

生物医学工程（BME）视角调查分析：人工智能（AI）与扩展现实（XR）

Zarif Bin Akhtar^{1*}, Ahmed Tajbiul Rawol²

¹Department of Engineering, University of Cambridge, Cambridge CB2 1TN, UK

²Faculty of Science and Technology, Department of Computer Science, American International University-Bangladesh (AIUB), Dhaka 1229, Bangladesh

【摘要】人工智能（AI）与扩展现实（XR）的结合预示着生物医学工程（BME）领域新时代的到来，为创新、诊断、治疗和教育提供了许多前所未有的途径。本研究探索了 AI、XR 和 VR 之间的协同关系，揭示了它们共同变革医疗实践的可能性。AI 凭借其学习和适应能力，已超越其在数据分析领域的诸多应用，成为医疗保健领域的重要工具。通过先进的算法，AI 可以预测各种疾病模式、增强医学成像并优化治疗方案。XR 技术，包括虚拟现实（VR）、增强现实（AR）和混合现实（MR），将用户沉浸在虚拟环境中，促进互动式和体验式学习及治疗方法。本研究还重点探讨了 AI、XR 和 VR 在生物医学应用中的整合，阐明了它们在诊断、治疗和培训中的作用。人工智能驱动的分析增强了医学成像，加快了疾病识别并跟踪了治疗进展。XR 凭借其沉浸式特性，使外科医生在手术过程中能够获得非常详细的解剖学信息，并通过引人入胜的模拟辅助康复。AI、XR 和 VR 的协同结合也重新定义了医学教育，为医疗从业者提供了沉浸式的培训体验，弥合了理论与实践之间的差距。随着这些技术的不断发展，伦理考量和挑战也随之而来。在这种动态格局下，隐私问题、数据安全以及监管框架的需求至关重要。在创新与患者安全之间取得适当的平衡仍然是一项至关重要的任务。在本研究中，从生物医学工程的角度来看，AI、XR 和 VR 的融合具有彻底改变医疗信息学的潜力。随着 AI 不断改进诊断和治疗策略，AR、XR 和 VR 为沉浸式体验提供了一个可感知的平台，可以增强培训和治疗干预。这项研究探索了这种变革性融合的前景，并阐明了其对 BME 和全球患者健康的深远影响。

【关键词】人工智能（AI）；增强现实（AR）；生物医学工程（BME）；计算机视觉；扩展现实（XR）；深度学习（DL）；机器学习（ML）；虚拟现实（VR）

【收稿日期】2025 年 3 月 23 日

【出刊日期】2025 年 4 月 23 日

【DOI】10.12208/j.beb.20250001

A Biomedical Engineering (BME) Perspective Investigation Analysis: Artificial Intelligence (AI) and Extended Reality (XR)

Zarif Bin Akhtar^{1*}, Ahmed Tajbiul Rawol²

¹Department of Engineering, University of Cambridge, Cambridge CB2 1TN, UK

²Faculty of Science and Technology, Department of Computer Science, American International University-Bangladesh (AIUB), Dhaka 1229, Bangladesh

【Abstract】 The conjunction of Artificial Intelligence (AI) and Extended Reality (XR) has foreshadowed a new era within the field of Biomedical Engineering (BME), offering many unprecedented avenues for innovation, diagnostics, treatment, and education. This research exploration delves into the synergetic connection between AI, XR, and VR, unscrambling their collective probability to reform healthcare practices. AI, considered by its ability to learn and adapt, has surpassed its role within many domains of data analysis to become a vital tool in healthcare. Through advanced algorithms, AI can predict various types of disease patterns, enhance medical imaging, and optimize treatment protocols. XR technologies, encompassing of Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), and

*通讯作者: Zarif Bin Akhtar

注: 本文于 2024 年发表在 Engineering Advances 期刊 4 卷 3 期, 为其授权翻译版本。

Mixed Reality (MR), immerse users into virtual environments, facilitating interactive and experiential learning and treatment methods. This research investigation also focuses on the study that inspects the integration of AI, XR, and VR in biomedical applications, illuminating their role in diagnosis, treatment, and training. The AI-driven image analysis augments medical imaging, expediting disease identification and tracking treatment progress. XR, through its immersive nature, empowers surgeons with a very detailed anatomical insight during procedures and aids within rehabilitation through engaging simulations. The synergistic matrimonial of AI, XR, and VR also redefines medical education by offering immersive training experiences to healthcare practitioners and bridging the gap between theory and practice. Ethical considerations and challenges emerge as these technologies continue to evolve. Privacy concerns, data security, along the need for regulatory frameworks are paramount in this dynamic landscape. Conspicuous for the right balance between innovation and patient safety remains an imperative task. In the context of this research, the fusion of AI, XR, and VR from a biomedical engineering perspective holds the potential to revolutionize healthcare informatics. As AI refines diagnostics and treatment strategies, AR, XR, and VR provide a perceptible platform for immersive experiences that can enhance training and therapeutic interventions. This research navigates the landscape of this transformative convergence and shedding light on its profound implications for BME and the well-being of patients universally.

【Keywords】Artificial Intelligence (AI); Augmented Reality (AR); Biomedical Engineering (BME); Computer Vision; Extended Reality (XR); Deep Learning (DL); Machine Learning (ML); Virtual Reality (VR)

1 简介

在不断发展的医疗保健领域, 人工智能 (AI) 与扩展现实 (XR) 的融合已成为一股变革力量, 预示着生物医学工程领域的范式转变^[1]。这一跨学科交叉有望重塑医学诊断、治疗和教育的方式, 开启一个对患者护理具有深远影响的创新新时代^[2-4]。AI 与 XR 的协同作用为精准医疗和体验式学习领域带来了前所未有的机遇, 智能算法与沉浸式虚拟环境的融合有望重新定义可能性的边界^[5-7]。

本研究深入探讨了这一革命性的交叉点, 从生物医学工程的角度进行了全面的探索, 揭示了这些尖端技术交汇时出现的复杂性、潜力和挑战^[8-10]。本研究采用精心设计的混合方法, 既包括对人工智能算法性能的定量分析, 也包括对生物医学工程应用设备外围视角的定性研究, 旨在阐明如何利用人工智能和扩展现实 (XR) 的协同力量来塑造未来的医疗服务和教育。随着人工智能发展成为强大的诊断工具, 扩展现实 (XR) 成为沉浸式学习平台, 它们对生物医学工程的影响必将具有革命性, 引发一波超越传统医疗实践界限的进步浪潮。

2 方法与实验分析

本研究采用混合方法, 从生物医学工程的角度探索人工智能 (AI) 与扩展现实 (XR) 的交叉融合。定量分析包括利用最先进的 AI 算法分析医学影像

数据集, 评估其诊断准确性和治疗优化能力。定性研究则包括从各类医疗专业人士收集信息数据, 并面向更广泛的受众开展调查, 以深入了解 AI 和 XR 在医疗保健领域整合的实际意义和挑战。实施过程包括使用机器学习技术开发 AI 算法, 以及使用相关软件工具创建 XR 应用程序。接下来, 数据分析包括对 AI 算法性能的定量评估, 以及对各种信息数据收集和调查回复进行定性主题分析。之后, 所有伦理考量也通过适当的知情同意程序和数据隐私措施得到解决。本研究旨在促进理解 AI 和 XR 之间的协同作用如何重塑生物医学工程实践, 同时承认数据集可用性和算法偏差等潜在限制。

首先, 让我们从人工智能 (AI) 开始。人工智能 (AI) 代表机器和软件系统所展现的智能, 它区别于人类和动物的智能。AI 的应用领域非常广泛, 包括谷歌搜索等先进的网络搜索引擎、YouTube、亚马逊和 Netflix 等平台使用的推荐系统、Siri 和 Alexa 等语音识别技术、Waymo 等自动驾驶汽车、ChatGPT 和 AI 生成艺术等生成工具, 以及在国际象棋和围棋等战略游戏中的卓越表现。

人工智能作为一门学科的起源可以追溯到 1956 年。其历史轨迹经历了一段乐观的循环, 随后是幻灭和资金减少的时期。然而, 在 2012 年之后, 由于机器学习和深度学习技术的成功超越了之前的人工

智能方法,该领域经历了一次复苏,带来了大量资金的涌入和人们日益增长的兴趣。人工智能研究涵盖了一系列子领域,每个子领域都专注于特定的目标并采用独特的方法。传统上,人工智能研究围绕推理、知识表示、规划、学习、自然语言处理、感知和机器人支持等目标展开。人工智能的首要目标之一是实现通用智能,即能够解决各种问题的能力。实现这些目标需要整合各种问题解决技术,包括搜索算法、数学优化、形式逻辑、人工神经网络以及统计、概率和经济学方法。人工智能并不局限于计算机科学,而是从许多学科的广泛领域中汲取见解和灵感,涵盖心理学、语言学、哲学、神经科学和其他各个领域。

这种多学科方法凸显了人工智能演进及其在机器中实现类人智能的历程的复杂性和互联性^[1-15]。接下来,让我们深入探讨生物医学工程(BME)。生物医学工程(BME),也称为医学工程,是一个充满活力的领域,它将工程原理和设计理念应用于医学和生物学领域,其主要目标是通过诊断、治疗和患者护理来推进医疗保健。这门跨学科不仅利用工程专业知识,还融合逻辑科学,设计出创新解决方案,从而改善医疗治疗和疗效。生物医学工程师的职责多种多样,涵盖医疗环境中医疗设备的管理,同时确保遵守行业标准。这涉及设备采购、常规测试、预防性维护以及提供设备改进建议等任务,这类职位通常被称为生物医学设备技术员(BMET)或临床工程^[16-20]。生物医学工程已发展成为一个独特的领域,从一个跨学科专业领域转变为一个独立的领域。这一演变过程与许多新兴学科的发展轨迹相呼应。生物医学工程的核心活动围绕研发展开,涵盖众多子领域。这些子领域涵盖了医疗器械创新、生物相容性假体、诊断工具、从宏观临床设备到微型植入物的治疗设备、广泛使用的成像技术(如核磁共振成像(MRI)和心电图(EKG/ECG)机)、再生组织生长的探索以及药物和治疗性生物制剂的进步^[21-23]。本质上,生物医学工程是连接前沿工程原理和错综复杂的医疗保健领域的桥梁。该领域的发展轨迹融合了创新、技术和生物学,旨在创造能够增强患者护理、更准确地诊断疾病并设计出新颖治疗方法的解决方案。生物医学工程的广泛应用凸显了其对现代医学的深远影响及其在塑造未来医疗保健服务方面发挥的关键作用^[24,25]。

现在让我们深入探讨 XR 的本质。扩展现实(XR)主要指增强现实(AR)、虚拟现实(VR)和混合现实(MR)领域。这项技术的主要目的是将物理世界与“数字孪生世界”相结合或镜像,使用户能够与其环境进行交互。自 2010 年以来,虚拟、增强和混合现实(VR、AR 和 MR)设备的开发和应用激增,已成为一个重要趋势,其应用领域涵盖商业、教育和生物医学领域。虚拟现实的概念起源于 19 世纪,但由于硬件和计算机图形学的进步,它在 20 世纪 90 年代才开始流行。然而,笨重的头戴式设备、缓慢的计算机以及晕动病等副作用等技术限制阻碍了它在 21 世纪初的发展^[26-28]。近年来,人们对 VR 技术的兴趣再次高涨。Oculus Rift、谷歌、HTC、Valve 和三星等现代 VR 设备提供了更广阔的视野、更高的帧率,并有效减少了晕动症。除了 VR,增强现实(AR)和混合现实(MR)体验也蓬勃发展。

微软 HoloLens 是一款开创性的 MR 设备,于 2016 年推出,实现了不受束缚的混合现实体验。随着 2016 年《精灵宝可梦 GO》等游戏的发布,增强现实(AR)变得更加普及。然而,由于成本方面的考虑,AR 眼镜的商业化发展受到限制。尽管这些扩展现实(XR)设备广受欢迎,但全面分析其对生物医学、外科和医学教育的影响仍然十分必要。本研究通过定义 VR、AR 和 MR 的概念和功能来填补这一空白。它重点介绍了 XR 在生物医学领域的当前趋势,包括可视化、临床护理和研究。文中举例说明了 XR 在交互式教育平台中的应用,并提供了展示其应用的案例研究^[29-36]。本研究还探讨了现有 XR 平台面临的挑战、复杂性和成本。这份全面的概述旨在让生物医学和医疗专业人士了解 XR 技术的潜力,为该领域的交互式教育和探索项目开辟道路。随着 XR 设备继续塑造医疗保健和教育领域的格局,了解其功能和应用对于有效利用其优势至关重要。

扩展现实(XR)技术与医疗领域的融合带来了大量机遇,彻底改变了医疗保健实践,并以多种方式使医疗专业人员受益。这种转变体现在外科医生在做出关键决策之前收集关键信息所需的时间减少。XR 解决方案通过将外科医生沉浸在相关数据中,有可能增强手术室内的决策能力^[34-36]。此外,XR 的应用范围还扩展到培训新医务人员,帮助他们了解患者病情,从而提供更具同理心和更有效的护理。XR 在医疗保健领域的应用多种多样,并在各种

回顾中产生了深远的影响。为了更好地理解其概念和功能,图1提供了相关的可视化表示。

患者理解与疼痛缓解: XR 有望通过让患者在治疗过程中沉浸在虚拟体验中来减轻疼痛。例如,虚拟现实游戏已被设计用于在治疗过程中吸引癌症患者的注意力,分散他们的注意力并缓解不适。通过让医生体验与患者相似的体验, XR 能够增强医生的同理心和信任感,从而改善医患关系。

外科手术训练与模拟: 沉浸式技术在培训医疗专业人员进行外科手术方面发挥着关键作用。利用 XR 开发的外科手术模拟器,使医护人员无需活体患者、尸体或动物即可练习外科手术。此类模拟器为外科医生提供了一个安全的环境,让他们能够在实际手术前磨练技能和技巧。此外,基于患者图像生成的 3D 模型,结合 XR 沉浸式头显,使外科医生能够更有效地可视化和规划复杂的手术。

术前准备: XR 在医疗保健领域,尤其是在手术培训和规划方面,开辟了无限可能。基于患者数据创建的逼真 3D 模型,可帮助外科医生熟悉复杂的解剖结构并练习手术操作。沉浸式 XR 平台还可以促进外科医生之间的协作,使他们能够更高效地规

划和讨论手术方案。外科医生可以通过 XR 应用体验手术器械的触觉,从而增强术前准备。

医学教育与培训: XR 在医学教育中的影响巨大,它使医学生和医生能够探索人体解剖学精准的 3D 模型。基于 XR 的教育应用程序通过提供沉浸式环境来观察复杂的解剖细节并练习外科手术技能,从而增强学习体验。这种沉浸式学习方法使医疗专业人员能够更深入地了解各种系统,并提升他们的外科手术专业知识。

诊断与健康评估: XR 应用可让医疗专业人员扫描患者身体并实时识别健康问题,从而彻底改变患者诊断方式。这些技术利用 3D 模型和沉浸式体验来检测疾病、骨折甚至癌症。患者可以通过 XR 程序创建的分步可视化效果,了解即将进行的手术。XR 技术在医疗领域的应用代表着医疗保健实践的变革性转变。

通过促进沉浸式培训、精准诊断、增强患者理解以及协作式手术规划, XR 有可能重塑医疗专业人员与数据、患者和手术流程的交互方式。随着 XR 应用的不断发展,其集成有望提升医疗保健、教育和患者治疗效果的标准。

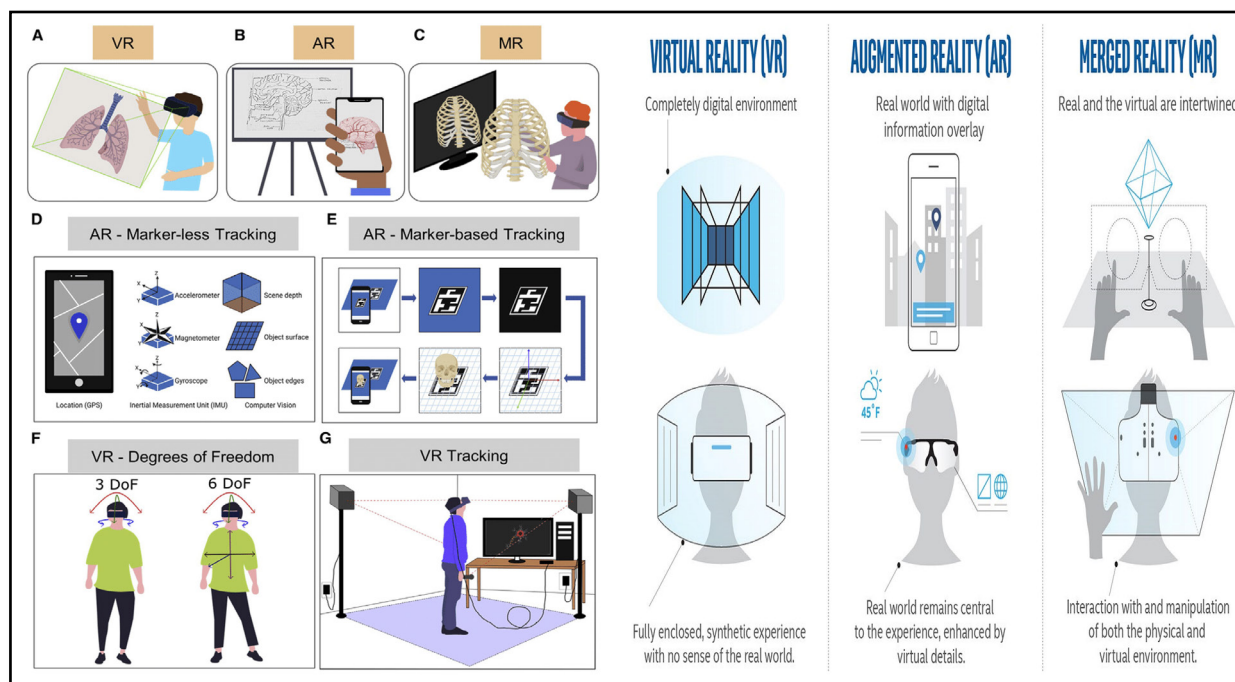


图1 医疗系统中 XR 的视觉表示

2.1 人工智能(AI)-扩展现实(XR)应用的进步和创新

人工智能(AI)与扩展现实(XR)的融合催生了众多应用,涵盖医疗培训、武装部队训练、游戏、

机器人技术和高级可视化等各个领域。在每一个领域, AI 与 XR 的融合都带来了变革性的机遇和解决方案, 解决了各种挑战, 并提升了用户体验。图 2 以直观的设计视图和图表形式展示了 AI-XR 的适用性及其全球统计数据。

医疗培训: 人工智能(AI)与扩展现实(XR)的结合, 为医疗培训开辟了新的维度。XR 提供沉浸式、无风险的环境, 帮助受训人员完成外科手术等任务。为了充分利用 XR 数据的潜力并评估用户技能, AI 技术应运而生。通过从 XR 生成的数据中提取和选择特征, AI 算法可以客观地评估用户的表现, 从而提高培训效果。这些技术的结合催生了虚拟患者的诞生, 使医学生能够在自然的互动中练习诊断访谈技巧。

武装部队训练: 人工智能在交互式虚拟环境中扮演代理角色, 重新定义了武装部队训练。人工智能代理旨在挑战参与者的技能水平, 并相应地调整其行为。利用高斯过程贝叶斯优化技术, 人工智能代理可以通过与智能对手的互动来提升其性能。这种在扩展现实(XR)环境中的人工智能与人工智能(AI-AI)交互能够实现有效的武装部队训练, 帮助参与者为动态场景做好准备。

游戏应用: AI-XR 协同效应彻底改变了游戏领域, 使 AI 代理能够参与《星际争霸 II》和《Dota2》等复杂游戏。这些应用提供了极具挑战性的环境, 可以快速训练和测试 AI 算法。此外, AI 代理已成

为游戏环境中不可或缺的非玩家角色, 与用户进行互动。尽管面临非自适应 AI 对手等挑战, AI-XR 的结合仍在不断突破游戏体验的界限。

机器人与自动驾驶汽车: 人工智能(AI)与扩展现实(XR)的融合解决了机器人设计和自动驾驶汽车训练中的挑战。从传感器数据中提取特征并建模与环境的交互是一项艰巨的任务。虚拟环境为训练人工智能提供了一种经济高效的解决方案, 使机器人和自动驾驶汽车能够在没有先验知识的情况下学习复杂的任务。扩展现实(XR)中的强化学习(RL)技术使人工智能驱动的机器人和汽车能够在现实世界中蓬勃发展。

高级可视化: AI-XR 集成扩展至高级可视化, 增强了对复杂结构和系统的理解。AI 驱动的成像算法通过自动可视化目标结构来优化 XR 显示。这种协同作用促进了医疗应用中复杂解剖结构的可视化, 甚至支持深度学习结构可视化。AI 驱动的算法与 XR 平台的结合丰富了高级可视化, 使其更加易于理解和直观。AI 与 XR 的协同作用推动了各行各业的广泛应用。医疗培训受益于 XR 的沉浸式环境, 武装部队训练通过 AI-XR 交互获得适应性, 游戏体验因 AI 代理而丰富, 机器人和自动驾驶汽车在经济高效的虚拟环境中进行训练, 而高级可视化则通过 AI 增强的 XR 显示变得更加易于实现。AI 与 XR 的融合不断重新定义各种可能性, 塑造这些领域的格局, 并为创新进步奠定基础^[37,38]。

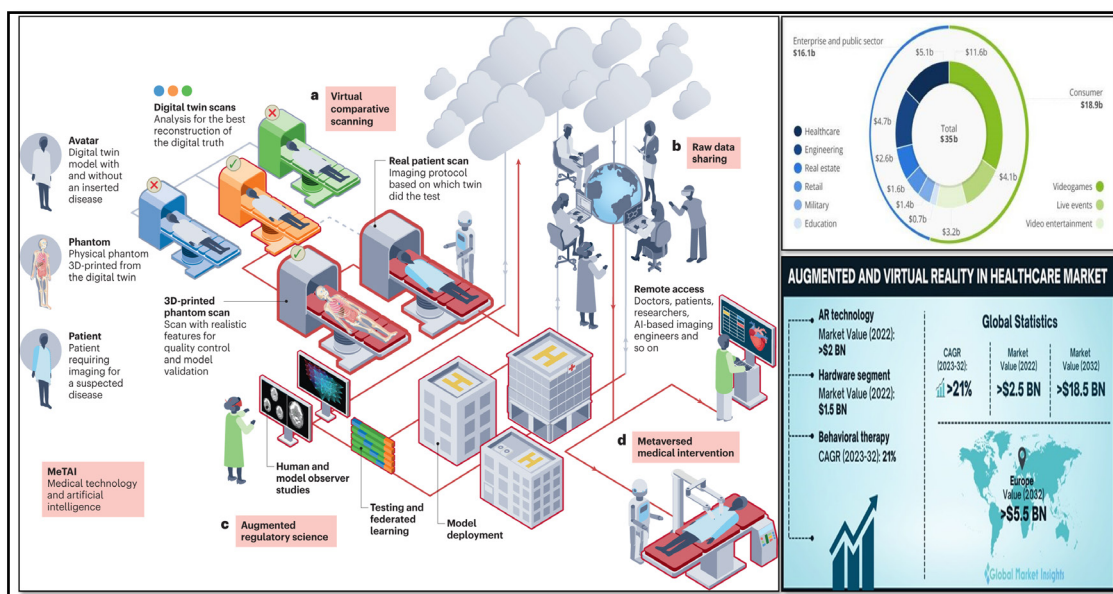


图 2 AI-XR 适用性和全局统计数据的插图设计视图

2.2 各类医疗专业人士对 AI-XR 的概述

“医疗保健中的扩展现实:研究与应用”的信息,深入了解了扩展现实(XR)与医疗保健的交汇,迎合了对这些领域融合感兴趣的读者。虽然审阅者主要包括扩展现实技术专家、生物医学工程师、仪器仪表和测量专家、计算机科学家以及医疗保健专业人士,但本书内容与深入介绍 XR 及其在医疗保健领域潜力的承诺是否一致,因读者的不同而有所差异。本书包含 15 个类别,由 34 位来自不同领域的人士检索,其中两位来自四大医学领域。最初的几篇概述了 XR 的基本概念,包括虚拟现实(VR)、增强现实(AR)和混合现实(MR),以及它们的应用和平台。对这些技术的概述为后续的使用和适用性奠定了基础。接下来,几篇针对 XR 临床应用的具体文章深入探讨了心理健康、疼痛管理和物理治疗等广泛领域。然而,一些观众似乎缺乏与该概念核心主题的直接联系。例如,会议虽然涵盖了创新远程医疗系统的讨论,但与 XR 在医疗保健领域的应用有时却显得无关紧要。对远程医疗历史及其在新冠疫情期间日益凸显的作用的概述,似乎与 XR 的重点脱节。

一些专家提供了宝贵的见解,尤其是在 XR 的潜力与医疗保健需求紧密契合的领域。许多人正在讨论 XR 对患者康复、健康和临床技能发展的影响,尽管这些讨论仅基于现有文献和专利,但专家们对 XR 的应用进行了更详细的探讨。此外,专家们还阐述了虚拟现实在医学教育和以患者为中心的教育中的作用,强调了该技术在沉浸式和互动式学习体验方面的潜力。少数专家偶尔也会深入探讨新兴技术,例如 XR 与人工智能(AI)的融合,以增强远程医疗和培训。XR 在智能医疗系统中的演变和贡献方面的专家,全面探讨了 XR、AI 和以数据为中心的医疗保健方法之间的协同作用。他们还提到,与该技术的总体主题相一致,展示了 XR 在创建智能医疗解决方案中的作用。虽然有些人可能被认为与主题无关,但广泛的参与者最终提供了关于 XR 在医疗保健领域潜力的多种视角。讨论涵盖了从临床应用和患者健康到医学教育以及其他领域。尽管偶尔会有偏差,但这些信息对于想要了解 XR 与医疗保健之间日益增长的关系的读者来说仍然很有价值,尤其是在探索 XR 与 AI、数据分析和不断发展的医疗保健范式的融合时。

2.3 生物医学工程(BME)VR-AR:案例研究分析及其相关成本

所提供的案例研究全面探索了扩展现实(XR)在各种生物医学应用中的集成,展示了 XR 技术在医疗保健领域的多功能性和潜力。

案例研究 1 重点介绍了 XR 在单细胞内复杂蛋白质图像可视化中的应用。头戴式显示器(HMD)和 VR 应用的结合为沉浸式 3D 可视化提供了平台。Confocal VR 是由 Immersive Science 开发的一款软件,它能够帮助用户通过沉浸式可视化了解细胞结构和蛋白质分布。该研究采用了通过对细胞标记物进行多重成像获得的 3D 亚细胞共检测(CODEX)图像。高分辨率 CODEX 数据集通过 Confocal VR 进行可视化,从而加深了对细胞结构和分布的理解。

案例研究 2 深入探讨了增强现实(AR)在神经外科手术规划和执行中的应用。AR 的潜力体现在术前血管神经解剖结构的可视化,旨在改善头部、颈部和脊柱介入治疗的效果。一个示例侧重于脊柱固定,其中采用了增强现实手术导航(ARSN)技术进行螺钉置入。该研究结果表明,基于 AR 的导航技术可以提高螺钉置入的准确性,并降低皮质骨缺损的比例,从而提高脊柱固定手术的精准度。

案例研究 3 展示了一个涉及基于虚拟现实(VR)的复杂心脏修复手术技术的案例。在本案例中,VR 技术被用于可视化一位患有心力衰竭和先天性心脏畸形患者的复杂心脏解剖结构和手术策略。VR 环境允许外科医生操纵典型和改变的解剖结构的计算模型,从而增强空间理解能力并规划手术干预。该案例展示了 VR 如何成为复杂手术场景中宝贵的规划工具。

案例研究 4 介绍了如何在教育环境中使用 Google Cardboard 作为一种经济高效的 VR 体验方式。本案例展示了如何使用 Google Cardboard(一款适用于智能手机的简易 VR 查看器)创建多种沉浸式学习环境。案例研究 4 的实验涉及使用 Google Cardboard 观看一段描绘植物细胞内细胞器的 360 度视频,为学习者提供引人入胜且富有教育意义的体验。为了便于理解调查分析,图 3 以可视化的方式展示了进行探索性研究所涉及的案例研究及其设计图。总的来说,这些案例研究强调了 XR 在医疗保健领域的广泛适用性,从可视化细胞结构到增强手术计划和医学教育。这些应用的多样性凸显了 XR 在

医疗保健行业各个方面带来革命性变革的潜力，它能够提供更佳的可视化效果、更佳培训和更精准的程序。扩展现实(XR)技术在生物医学应用中的实施涉及各种复杂性和成本。实现方法的多样性使其能够灵活地适应各种需求和资源。在更易于获取的方面，可以选择使用 Google Cardboard 硬件搭配 Blender 等开源软件。这种组合使具有基本编程/脚本技能的用户也能打造价格合理的 VR 体验。

相反，复杂度和成本更高的专用 XR 平台，针对特定医疗应用量身定制，可能需要大量投资，通常高达数十万美元。为了方便在多样化的 XR 实施环境中进行探索和决策，图 4 提供了非常有用的商用解决方案概览。数据按成本类别划分：无/低成本、专业/消费者和专业/商用。

每个成本类别又细分为三种实施类型：纯软件、纯硬件以及包含硬件和软件组件的完整平台解决方案。此分类系统使个人和组织能够找到符合其特定需求和可用资源的 XR 解决方案。无论您是寻求经济实惠的 XR 技术入门方案，还是寻求先进全面的解决方案，此图都可以作为探索和比较各种方案的起点。

根据所选方案，可能需要编程和 3D 建模等特定技能，这强调了选择既符合技术能力又符合预期结果的方法的重要性。本质上，设计图中概述的一系列 XR 实施策略凸显了这些技术的普及潜力。从经济实惠且可进行适度定制的方案到专为专业 and 医疗应用设计的复杂平台，XR 提供了丰富多样的解决方案，可根据生物医学领域的独特需求进行定制。

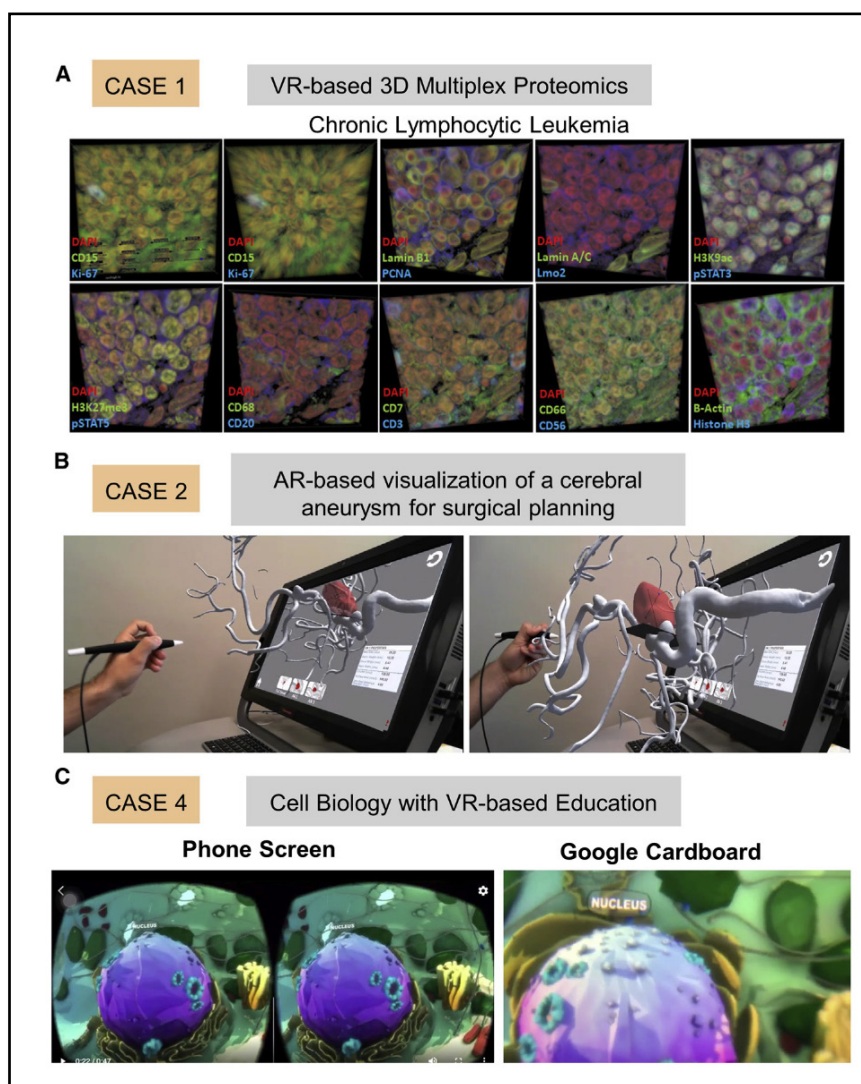


图 3 案例研究分析的直观表示

Type	XR type	Product name	Company	Information	Prosumer solutions					Production/commercial solutions				
No-cost to low-cost solutions					Software	VR	DICOM2Print	3DSystems	utilizes a VR or MR HMD	Software	MR	SyngoVia	Siemens	utilizes Microsoft HoloLens
Software	AR/VR/MR	Unity ^{a,b}	Unity Technologies	requires programming knowledge or additional software packages to develop/implement biomedical solutions	Hardware	VR	Vive ^b	HTC	requires programming knowledge or additional software packages to develop/implement biomedical solutions	Hardware	N/A	none readily identifiable	N/A	N/A
	AR/VR/MR	Unreal ^{a,b}	EPIC Games	requires programming knowledge or additional software packages to develop/implement biomedical solutions		VR	Oculus hardware ^b	Facebook	hardware at time of publication includes Oculus Quest, Quest 2, and Rift	Platforms	MR	True 3D	EchoPixel	utilizes zSpace monitor
						VR	Reverb ^b	HP	requires programming knowledge or additional software packages to develop/implement biomedical solutions		VR	PrecisionVR	Surgical Theater	platform service includes on-site VR specialist
	AR/VR/MR	WebXR Device API ^b	Immersive Web Working Group at the W3C	requires programming knowledge or additional software packages to develop/implement biomedical solutions		VR	Index ^b	Valve	requires programming knowledge or additional software packages to develop/implement biomedical solutions		VR	SimX	SimX	platform is intended for simulation/training.
	AR/VR	Sketchfab ^{a,b}	Sketchfab	no programming experience needed		AR	Google Glass ^b	Google	requires programming knowledge to develop/implement biomedical solutions	This illustrates the commercially available solutions for XR technologies. The value is stratified initially by start-up cost and secondarily by whether the product is software, hardware, or a platform (a combination of hardware and software). The list is not intended to be exhaustive. Currently, a no-cost to low-cost solution is below \$200 for an initial investment. Production/commercial solutions exceed \$5,000 (often the limit for organizations' capital investment cost).				
	AR/VR/MR	Blender ^b	Blender Foundation	benefits from programming and 3D modeling experience		AR	Apple Glasses ^b	Apple	requires programming knowledge to develop/implement biomedical solutions					
	MR	HoloAnatomy	Case Western Reserve University	no cost for software but requires Microsoft HoloLens		MR	zSpace ^b (monitor)	zSpace	requires programming knowledge or additional software packages to develop/implement biomedical solutions; NB (note well): the zSpace product does include software at acquisition but cannot readily be used for biomedical solutions	a Cost is affected by the type of license (i.e., personal versus commercial use). b The Solutions are not designed nor marketed solely for any biomedical use. Implementations can be created that target biomedical and medical applications.				
Hardware	VR	Google Cardboard (or do it yourself [DIY] Viewer) ^b	Google/DIY	requires programming knowledge or additional software packages to develop/implement biomedical solutions	Platforms	VR	Enduovo	Enduovo	Platform is compatible with SteamVR tracking-based VR systems (e.g., Vive, Vive Pro, and Valve Index), Windows MR VR systems, and Oculus VR systems					
	VR	Gear VR ^b	Samsung	requires programming knowledge or additional software packages to develop/implement biomedical solutions		VR	Ethics	Realize Medical	Platform is compatible with SteamVR tracking-based VR systems (e.g., Vive, Vive Pro, and Valve Index), Windows MR VR systems, and PC-based Oculus VR systems					
Platforms	N/A	None readily identifiable	N/A	N/A										

图4 成本分析表示

2.4 AI-XR-VR 系统面临的挑战类型

扩展现实(XR)在生物医学应用中的集成伴随着各种技术挑战,需要解决这些挑战以确保这些技术的有效性和可靠性^[39,40]。计算限制、追踪问题以及增强用户交互是首要关注的问题。由于计算带宽有限,XR体验可能会出现延迟,在使用沉浸式头戴式显示器(HMD)时可能导致与物理对象发生碰撞。此外,基于位置的增强现实(AR)系统可能会遇到定位不准确的问题,导致虚拟世界和物理世界之间出现错位。为了提高XR的可靠性,人们正在努力改进追踪、计算和交互等方面。虽然XR潜力巨大,但随着这些技术的普及,需要解决隐私、安全和道德方面的重大问题。在移动AR应用中,未经授权访问摄像头和GPS可能会泄露隐私,从而对用户数据和体验构成风险^[40]。麦克风和GPS等输入传感器的复杂性引发了对潜在安全漏洞的担忧。在协作式XR环境中,知识产权盗窃和身份操纵是需要关注的薄弱环节。混合现实(MR)系统也面临着一系列挑战。实现图像采集组件、计算机视觉、追踪、图像融合和显示的无缝集成至关重要,但过程复杂。必须管理每个组件内的计算复杂性和延迟,以确保实时性能,尤其是在医疗应用中。MR眼镜的视场(FOV)也是一个考虑因素,因为较窄的视场会限制这些系

统的可用性。内存存储和能耗是需要实时3D图形渲染的移动MR设备的瓶颈。在虚拟现实(VR)领域,仍然存在一些挑战。硬件修改和更新通常会导致内容兼容性问题,从而影响VR体验的一致性。开发高质量的VR内容耗费资源且耗时,而用户体验取决于精心设计的硬件。然而,VR设备也可能引起晕动病、眼疲劳和恶心等副作用。此外,由于VR沉浸式体验和孤立感,人们越来越担心其成瘾的可能性,尤其是在青少年群体中。这种现象会对身心健康产生负面影响。在教育领域,VR和AR的推广也面临诸多挑战。缺乏专注力、掌握技术的时间有限、高昂的实施成本以及稳定的互联网连接等基础设施挑战,都可能阻碍这些技术在课堂上的有效整合。

虚拟环境可能需要空间导航技能和技术素养,这对年龄较小的学生来说尤其具有挑战性。尽管存在这些挑战,VR和AR在教育领域仍越来越受欢迎。解决这些技术、隐私、安全和伦理挑战,对于XR技术在生物医学应用领域的持续发展和成功实施至关重要^[41-44]。这需要研究人员、开发者和政策制定者的共同努力,确保这些技术为医疗保健、教育等领域提供安全、有效且符合伦理的解决方案。

2.5 人工智能革命对医疗信息系统的影响

人工智能(AI)涵盖多种技术,每种技术都与

医疗保健领域息息相关。这些技术支持不同的流程和任务,提供广泛的应用^[37-50]。机器学习,包括神经网络和深度学习,是人工智能的一种常见形式。它利用数据训练模型,以进行预测和决策。在医疗保健领域,机器学习应用于精准医疗,根据患者属性和背景预测治疗成功率。神经网络和深度学习是更复杂的机器学习形式,用于疾病预测和放射图像分析等任务。自然语言处理(NLP)是另一个人工智能领域,专注于理解人类语言。它涉及统计和语义方法,辅助临床文档分析和转录等任务。基于规则的专家系统虽然用于临床决策支持,但正在被机器学习等数据驱动的方法所取代。物理机器人的协作性和智能化程度日益提高,应用于包括外科手术在内的各种场景。机器人流程自动化(RPA)涉及用于行政管理的结构化数字任务,可提高索赔处理和计费等领域的效率。人工智能对诊断和治疗的影响巨大。早期的人工智能系统基于规则,但机器学习、深度学习和大数据领域的最新发展已带来基于概率和循证的诊断和治疗预测。谷歌等人工智能技术提供商和初创公司正专注于人工智能驱动的诊断和治疗应用,而基于基因组的精准医疗也日益受到关注。然而,将人工智能与临床工作流程和电子健康记录(EHR)系统整合仍然是一项挑战。患者参与度和依从性受益于人工智能、个性化和情境化护理。机器学习和业务规则可用于提供细致入微的干预措施,从而增强患者参与度。人工智能的管理应用包括用于理赔处理的机器人流程自动化、用于交互的聊天机器人以及用于理赔和支付管理的机器学习。

3 结果和发现

人工智能应用的快速扩张迫切需要制定全面的指导方针和伦理框架,以规范其在研究、临床实践和公共卫生领域的多方面应用。虽然现有法规可能无法涵盖人工智能应用的全部领域,但仅仅依靠既有的监管机制可能无法确保公众的信任和问责。为了应对所有这些挑战,一种名为 AFIRRM(评估、预见、创新、监管、责任和监测)的系统性监督方法已被提出,作为可能的解决方案的治理蓝图。在人工智能驱动的研究领域,这需要纳入伦理审查委员会的反思性评估,以评估其科学和社会影响,并可能引入社会科学家等新的专业人士。研究资助者可以要求将监测机制作为研究计划的一部分,并建立多学科委员会进行定期评估。对于涉及社区数据的

大型人工智能驱动项目,必须尝试包容性实践,以确保在各个认知共同体中进行广泛的社会学习。在患者护理方面,临床验证至关重要^[37-49]。虽然量身定制的证据标准对于负责任的临床创新至关重要,但仅凭这些标准无法解决由此产生的一系列伦理问题。医院可以设立“临床人工智能监督机构”,就技术采用提供建议,监测其对患者旅程的影响,并确保整个护理过程的参与度。随着人工智能驱动的诊断方法日益普及,知情同意要求需要适应高度自动化的数据处理。在公共卫生领域,人工智能在疾病监测和健康促进方面提升的精细度,需要社区层面的协商,以避免权力被剥夺并维护公众信任。全社区的包容性协商对于定义可接受的数据收集和算法分析的界限至关重要。这些举措体现了将人工智能打造为一项具有社会稳健性的技术的步骤。尽管这一变革之旅充满不确定性,但鼓励包括科研和临床机构在内的社会利益相关者尝试建立治理框架,利用人工智能在知识和健康方面的益处,同时应对新出现的伦理挑战。与此同时,叙事转向了 XR(扩展现实)技术,尽管该技术已经存在数十年,但最近却引起了广泛关注。XR 应用,尤其是在生物医学工程领域的应用正在兴起。

本研究探讨了 XR 在医学和生物学领域的当前趋势。XR,尤其是 VR,有助于实现从分子结构到解剖学表现等各种尺度的 3D 模型的可视化和分析。将 XR 工具融入教育领域可以增强学习效果,例如在教学阶段教授细胞结构和解剖学。XR 还可应用于远程医疗、治疗和手术规划,实现远程咨询和治疗。尽管 XR 的潜力显而易见,但在被广泛接受之前,必须解决软件、硬件、用户体验、价格承受能力和减轻副作用等方面的挑战。该研究还探讨了 XR 技术在生物医学领域的持续进展和潜力,并承认需要克服一些障碍才能充分发挥其在公众中的应用潜力。为了理解人工智能在医疗保健领域的影响和机遇,图 5 和图 6 展示了相关问题的视觉概览。

4 讨论

人工智能将在未来医疗保健领域发挥重要作用,尤其是通过机器学习和深度学习,推动精准医疗的发展。尽管人工智能在诊断和治疗建议方面面临初期挑战,但预计这些领域也将取得卓越成就。人工智能在影像分析领域的快速发展表明,机器检查放射学和病理学图像将变得普遍。

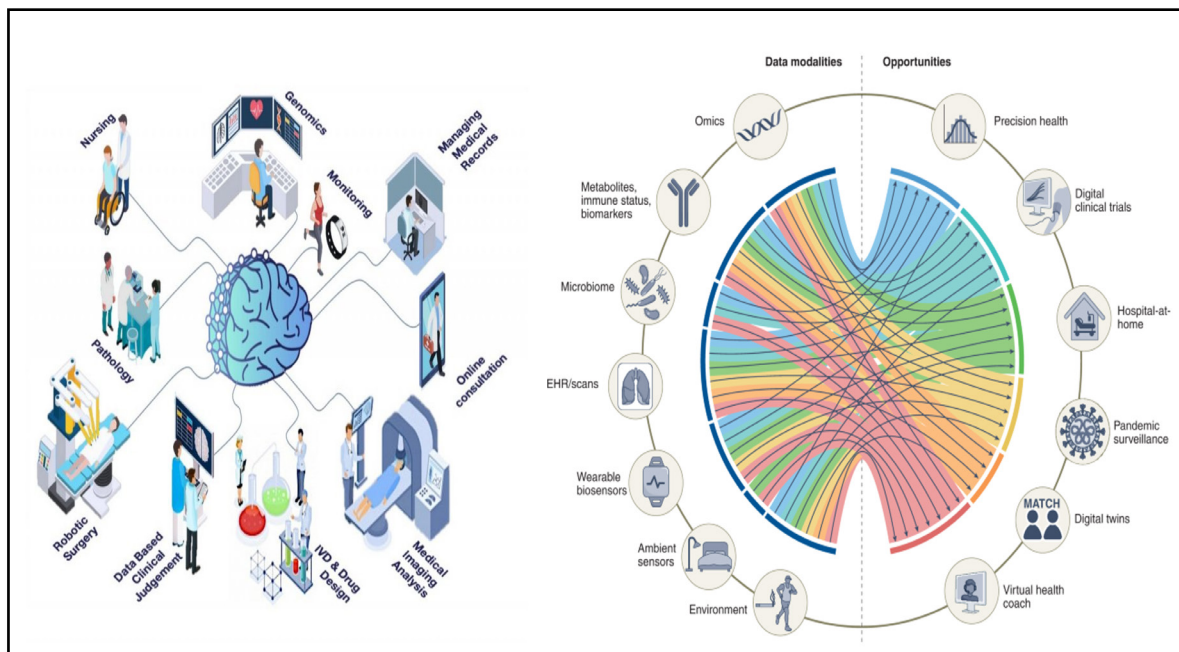


图5 研究结果的直观表示 1

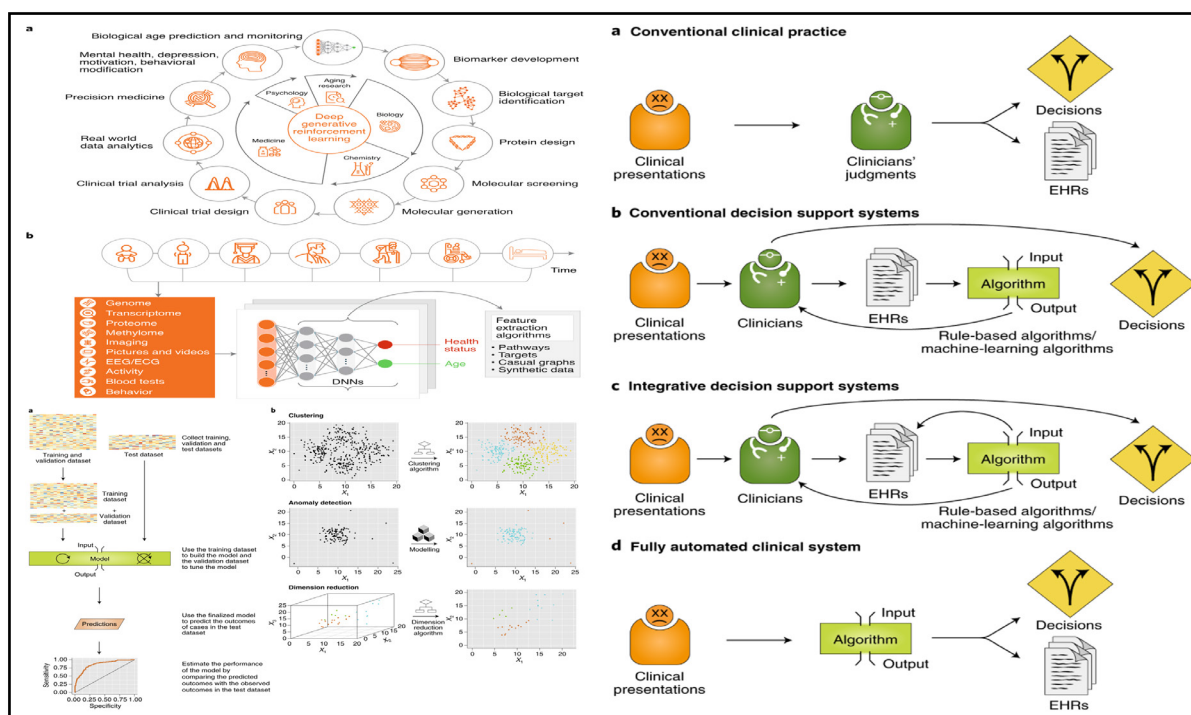


图6 研究结果的直观表示 2

语音和文本识别在患者沟通和临床记录等任务中的现有应用将得到扩展。人工智能在医疗保健领域应用的主要障碍在于如何将其融入日常临床实践。监管部门的审批、电子病历(EHR)系统兼容

性、标准化、临床医生培训、资金以及持续更新等挑战需要时间来解决。

5 结论

虽然人工智能不太可能大规模取代人类临床医

生, 但它将增强他们的工作能力, 使他们能够专注于以人为本的技能, 同时与人工智能技术协同工作。预计未来几年, 人工智能在临床实践中的应用将有限, 十年内将得到更广泛的整合。尽管 XR 技术历史悠久, 但近年来其普及率飙升, 尤其是在生物医学工程领域。尽管面临挑战, XR 应用仍在医学和生物学领域蓬勃发展。该研究还强调了 XR 在这两个领域应用的最新趋势。XR, 尤其是 VR, 用于可视化和分析从分子到解剖尺度的 3D 模型。XR 与教育的结合增强了学习效果, 从高中到大学, XR 已被用于教授生物学概念。该技术有望取代传统的医学生尸体培训, 并正在进入远程医疗和治疗领域, 为远程会诊和治疗提供支持。案例研究展示了 XR 的潜力, 包括使用 Google Cardboard 进行学习、可视化单细胞蛋白质图像以及使用 AR 和 VR 进行手术规划。虽然 XR 在生物医学中的应用日益广泛, 但必须解决软件、硬件、用户体验和可负担性方面的挑战才能实现广泛的日常使用。

参考文献

- [1] John Denis Enderle, Joseph D. Bronzino. (2012). Introduction to Biomedical Engineering. Academic Press. P. 16. ISBN 978-0-12-374979-6.
- [2] "Medical Device Regulations: Global overview and guiding principles" (PDF). World Health Organization (WHO). 2003.
- [3] "Disciplines. Countries. USA". Archived from the original on 2023-02-20. Retrieved 2023-02-20.
- [4] Goyal, Megh R. (2018-01-03). Scientific and Technical Terms in Bioengineering and Biological Engineering. CRC Press. ISBN 978-1-351-36035-7.
- [5] "Biomedical Engineering - Electrical and Computer Eng. Ryerson". Ee.ryerson.ca. 2011-08-04. Archived from the original on September 27, 2011. Retrieved 2011-09-24.
- [6] Fagette Jr., Paul H., Horner, Patricia I., eds. (2004). Celebrating 35 years of Biomedical Engineering: An Historical Perspective (PDF). Landover, MD: Biomedical Engineering Society. P. 4.
- [7] Verma, Pr, Schaul, K. "See why AI like ChatGPT has gotten so good, so fast". Washington Post. Archived from the original on 29 May 2023. Retrieved 28 May 2023.
- [8] "Will AI-generated images create a new crisis for fact-checkers? Experts are not so sure". Reuters Institute for the Study of Journalism. 11 April 2023. Archived from the original on 28 May 2023. Retrieved 28 May 2023.
- [9] "How Generative AI Can Augment Human Creativity". Harvard Business Review. 16 June 2023. ISSN 0017-8012. Archived from the original on 20 June 2023. Retrieved 20 June 2023.
- [10] Berdahl, Carl Thomas; Baker, Lawrence; Mann, Sean; Osoba, Osonde; Giroso, Federico. (7 February 2023). "Strategies to Improve the Impact of Artificial Intelligence on Health Equity: Scoping Review". JMIR AI. 2: e42936.
- [11] Urbina, Fabio; Lentzos, Filippa; Invernizzi, Cédric; Ekins, Sean. (7 March 2022). "Dual use of artificial-intelligence-powered drug discovery". Nature Machine Intelligence, 4 (3): 189-191.
- [12] E McGaughey. (2022). 'Will Robots Automate Your Job Away? Full Employment, Basic Income, and Economic Democracy'. Industrial Law Journal, 51(3), 511-559. Archived 27 May 2023 at the Wayback Machine
- [13] Vincent, James. (15 November 2022). "The scary truth about AI copyright is nobody knows what will happen next". The Verge. Archived from the original on 19 June 2023. Retrieved 19 June 2023.
- [14] "Artificial Intelligence Index Report 2023/Chapter 6: Policy and Governance" (PDF). AI Index. 2023. Archived (PDF) from the original on 19 June 2023. Retrieved 19 June 2023.
- [15] Kissinger, Henry (1 November 2021). "The Challenge of Being Human in the Age of AI". The Wall Street Journal. Archived from the original on 4 November 2021. Retrieved 4 November 2021.
- [16] Deloitte Insights State of AI in the enterprise. Deloitte, 2018.
- [17] Lee SI, Celik S, Logsdon BA, et al. A machine learning approach to integrate big data for precision medicine in acute myeloid -leukemia. Nat Commun 2018; 9:42.
- [18] Sordo M. Introduction to neural networks in healthcare. OpenClinical, 2002.

- [19] Fakoor R, Ladhak F, Nazi A, Huber M. Using deep learning to enhance cancer diagnosis and classification. A conference -presentation The 30th International Conference on Machine Learning, 2013.
- [20] Vial A, Stirling D, Field M, et al. The role of deep learning and -radiomic feature extraction in cancer-specific predictive modelling: a review. *Transl Cancer Res* 2018; 7:803-16.
- [21] Hussain A, Malik A, Halim MU, Ali AM. The use of robotics in -surgery: a review. *Int J Clin Pract* 2014; 68:1376-82.
- [22] Bush J. How AI is taking the scut work out of health care. *Harvard Business Review* 2018.
- [23] Ross C, Swetlitz I. IBM pitched its Watson supercomputer as a revolution in cancer care. It's nowhere close. *Stat* 2017. www.statnews.com/2017/09/05/watson-ibm-cancer.
- [24] Davenport TH. *The AI Advantage*. Cambridge: MIT Press, 2018.
- [25] Schmidt-Erfurth U, Bogunovic H, Sadeghipour A, et al. Machine learning to analyze the prognostic value of current imaging biomarkers in neovascular age-related macular degeneration. *Ophthalmology Retina*, 2018; 2:24-30.
- [26] Rajkomar A, Oren E, Chen K, et al. Scalable and accurate deep learning with electronic health records. *npj Digital Medicine*, 2018; 1:18 www.nature.com/articles/s41746-018-0029-1.
- [27] UserTesting Healthcare chatbot apps are on the rise but the overall customer experience (cx) falls short according to a UserTesting report. San Francisco: UserTesting, 2019.
- [28] Char DS, Shah NH, Magnus D. Implementing machine learning in health care – addressing ethical challenges. *N Engl J Med* 2018; 378:981-3.
- [29] Tu, Xinyi. (2023). "TwinXR: Method for using digital twin descriptions in industrial eXtended reality applications". *Frontiers in Virtual Reality*. 4.
- [30] Casini, Marco. (2022). "Extended Reality for Smart Building Operation and Maintenance: A Review". *Energies*. 15 (10): 3785.
- [31] Chuah, Stephanie Hui-Wen. (2018). "Why and Who Will Adopt Extended Reality Technology? Literature Review, Synthesis, and Future Research Agenda". SSRN 3300469.
- [32] "NASA shows the world its 20-year virtual reality experiment to train astronauts: The inside story – TechRepublic". TechRepublic. Retrieved 15 March 2017.
- [33] James, Paul. (19 April 2016). "A Look at NASA's Hybrid Reality Astronaut Training System, Powered by HTC Vive – Road to VR". Road to VR. Retrieved 15 March 2017.
- [34] "Multiple Conformant OpenXR Implementations Ship Bringing to Life the Dream of Portable XR Applications". Khronos Group. 2020-07-28. Retrieved 2020-10-26.
- [35] "Snapdragon Spaces XR Developer Platform Launches to Create Headworn AR Experiences that Adapt to the Spaces Around Us | Qual-comm". www.qualcomm.com. Retrieved 2022-08-11.
- [36] Yeung, A., Tosevska, A., Klager, E., Eibensteiner, F., Laxar, D., Stoyanov, J., Glisic, M., Zeiner, S., Kulnik, S. T., Crutzen, R., Kimberger, O., Kletecka-Pulker, M., Atanasov, A. G., & Willschke, H. (10 February 2021). "Virtual and Augmented Reality Applications in Medicine: Analysis of the Scientific Literature". *Journal of Medical Internet Research*. 23 (2): e25499.
- [37] Akhtar, Z.B. Unveiling the evolution of generative AI (GAI): a comprehensive and investigative analysis toward LLM models (2021-2024) and beyond. *Journal of Electrical Systems and Inf Technol* 11, 22 (2024).
- [38] Zarif Bin Akhtar. "Unraveling the Promise of Computing DNA Data Storage: An Investigative Analysis of Advancements, Challenges, Future Directions," *Journal of Advances in Artificial Intelligence*, vol. 2, no. 1, pp. 122-137, 2024.
- [39] Akhtar, Z.B. The design approach of an artificial intelligent (AI) medical system based on electronical health records (EHR) and priority segmentations. *J. Eng.*, 2024, 1-10 (2024).
- [40] Akhtar, Z. (2024). Securing Operating Systems (OS): A Comprehensive Approach to Security with Best Practices and Techniques. *International Journal of Advanced Network, Monitoring and Controls*, 9(1), 100-111.
- [41] Akhtar, Z. B., & Gupta, A. D. (2024). Integrative

- Approaches for Advancing Organoid Engineering: From Mechanobiology to Personalized Therapeutics. *Journal of Applied Artificial Intelligence*, 5(1), 1-27.
- [42] Akhtar, Z. B., & Gupta, A. D. (2024). Advancements within Molecular Engineering for Regenerative Medicine and Biomedical Applications: An Investigation Analysis towards A Computing Retrospective. *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics*, 6(1), 54-72.
- [43] Akhtar, Z. B. (2023). Accelerated Computing a Biomedical Engineering and Medical Science Perspective. In *Annals of the Academy of Romanian Scientists Series on Biological Sciences* (Vol. 12, Issue 2, pp. 138-164). Academia Oamenilor de Stiinta din Romania.
- [44] Z. B. Akhtar and V. Stany Rozario. "The Design Approach of an Artificial Human Brain in Digitized Formulation based on Machine Learning and Neural Mapping," 2020 International Conference for Emerging Technology (INCET), Belgaum, India, 2020, pp. 1-7.
- [45] Akhtar, Z. & Rawol, A. (2024). Uncovering Cybersecurity Vulnerabilities: A Kali Linux Investigative Exploration Perspective. *International Journal of Advanced Network, Monitoring and Controls*, 9(2) 11-22.
- [46] Bin Akhtar, Z. (2024). Artificial intelligence (AI) within manufacturing: An investigative exploration for opportunities, challenges, future directions. *Metaverse*, 5(2), 2731.
- [47] Bin Akhtar, Z. (2024). From Bard to Gemini: An investigative exploration journey through Google's evolution in conversational AI and generative AI. *Computing and Artificial Intelligence*, 2(1), 1378.
- [48] Akhtar, Z. B. (2024). Exploring Biomedical Engineering (BME): Advances within Accelerated Computing and Regenerative Medicine for a Computational and Medical Science Perspective Exploration Analysis. *J Emerg Med OA*, 2(1), 01-23.
- [49] Zarif Bin AKHTAR, & Ahmed TAJBIUL RAWOL. (2024). Unlocking the Future for the New Data Paradigm of DNA Data Storage: An Investigative Analysis of Advancements, Challenges, Future Directions. *Journal of Information Sciences*, 23(1), 23-44.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS