肉记忆和对自己能力的信心，最终在过渡到临床环境时提高表现和患者安全。

4. 元宇宙在核医学诊断方面取得的进展

元宇宙将深刻影响核医学诊断：3D 可视化和图像融合、远程医疗和多学科协作，以及人工智能驱动的诊断和决策支持工具。通过研究这些技术的现状及其在元宇宙中的潜在应用，我们的目标是全面概述核医学诊断领域正在发生的范式转变。这项探索将揭示虚拟实境如何帮助核医学专业人员突破疾病检测、特征描述和治疗计划的可能界限，开创个性化医疗和改善患者护理的新时代。

4.1 3D 可视化和图像融合

目前的循证医学表明，PET/计算机断层扫描(CT)在患者选择、治疗反应评估和预后预测方面具有重要意义。尽管大多数证据来自回顾性研究，但 PET/CT 在该领域显示出巨大的潜力。元宇宙中的 3D 可视化和图像融合为分析复杂的核医学成像数据提供了高度沉浸式和交互式的环境。在虚拟 3D 空间中将 PET/SPECT 与 CT/磁共振成像(MRI)相结合，可以更全面地了解疾病过程。这使得临床医生能够识别细微的病变并更精确地表征它们。虚拟 3D PET/CT 系统体现了这一概念，为临床医生提供了一个以高度直观和灵活的方式与融合 PET/CT 图像进行交互的平台。该系统提高了诊断准确性，并促进核医学专业人员 and 转诊医生之间更有效的沟通，最终改善患者护理。

4.2 远程医疗和多学科协作

元宇宙中的远程医疗和多学科协作打破了地理障碍，使来自不同专业和地点的

专家能够在虚拟环境中无缝协作。虚拟肿瘤委员会 (VTB) 平台展示了 VR 在促进多学科癌症病例讨论方面的变革潜力。通过将肿瘤科医生、放射科医生、病理学家和其他专家聚集在一个共享的虚拟空间中，VTB 平台可以做出更明智、更全面的治疗决策。这种协作方法可以改善患者的治疗效果，并促进医疗保健专业人员之间的知识共享和学习，最终提高核医学的护理标准。

4.3 人工智能驱动的诊断和决策支持

元宇宙中人工智能驱动的诊断和决策支持工具开辟了个性化医疗的新领域，为个体患者提供实时帮助和治疗建议。洪等人提高了 PET 图像质量、降低成本并可能降低辐射剂量，再加上用于自动病变检测和表征的人工智能集成，例证了这些技术在彻底改变核医学诊断和个性化患者护理方面的变革潜力。人工智能提高了诊断效率，使临床医生能够以新颖的方式探索成像数据并与之交互，从而有可能发现新的见解并改善患者的治疗结果。

5. 核医学采用虚拟实境的挑战和考虑

虽然提供了巨大的创新和进步潜力，但在核医学中采用虚拟实境技术也带来了复杂的挑战和考虑因素，必须认真解决这些挑战和考虑因素，以确保负责任和可持续的实施。这些挑战跨越技术、经济和伦理领域，需要研究人员、从业者、政策制定者和行业利益相关者的共同努力来引导前进的道路。

5.1 标准化和互操作性挑战

标准化和互操作性是将元宇宙技术整合到核医学生态系统中的关键技术挑战。对标准化协议和数据格式的需求可能会对各种 VR/AR 系统和医疗设备之间的信息无缝交换造成重大障碍，从而阻碍连贯且高效的工作流程的开发。IEEE 提出的医疗扩展现实 (MXR) 互操作性框架代表了应对这一挑战的关键一步，提供了一套全面的标准化数据交换和通信指南。通过建立通用语言和互操作性框架，MXR 互操作性框架可以开发出更加集成和用户友好的元宇宙解决方案，这些解决方案可以在不同的医疗保健环境中轻松采用。

5.2 可及性和成本效益考虑

可及性和成本效益对核医学中采用元宇宙技术提出了重大的经济挑战。先进的VR/AR系统的高成本可能会造成数字鸿沟，限制较小的医疗机构和服务不足的社区使用这些变革性技术。为了应对这一挑战，迫切需要开发更实惠且用户友好的元宇宙解决方案，以实现对这些尖端工具的民主化访问。MedVR系统是一个用于医学教育的低成本VR平台，它是创新设计和工程方法如何帮助弥合可及性差距的一个有希望的例子。通过利用开源软件和现成的硬件组件，MedVR展示了创建许多医疗机构可以轻松采用的经济高效且可扩展的元宇宙解决方案的潜力。

5.3 数据安全和道德问题

数据安全和伦理问题是核医学中采用元宇宙技术面临的最复杂和多方面的挑战。在虚拟环境中收集、存储和共享敏感的患者数据引发了有关隐私、机密性和知情同意的关键问题。李等人推出了基于区块链的去中心化患者信息交换系统，确保电子病历安全高效共享，同时保护患者隐私。仿真结果和安全分析表明，该系统有效防范数据伪造、隐私泄露等安全威胁，保证数据完整性，支持各种规模、格式的电子病历快速共享。这项研究强调了区块链技术在促进以患者为中心的健康信息交换和访问控制方面的潜力。然而，实施此类系统会引发有关数据所有权、用户自主权以及潜在的意外后果（例如加剧健康差距）的关键道德问题。

5.4 多学科协作和利益相关者参与

应对这些挑战和问题需要采取多学科和协作的方法，汇集核医学、计算机科学、生物伦理学和公共政策的专业知识。促进这些不同利益相关者之间的持续对话和参与对于为负责地在医疗保健领域采用元实境技术而制定稳健的标准、指南和最佳实践至关重要。这一过程必须建立在对以患者为中心的护理、健康公平和敏感医疗数据的伦理管理的共同承诺的基础上。

6. 未来方向和建议

为充分利用元宇宙在核医学领域的变革潜力，我们需要考虑其未来方向和建议，其中包括组建跨学科联盟以实现标准化、增加对元宇宙技术的研发投资以及加强数据治理和网络安全措施。

6.1 促进标准化的跨学科合作

涉及核医学、计算机科学、工程和其他相关领域专家的跨学科联盟对于为医疗保健中的元宇宙应用建立标准化协议和指南至关重要。美国医学扩展现实协会（AMXRA）就是这种合作努力的典范。作为一家致力于推进扩展现实（XR）技术在医疗保健领域应用的非营利组织，AMXRA 汇集了来自学术界、工业界和医疗机构的专家。通过研讨会、工作组和会议，AMXRA 促进了跨学科知识共享、挑战识别，并制定了在医学教育、研究和临床实践中应用 XR 技术的标准。通过促进跨学科协作和知识共享，这些联盟可以加速可互操作的元解决方案的开发和采用，这些解决方案可以很容易地集成到现有的医疗保健工作流程中。

6.2 通过增加研发投入推动创新

增加对虚拟实境技术的研发投入对于推动创新和提高核医学中 VR/AR 系统的可及性、可负担性和用户友好性也至关重要。政府、行业合作伙伴和学术机构应合作资助和支持探索元宇宙在增强核医学诊断、治疗和教育方面潜力的研究计划。这项投资应侧重于开发新颖的硬件和软件解决方案，这些解决方案可以提供沉浸式、交互式 and 个性化的体验，同时解决医疗保健环境的独特挑战和要求，例如感染控制和患者安全。

6.3 加强数据治理和网络安全措施

加强数据治理和网络安全措施对于保护患者隐私和确保元宇宙中敏感医疗数据的安全管理至关重要。患者生成的健康数据去中心化市场，利用以太坊智能合约等区块链技术和星际文件系统（IPFS）等分布式存储系统，可以显著增强元宇宙内的数据治理和网络安全措施。这种方法通过促进安全存储、加密以及用户与市场之间的通信来确保数据来源、准确性、安全性和隐私。市场的去中心化性质降低了数

据泄露和未经授权访问的风险，同时提供不可变的数据交易记录以实现可验证性和透明度。通过采用这种方法，元界生态系统可以安全且保护隐私地共享患者生成的健康数据，最终改善医疗保健结果和研究。然而，实施此类框架还必须辅之以强大的网络安全措施，例如加密、身份验证和访问控制，以防范潜在的威胁和漏洞。

6.4 优先考虑以用户为中心的设计和可用性

必须优先考虑以用户为中心的设计和可用性，以确保虚拟实境技术在核医学中的成功采用和集成。元宇宙解决方案的设计应满足医疗保健专业人员和患者的需求和偏好，提供直观、无缝的用户体验，并可轻松集成到现有工作流程中。这可能涉及进行广泛的用户研究、可用性测试和迭代设计流程，以确保元宇宙应用程序功能齐全、用户友好，并且可供广泛的用户使用，包括那些具有不同技术专业知识和身体能力的用户。

6.5 促进元宇宙技术的教育和培训

为了充分发挥虚拟实境在核医学领域的潜力，促进医疗保健专业人员、研究人员和学生的虚拟实境技术教育和培训至关重要。这可能涉及开发专门的课程和培训计划，重点关注在医疗保健中应用 VR/AR 技术，并提供实践学习机会和模拟，使用户能够使用元宇宙工具培养实用技能和经验。投资于教育和培训可以建立一支装备精良的劳动力队伍，以利用元宇宙的力量来推进核医学研究、实践和患者护理。

7. 结论

元宇宙有潜力通过提供沉浸式、交互式 and 现实的体验来增强教育、诊断和治疗计划，从而彻底改变核医学。本文重点介绍了虚拟实境在核医学中的变革性应用，包括虚拟学习环境、基于模拟的培训、人工智能驱动的决策支持和个性化剂量测定。然而，负责任的应用需要采用多学科方法来解决与标准化、可访问性、数据安全和伦理相关的挑战。

随着元宇宙的发展，需要进一步研究以了解其影响并制定基于证据的实施指南。将元宇宙整合到核医学中可以带来更精确、更高效、以患者为中心的护理。研究人

员、从业者和政策制定者必须合作探索元宇宙的潜力、应对挑战并塑造技术和医学无缝融合以改善患者治疗效果的未来。通过拥抱负责任的创新和协作，核医学界可以利用元宇宙的力量开创精确、个性化和以患者为中心的护理的新时代。

***注：原文和译文版权分属作者和译者所有，若转载、引用或发表，请标明出处。**

译文二：

元宇宙及其对医学教育和医疗保健系统的影响

Faezeh Ghaempanah, Bahar Moasses Ghafari, Darya Hesa Mi, Reza Hossein Zadeh,
Rashin Noroozpoor, AmirAli Moodi Ghalibaf, Parsa Hasanabadi, 徐健 (译)

1. 简介

“元宇宙”是 Neal Stephenson 在 1992 年首次使用。斯蒂芬森在其文学作品中将真实和虚拟的角色与“元宇宙”的三维虚拟环境混合在一起。在这个繁盛的网络空间中，人们可以从事购物到教育的各种活动。“元宇宙”是一个复合词，由两部分组成：第一部分“meta”意味着下一个或超越，“universe”意味着世界。换句话说，本词的意思是超越现实的世界。元宇宙提供了一个结合物理现实和数字虚拟的环境。Kye 等人进行的研究是将虚拟世界分为四类：增强现实（AR）、生活记录、镜像世界和虚拟现实（VR）。AR 将物理世界与虚拟世界连接起来，而生活记录涉及个人虚拟体验的内部强化。镜像世界反映了虚拟领域中的现实世界，第四类包括虚拟世界本身。个人可以在元宇宙中参与各种活动，包括购物、玩耍、社交和聚会，在图形丰富、与现实世界非常相似的网络空间中。

自 COVID-19 爆发以来，虚拟平台已经占据了各种活动的中心空间，包括工作、教育活动、远程工作、在线会议、远程教育、在线购物和其他日常活动，这些活动已成为人们生活中不可分割的一部分。通过人工智能、AR/VR、医疗设备互联网、量子计算技术和机器人技术的集成，元宇宙可以在提高手术精度、实现治疗应用等医学科学革命方面拥有巨大潜力。

元宇宙对医学教育有利。为了建立合格的医学教育，必须全面检查并参与有关扩展现实技术的对话。除了利用虚拟平台帮助和加强医学教育外，熟悉该平台对于加强未来的医学技能以及与患者的医学交流也是必要的。因此，熟悉促进和加速教育进程的虚拟空间平台类型，如云计算、数字孪生、VR、AR、5G、混合现实（MR）、人工智能（AI）和元宇宙至关重要。

元宇宙已在医学科学和医疗保健领域崭露头角，虽然仍处于早期阶段，还需要进一步研究以阐明其对医学教育的影响。因此，需要进行更多研究，探索元宇宙如何增强协作学习、基于模拟的培训和远程访问医疗资源，从而塑造医学教育的未来。

在这项研究中，我们调查了元宇宙在医疗保健系统和医学教育中的使用和效果，包括它的应用、机会和局限性。本文回顾了评估元宇宙在医学教育中的影响的文献，并补充了在医学科学所有领域的现有证据中添加元宇宙的必要性。

2. 方法论

根据引言部分的讨论，我们发现非常需要探索和熟悉医学教育和医疗保健系统中元宇宙的各个方面。为了确保方法论的严谨性，我们采用了结构化方法，包括三个关键步骤：(1) 确定相关数据以告知方法论框架，(2) 开发全面的方法论框架，以及(3) 验证、测试和完善该框架。

我们的方法包括对所审查研究的质量和进行详细评估，评估研究设计、样本量和所使用的分析技术。这项评估帮助我们更清楚地了解支持在这些领域使用虚拟节的证据的强度。

在第一步中，我们为手稿制定了详细的大纲。为了确保全面的审查，我们在 PubMed、Scopus 和 Web of Science 数据库中进行了检索。我们的搜索策略旨在具有包容性，使用“metaverse”、“medical education”和“health care”等宽泛的关键词及其 MeSH 同义词。考虑到元宇宙的新颖性，我们没有按出版年份限制搜索，而是包含了所有相关的结果。然后，搜索结果通过包括标题、摘要和全文评论的严格流程进行筛选。这些研究的方法严谨性得到了进一步评估，包括对其设计中潜在偏差和局限性的评估。

本研究旨在解决以下研究问题：(1) 元宇宙为医学教育和医疗保健系统带来了哪些机遇？(2) 与其使用相关的挑战和限制是什么？

3. 什么是元宇宙？

如前所述，元宇宙始于尼罗·斯蒂芬森的小说《雪崩》。最初，它似乎与现实相去甚远，但随着 COVID-19 大流行以及随后工作、科学和教育虚拟互动的激增，它变得更加切实。然而，物理世界中的行为会影响我们在虚拟世界中的体验，反之亦然，强调虚拟化身与物理环境之间的密切联系。

元宇宙不是一个单一的概念，相反，它包含各种技术，包括 AR、VR、物联网 (IoT)、

5G、区块链、云计算、数字孪生、MR 和人工智能。加速研究基金会于 2006 年引入了这一概念，确定了四个维度：AR、生活记录、镜像世界和 VR。这些维度分为两个轴：增强与模拟以及亲密与外部。

第一项技术是增强现实(AR)，它将虚拟元素叠加到现实世界上，类似于通过智能眼镜观看现实。第二种技术是生活记录，涉及记录、保留和传播有关个人和物体的日常事件和细节。值得注意的是，它提到以任何格式维护病历，可以在不同领域的医生之间共享，并为患者的病历提供全面的信息。

镜像世界在虚拟环境中复制现实生活场景，以促进体验式学习，特别是在 COVID-19 之后受到关注。最后一项技术 VR 让用户沉浸在 3D 虚拟世界中，通常在医学教育中使用，具有逼真的图形和快速通信工具。Zepeto 和 Roblox 等平台提供互动社交和创意体验。头戴式显示器(HMD)通过向每只眼睛呈现单独的图像来提供立体场景，并根据头部位置和注视方向进行动态调整。

元宇宙和互联网之间的联系经历了不同的阶段：门户时代、搜索或社交时代以及数字智能互联网时代，无缝整合物理世界和虚拟世界，促进全球获取教育资源。元宇宙和互联网之间的联系通常有利于教育，并使世界各地的学生能够从任何地点获得最好的教育材料。这有助于为所有学习者提供高质量、标准化的教育，无论他们身在何处或学习时间如何。除了医学教育之外，元宇宙还可以用于协助患者治疗。利用互联网和智能元宇宙技术，生活在偏远地区的个人可以接触到顶级医疗专业人员。患者可以使用互联网、耳机和其他智能设备轻松与医生分享测试结果。显然，元宇宙的主要目标是补充而不是取代传统医学科学产品。

人工智能被认为是一个专注于开发机器或计算机的智能和行为能力的科学和工程领域。人工智能是元宇宙的一个子类。然而，尽管人工智能在医疗功能领域得到了扩展，但人工智能在临床表现的一个明显限制是同理心、高级对话和肢体语言，而这些对于取代人类互动至关重要。

4. 医疗保健中的元宇宙

新兴技术正在迅速发展医学科学，数字服务被认为是医疗保健领域的突破性元素。COVID-19 大流行后，面对面互动受到限制，促使远程护理和沟通得到广泛采用。在 Marr 等人进行的一项研究中。该研究表明，远程呈现、数字孪生和区块链等三种

新技术具有巨大的潜力，可以显著影响医疗保健、治疗提供、降低成本和整体改善患者的治疗效果。元宇宙正在医疗保健领域创造许多机会（图 1）。在本节中，我们将演示元宇宙的一些用法。



图 1 虚拟子公司在医学教育和医疗保健系统中的应用

虚拟世界（如《第二人生》）的使用已在医疗和健康教育的背景下进行了探索。第二人生是一个模拟环境，用于构建人们可以获得信息和互动的环境。已发现它具有许多技术上有利的特性。像《第二人生》这样的虚拟世界对医疗保健、治疗提供和成本降低产生了重大影响。COVID-19 大流行还导致远程护理和接触的广泛采用，进一步凸显了数字服务在医疗保健领域的潜力。因此，虚拟世界和新兴技术的结合正在塑造医学科学的未来，为健康教育、宣传培训和改善患者的治疗结果提供新的机会。

在元宇宙中，数字孪生通过化身和 AR 实现医患互动、转变护理、心理健康支持和医疗培训，从而增强医疗保健。医疗保健中的数字孪生可以为用户创造身临其境的个性化医疗保健体验，使他们能够互动、社交和导航虚拟医疗保健环境和临床体验。

可穿戴设备和传感器等生活记录技术可提供实时患者健康数据，使医疗保健提供者能够更有效地监测和管理慢性病。元宇宙和生活记录技术在医疗保健领域的潜力是巨大的。然而，它们的采用仍然面临挑战，例如需要更多的理解和对创新解决方案的抵制。然而，元宇宙和生活记录技术将彻底改变医疗保健，为加强患者护理、医疗培训和研究提供前所未有的机会。

MR 在健康专业中也有一些用途。MR 耳机用于手术。MR 耳机的基础是情境指南和查房。使用这些耳机，外科医生可以通过视觉显示器查看和检查卧床患者的生命体征。使用这项创新的成果之一是将查房时间减少三分之一（43 分钟）并减少病

房中的人数。MR 的总体体验是积极的，主要好处似乎与提高效率有关。然而，存在主要与头戴式显示器相关的条件相关的限制。另一种 MR 技术是全息透镜。该技术可以在手术过程中进行实时可视化和指导，提高癌症治疗的准确性和效率。放射科医生还可以使用 Microsoft HoloLens 的全息图像来确定肿瘤的确切位置，以便活检针更准确地击中肿瘤，并找到 X 射线击中肿瘤的合适方向。

现实与虚拟世界的结合可以促进临床医生的国际关系，促进数据共享，提高接受医疗的速度，视频会议医疗咨询，降低治疗人员和患者感染疾病的风险，以及监督药品的运送新技术对患者和康复过程的影响。OptiVu 就是这种技术的一个例子。OptiVu 是一款融合现实世界和数字世界的全息软件，在微软 HoloLens 的支持下，患者可以接受咨询、建议、个性化护理以及疾病的诊断和治疗。

VR 技术可以有效减轻接受疫苗接种、静脉注射、划痕修复、烧伤换药等医疗程序的儿科患者的疼痛和焦虑。KindVR 是一家研究型公司，提供定制 VR 疗法，帮助儿科患者管理与医疗状况相关的疼痛和压力。KindVR 与美国和加拿大的医院合作，在各个领域进行了 10 多项试验，包括镰状细胞病、癌症治疗和术前压力管理。此外，VR 在大脑刺激和生物反馈中的应用可提高治疗精度和基于患者反应的个性化治疗。最近的研究表明，VR 技术可以减少术前和手术中的焦虑和压力，并增强接受择期手术和剖腹产的成人的准备。VR 模拟中使用的梦境可以在分娩过程中分散注意力，促进放松和舒适。

机器学习和复杂的人工智能驱动的进步（例如增强/虚拟现实、元宇宙和语言模型）正在成为医疗保健数字化发展的关键焦点。此类发明旨在加强细胞病理学的教育、诊断和治疗，将其转变为高度数字化的领域。

元宇宙改变了制药行业。制药行业致力于探索、开发、生产和回收药物以及向患者施用药物以治疗、接种疫苗或缓解其症状。试验是医学研究中最昂贵和最耗时的阶段。他们正在开发的治疗方法占医疗费用的 60%。众所周知，数字孪生在大幅降低测试成本和时间方面具有巨大潜力。积极主动的制药公司正在寻找新技术。这一领域所做的努力之一可以称为 Vis-Mol。它支持微软基于 AR 的 HoloLens 技术。它使药剂师能够在真实环境中看到药物的分子结构。

在心理学中，罗斯鲍姆等人在 1995 年进行了第一个 VR 研究。他们的研究主题是学生的恐高症，这导致了影响 VR 治疗强迫症和类似疾病的新研究窗口的出现。另

有研究者还利用扩展现实(XR)耳机通过在受控条件下直接面对患者并提供让人害怕的刺激场景来改善心理健康并治疗恐惧症。随着时间的推移，患有慢性疾病的人也往往会遇到心理健康挑战。元宇宙通过创建虚拟支持基地和阵型，向他们灌输支持感和重要性，并促进他们的身心健康。

5. 医学教育中的元宇宙

在 COVID-19 大流行期间，传统课堂受到干扰，导致教育和学习质量下降。导致这种下降的因素包括学生积极性下降以及与虚拟学习相关的挑战，医学教育也不例外。然而，疫情也为医学教育的创新和发展提供了机遇。元宇宙的出现显著增强了虚拟现实应用，提供了一个能够推动教育系统发展和进步的高潜力环境，解决了学生学习中的重大局限性。（图 1）。

在这些虚拟空间中可视化实际图像可以帮助学生更好地学习和研究元宇宙在这些空间中创建的健康科学内容。它在医疗保健教育方面具有巨大潜力，可根据学生的喜好提供互动和包容性的课程。元宇宙中的即时个性化反馈使学习者能够发现弱点并相应改进。这种反馈使受训者能够识别自己的弱点，然后相应地改进和调整他们的方法。

Logsit 和 Nomie 是两种流行的生活记录工具。生活记录可以提供更加个性化和赋权的学习体验，提供可用于提高医学教育质量的有价值的数据，并支持实现医生终身学习的目标。在教育中使用该技术是为了保存患者的数据、研究记录和研究结果。

AR 还在医学教育领域提供了大量的文本和视听知识。例如，在医学教育中使用具有 AR 技术的智能眼镜，可以在很大程度上减少学习解剖学带来的差距和难度，因此将这些眼镜戴在眼睛上将有助于外科医生、放射科医生以及其他医学领域的专家科学将解剖学快速应用到人体。此外，在英国，有一款采用 AR 技术制作的衬衫，使用户能够查看人体的内部结构，类似于解剖学中通常研究的结构。

元宇宙赋予用户高度的自由度，扩大了学生学习的自主权。AR 和 VR 是教学学生的好工具，尤其是在解剖学和放射学方面。与此同时，元宇宙在临床教育方面显示出了更大的潜力，其最重要的影响是彻底改变了外科教育中基于模拟的学习。学习者可以通过消除患者风险，在无风险的环境中获得实际手术经验；即使是一年级

医学生也可以接受几乎包容性的外科培训。虚拟实境兼容技术的不断发展已显示出彻底改变临床技能培训策略的潜力。元宇宙可用于远程手术协助，彻底改变临床技能。在手术中，一项研究表明，VR 模拟有效地教会学生进行全膝关节置换术(TKA)。与未使用模拟的学生相比，使用 VR 模拟训练的学生在 TKA 模拟工作中的表现明显更好。此外，AR 在医疗保健教育和实践方面具有巨大潜力。元宇宙允许外科医生使用 AR 远程指导和定位难以发现的乳腺癌。此外，还努力制作一些用于医疗触诊培训的脉压波形，为教育工作者提供一致且准确的模拟。

AR、VR 和 MR 之前已经展示了它们在医疗环境中的能力，包括提高手术精度、减少医疗过程中患者的痛苦、减轻学员的压力以及增强批判性思维。

5.1. 元宇宙在隐私方面的应用

虽然使用元宇宙为患者提供了许多优势，但它也带来了特殊的挑战。在讨论使用由元宇宙生成的数据时，考虑隐私和安全问题是至关重要的。元宇宙提供商的政策必须解决社交媒体和早期基于心理健康的技术所造成的潜在危害。元宇宙收集的信息可用于塑造消费者的信念和行为，强调需要明确的法律框架，特别是出于医疗目的。Benrimoh 等人最近的一项研究强调了在将元宇宙技术用于医疗目的之前获得 HIPAA 和 PIPEDA 等医疗监管系统批准的重要性。HIPAA 和 PIPEDA 是分别在美国和加拿大为保护健康信息的隐私和完整性而制定的医疗协议。

人们普遍认为，从医疗保健系统收集和存储数据的数据库应保持机密性，以避免未经授权披露患者信息。此外，数据管理不足可能会损害身心健康活动，并导致社会普遍缺乏信任。因此，治疗和护理系统是有责任的，尤其是在采用 VR/AR 技术的精神病学领域，必须优先考虑患者隐私保护，以促进相互信任。

网络攻击和数据泄露可能会损害患者数据的隐私和安全。当个人或组织信息或数据被未经授权的人通过设备窃取、读取或共享时，就会发生信息泄露。XR 系统可能在抵御网络攻击和黑客攻击方面表现出弱点，因此需要采取果断的安全措施来防止盗窃和未经授权访问患者信息。

联邦学习 (FL) 是人工智能的一个新兴分支，正在开发为已发布的模板，通常利用通过物联网收集的数据。物联网的最新进展推动了医疗物联网 (IoMT) 的发展，它在各个医学领域都有应用。IoMT 数据安全对于现代智能护理系统至关重要，FL 在诊

断、患者监护、医学教育、传染病和药物发现中发挥着重要作用。

5.2. 挑战、限制和结论

尽管元宇宙有很多好处，但也存在一些需要解决的限制和挑战。一个重大障碍就是 15-24 岁青少年的互联网接入有限，根据联合国儿童基金尽管元宇宙有很多好处，但也存在一些需要解决的限制和挑战。会和国际电信联盟的一份报告，只有 37% 的青少年能够接入互联网。

由于元宇宙的新颖性，这项新技术已经不为很多人所知。许多人缺乏对技术的了解，而技术恐惧症进一步加剧了人们对使用元宇宙的抵制。然而，接受传统社会与该技术的熟悉程度、效率和广泛采用有关。此外，用户满意度已成为打算使用元宇宙的关键决定因素。接受不确定性并愿意接受创新的个人表现出更大的倾向利用元宇宙进行医学教育。

此外，需要 AR/VR 眼镜才能实现真正的包容性体验。然而，眼镜的经济成本很高，并且可能导致并发症，包括不适、压力、眼睛疲劳和视力模糊。此外，在医疗环境中使用虚拟实境技术也存在潜在风险。一个令人担忧的是，外科学生和实习生可能无法完全理解模拟的局限性，并且可能对自己在真实手术场景中的能力产生不切实际的期望。因此，将虚拟实境视为临床实践的补充而不是替代监督手术培训是至关重要的。彻底评估这一新兴技术的优点、缺点和潜在风险至关重要。为了确保医疗保健专业人员做好提供优质护理的准备，元宇宙技术必须是负责任的、受监督的、符合道德的，以及正规的外科手术培训。此外，医学科技的进步在新的医疗场景中引发了伦理问题。数据安全与隐私、现实与虚拟世界的不平衡、元宇宙教育指导的缺失等都是需要关注的挑战。

虽然元宇宙可以作为一个交流发展的平台，但需要注意的是，它只展示了用户想要分享的部分，并没有看到一个人的所有方面。此外，虚拟世界中隐私侵犯率较低也是一个不可否认的问题。元宇宙的自由和比现实世界规则更少的更广阔的世界给我们带来了可以为危险犯罪提供平台的机会，因此对青少年和青少年的使用应该在充分认识到这一领域的情况下进行。托雷斯导航在诊所的使用给我们带来的最关键的问题之一是无法直接与患者沟通并前往患者的诊所，而这是临床医学所必需的。长时间使用 VR 耳机会导致头痛、头晕、恶心和视力问题，尤其是近视。虚拟平台使

用范围的扩大危及用户的网络安全，并增加了平台上各种诈骗的发生率。

通常，使用元宇宙等新技术会带来说服受众的挑战。最近的研究表明，提供有关元宇宙的信息可以提高医护人员使用这项新技术进行患者检查、学生教育和测试的能力。此外，学生对使用元宇宙技术的兴趣很大程度上受到使用乐趣、创新性、易用性、通过元宇宙的视觉呈现将学习变成乐趣以及感知有用性的影响。同样，学生使用虚拟实境技术的倾向很大程度上受到其使用乐趣、创造力、用户友好性和感知实用性的影响。

为了保证虚拟世界的实用性和有效性，需要考虑其开发所涉及的人力成本。Delshad 等人进行的一项研究。探索使用 VR 疗法来管理患者的疼痛，发现虽然这些技术可以减轻医院的一些财务义务，但它们也会产生额外的费用。此外，良好的数据安全和保护、用户友好的环境、增加年轻人使用笔记本电脑的机会以及准备使用这项新技术的说明可能会提高其功效。区块链技术可以为用户提供一个安全可靠的环境。该技术的不变性、可追溯性和透明性等特性是医疗保健系统中使用的数据无法访问的安全因素，并且通过提供安全的环境，患者使用该技术的信心会增加。

总之，元宇宙可以显著影响医学教育和医疗保健系统。元宇宙有潜力通过提供增强的学习体验、远程医疗、改善患者护理和克服地理障碍来彻底改变医学教育和医疗保健系统。它可以提供沉浸式学习体验、改善医疗培训、加强患者护理并推进医学教育。此外，使用这项新技术来刺激教育工作者的条件可能会减少医疗错误并提高他们的批判性思维。然而，必须解决实施元宇宙的挑战和局限性，以确保其在医学教育和医疗保健环境中的成功采用。考虑到元宇宙的伦理问题、挑战和局限性，应编写在医疗保健系统和医学教育中使用该技术的说明。根据我们的研究结果，未来的研究应侧重于提高用户友好性、低成本设备、可用性、学生参与度以及将元宇宙技术纳入医疗保健环境，同时解决保密性、保护和伦理审议问题。

***注：原文和译文版权分属作者和译者所有，若转载、引用或发表，请标明出处。**