# 元宇宙在医学领域的应用现状与前景展望*

孔祥溢

（1 国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院　北京 100021
2 国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院深圳医院　深圳 518127）

姜鸿南

（国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院深圳医院
深圳 518127）

方　仪

（国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院
北京 100021）

高纪东

（1 国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院深圳医院　深圳 518127
2 国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院　北京 100021）

王　靖

（国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院　北京 100021）

〔摘要〕　介绍元宇宙发展历程，详细阐述元宇宙在医学教育和培训、远程医疗、医学模拟、药物研发等各种医学领域的应用场景及具体实例，介绍元宇宙与 5G 网络、人工智能、量子科学和区块链等高新科技结合情况，深入分析元宇宙在医学领域应用的优缺点，指出需要进一步开展相关研究和开发以充分实现医学元宇宙的优势并克服其局限性。

〔关键词〕　元宇宙；虚拟现实；临床实践；医学教育；医学科研

〔修回日期〕　2023 – 03 – 31

〔作者简介〕　孔祥溢，博士；通信作者：王靖，博士，教授，主任医师。

〔基金项目〕　科技部科技创新 2030—“新一代人工智能”重大项目“医学人工智能技术临床应用评估标准研究，辅助诊疗临床应用评估标准数据集建设研究”（项目编号：2020AAA0105000，2020AAA0105004）；中国医学科学院临床与转化医学研究专项新增培育项目“在临床实践中开发智能预测早期乳腺癌术后复发风险并指导辅助治疗方式的新工具”（项目编号：2022 – I2M – C&T – B – 087）。

〔中图分类号〕R-058 〔文献标识码〕A 〔DOI〕10.3969/j.issn.1673-6036.2023.04.001

**Application Status and Prospect of Metaverse in Medicine** *KONG Xiangyi, 1National Cancer Center/National Clinical Research Center for Cancer/Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100021, 2National Cancer Center/National Clinical Research Center for Cancer/Cancer Hospital & Shenzhen Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Shenzhen 518127, China; JIANG Hongnan, National Cancer Center/National Clinical Research Center for Cancer/Cancer Hospital & Shenzhen Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Shenzhen 518127, China; FANG Yi, National Cancer Center/National Clinical Research Center for Cancer/Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100021, China; GAO Jidong, 1National Cancer Center/National Clinical Research Center for Cancer/Cancer Hospital & Shenzhen Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Shenzhen 518127, 2National Cancer Center/National Clinical Research Center for Cancer/Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100021, China; WANG Jing, National Cancer Center/National Clinical Research Center for Cancer/Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100021, China*

〔**Abstract**〕 The paper introduces the development history of the metaverse, elaborates the application scenarios and specific examples of the metaverse in various medical fields such as medical education and training, telemedicine, medical simulation, drug research and development, etc., introduces the combination of the metaverse with high and new technologies such as 5G network, artificial intelligence (AI), quantum science and blockchain, and in-depth analyzes the advantages and disadvantages of the application of the metaverse in the medical field. It is pointed out that further research and development is needed to fully realize the advantages of medical metaverse and overcome its limitations.

〔**Keywords**〕 metaverse; virtual reality (VR); clinical practice; medical education; medical research

## 1 引言

元宇宙是一种虚拟共享空间，具有改变甚至颠覆现有医疗模式的潜力[1]，用于描述各种虚拟共享空间。计算机虚拟环境可通过各种设备访问，包括台式计算机、移动设备和虚拟现实（virtual reality，VR）头戴式显示器等[2]。在元宇宙中，用户可创建自己的专属头像，即数字化的自我代表，与其他用户交互；还可以创建自己的虚拟对象和环境，并与其他用户共享。元宇宙被设计为一个社交和互动的虚拟空间，允许用户与来自世界各地的人们连接并从事各种活动，包括游戏、购物和社交。

基于VR和增强现实（augmented reality，AR）技术，元宇宙在医学教育领域广泛应用[3]。使用VR，学生可以模拟手术和操作，而AR则可在现实世界中叠加信息，例如在体格检查中识别解剖结构[4]，提供一种安全有效、经济便捷的方法，使学生在接触真实患者之前便可在受控环境中获得经验，有望替代传统医学培训。元宇宙还可用于推进医学研究[4]，例如创建人体器官和组织的虚拟模型，用于药物设计和测试，从而大幅减少动物测试并加速药物研发进程[5]。此外，元宇宙促进研究人员协作，通过实时共享数据和资源，实现更高效的合作。元宇宙在医学中的另一个潜在应用场景是远程医疗[6]，为无法到访实体医疗机构的患者提供虚拟医疗咨询和护理[6]。患者可在虚拟环境中与医生交互，减少出行需求，为医疗资源欠缺的偏远地区提供便利。在心理健康服务和个性化医疗体验方面，VR环境可为接受治疗或康复期的患者创造宁静、放松的环境；为患者提供视频和交互资源，帮助其更好地了解病情和做出治疗选择[3]；协助医生远程接触患者，改善医疗保健的获取方式；提供个性化护理体验，提高患者满意度和治疗效果[7]。元宇宙、VR和AR之间相辅相成。VR和AR设备可能成为元宇宙的入口，即下一代互联网的硬件基础设施。本文探讨元宇宙如何应用于医学教育、研究、远程医疗和护理等领域，展望元宇宙在医学中

应用的未来场景。

## 2 元宇宙在医学领域的应用场景

### 2.1 医学教育和培训

元宇宙是指一系列相互连接的虚拟世界或空间，用户可在其中与彼此或虚拟数字对象进行交互。元宇宙技术受到各行业欢迎，包括医疗保健领域[8]。近年来，VR 和 AR 技术已被广泛用于创建沉浸式和交互式医学学习环境，提供实践经验，改善学习效果，并减少错误和不良事件的发生风险[3]。医学生和医疗专业人员可在虚拟环境中与人体数字模型交互，培养诊疗思维和决策技能。医学院使用 VR 和 AR 创建虚拟解剖实验室，可根据教学需求进行个性化定制，使学生按照自己的节奏学习[9]。教学医院通过 VR 和 AR 创建虚拟急诊科场景，帮助低年资医师和医学生掌握如何诊断并处理常见急诊疾病。此外，医生通过元宇宙可在进行真正手术之前模拟手术操作、辅助训练手术技能。目前，元宇宙在医学教育和培训中的大规模应用尚存在技术和基础设施投资大、有效性尚未完全确定等局限性，需要进一步研究评估[3]。

### 2.2 远程医疗和虚拟会诊

远程医疗和虚拟会诊是指以计算机、遥感、遥测、遥控技术为依托，充分发挥大医院或专科医疗中心的医疗技术和设备优势，为医疗条件较差的偏远地区患者提供远距离诊断、治疗和咨询服务，旨在提高诊断与医疗水平、降低医疗开支、满足公众的保健需求。远程医疗已经以各种形式开展多年，元宇宙技术通过创造沉浸式和互动式体验，将其提升到一个新层次[6]。利用元宇宙技术构建虚拟空间，医患双方可在其中实时互动，模拟面对面门诊场景。例如，患者可进入一个虚拟诊室，通过数字技术看到医学专家、听到其声音，双方犹如在同一物理空间中进行互动，体验效果更好、更具吸引力。元宇宙技术也可通过虚拟临床实际场景，使患者在一个安全和受控的环境中接受治疗。例如，患者可通过 VR 暴露疗法克服恐惧症；通过虚拟物理疗法从创伤或手术中恢复[8]。

### 2.3 康复和物理治疗

元宇宙技术在康复和物理治疗领域应用前景广阔[10]。元宇宙可提供一个沉浸式和交互式虚拟平台，通过模拟真实世界场景，使患者在安全可控的环境中进行功能性锻炼。虚拟环境可根据患者实际病情定制，参数包括难度级别或所需运动类型；患者与虚拟对象互动并获得有关其表现的即时反馈。VR 游戏和模拟已经用于改善中风和其他神经系统疾病患者的上肢功能，计算机会要求患者执行特定运动或任务来完成游戏，以此提高患者的恢复动力和参与度。虚拟环境还被用于改善帕金森病和多发性硬化症患者的平衡和步态，以及肌肉骨骼疾病的物理治疗，例如背痛、膝盖损伤和肩部损伤等[11]。虚拟环境的沉浸式和互动性也有助于减少传统康复和物理治疗过程中的焦虑和疼痛[12]，实现更个性化和有效的治疗。元宇宙技术还可以为肿瘤学领域带来许多新机遇和可能性。例如，元宇宙可以用于虚拟会诊，使癌症患者与医生进行面对面交流，这对癌症患者恢复非常重要[7]。虚拟环境可根据患者特定需求实时收集和分析数据以提供反馈，并相应地调整治疗或康复方案，这种模式可大幅缩短恢复时间并获得更好的康复效果。然而，在康复和物理治疗中使用元宇宙技术仍然存在一些挑战，例如有些患者可能无法适应或排斥虚拟环境，这需要更多的支持和监督。

### 2.4 心理健康和幸福感提升

心理健康问题影响着全球数百万人，对个人的生活质量和社交关系产生重大影响。在心理健康和幸福感提升方面使用元宇宙技术是一个朝阳方向[13]。元宇宙的沉浸性和互动性使其成为创建虚拟环境以支持心理健康干预和促进幸福感提升的理想平台[14]。首先，可以使用元宇宙模拟可能引发焦虑或其他心理健康问题的真实生活情境，使个人在安全、可控的环境中适应或练习应对焦虑并锻炼其抗压能力或坚韧性[14]。例如，通过模拟公开演讲或面试等社交场合，帮助个人克服社交焦虑。其次，可

以使用元宇宙以更具吸引力和互动性的方式提供相应干预，如认知行为疗法（cognitive behavioral therapy，CBT）或暴露疗法——VR的CBT已被证明对治疗焦虑症、恐惧症和创伤后应激障碍（posttraumatic stress disorder，PTSD）有效。暴露疗法是逐渐将个人暴露于害怕的情境或刺激中，这完全可以使用元宇宙技术实施。此外，元宇宙可用于提供基于正念的干预和冥想实践，促进放松、减压和整体幸福感提升。元宇宙还可为那些可能经历社交孤立或罹患孤独症的患者提供社交支持和联络，促进社交互动，并提供社群归属感[14]。

## 2.5 医学科研与药物研发

元宇宙技术有望变革甚至颠覆医学科研和药物研发模式。研究人员利用元宇宙技术可创建能精准代表生物系统的三维虚拟环境，并进行实时操作和观察。通过创建人体器官和组织虚拟模型，元宇宙帮助科研人员高效率模拟疾病状态和病程变化，并测试潜在药物或其他治疗方法的效果。元宇宙技术还可用于模拟临床试验，在虚拟环境下测试新药物的安全性和有效性，减少动物和人体试验需求。研究人员可在药物研发过程中及早意识到可能存在的潜在问题，减少或避免代价较大的错误，实现更高效的药物开发。元宇宙在蛋白质分子结构建模、心理障碍治疗方式评估、阿尔茨海默病药物研发、虚拟肿瘤细胞模型等方面应用均已崭露头角[14]。值得注意的是，元宇宙助力新药研发离不开人工智能技术的进步。新药研发的关键环节包括靶点选择优化、先导化合物发现及筛选优化等。人工智能在新药研发方面的应用主要聚焦于靶点发现、晶型预测以及候选药物分子筛选优化，此外还应用于抗体药物、核酸药物和免疫治疗药物的研发。为推动元宇宙技术和人工智能技术更准确地模拟复杂生物系统和不同组分间相互作用，未来尚需要更多大数据支持和算法改进。

## 2.6 医学领域中现有元宇宙应用实例

2.6.1 VR平台和系统　VR平台和系统是医学领域中最常见的元宇宙应用模式。VR技术为用户提供沉浸式体验，使其实时与虚拟物体或环境交互。医疗行业目前流行的VR平台主要包括以下几种。（1）Oculus Rift和Quest[15]。具有超高分辨率，并配备跟踪用户头部动作和手势的传感器，在医疗行业中可用于临床场景模拟和患者护理干预。（2）HTC Vive和Vive Pro[16-17]。可提供室内VR体验，并配备跟踪用户在三维空间中运动的传感器[18]，常用于手术模拟、物理治疗和康复等[16]。（3）Samsung Gear VR和Odyssey。使用时需要与三星智能手机配合，可提供移动VR体验[19-22]，在医疗行业中可用于医学培训和疼痛管理等。

2.6.2 手术操作、医学模拟和培训软件　医学模拟和培训软件是通过提供安全、可控环境，供医疗专业人员练习医学操作技能的元宇宙应用程序，包括以下几种。（1）SimX。是一款医学模拟软件，为医疗专业人员提供虚拟临床场景，帮助练习临床实践技能[23]。SimX包括各种情景，如医疗急症、外科手术、重症监护、病房护理等；还提供协作平台，协助医护人员共同解决复杂医疗案例，实现便捷高效的多学科会诊。（2）Osso VR。通过提供逼真的虚拟环境，帮助外科医生练习以骨科手术为主的医疗操作技能[24-25]。Osso VR内设各种手术程序，如全膝关节置换、髋关节置换和脊柱手术等[24-25]；还提供绩效分析工具，评估用户的表现并反馈改进措施。（3）PrecisionOS。与Osso VR类似，帮助医生练习骨科手术操作，如肩部手术、肘关节手术等[26]。（4）Vicarious Surgical。该公司开发了一种智能手术机器人系统，通过小型机器人、计算机技术和3D可视化应用，提高外科手术效率、改善患者治疗效果、降低医疗保健成本。其系统可通过一个1.5厘米的切口访问整个腹腔，每只手臂有9个自由度，360°可视化，视觉、精度和操作性能均得到提升。（5）Xvision脊椎系统（Xvision Spine System，XSV）。是一款外科手术的增强现实指导系统，可在手术过程中实时可视化患者的三维脊柱解剖结构，从而提高医生的手术精度和信心。包括一个可穿戴的头戴式AR系统，可以将关键导航数据投影到医生的视网膜上，无需将目光移开就能专注于患者身上[27]。该系统于2019年得到美国

食品和药物管理局（Food and Drug Administration，FDA）的批准，已在美国用于腰椎后路减压、腰椎滑脱矫正和融合手术等。（6）西门子医疗（Siemens Healthineers）。其产品包括电子计算机断层扫描（computed tomography，CT）、磁共振成像（magnetic resonance imaging，MRI）、超声、数字放射科技术、X射线和核医学成像系统、诊断试剂和医疗信息化系统。通过提高临床工作流程效率、减少诊断错误和缩短患者治疗时间来改善医疗保健，具有首个获得FDA批准的可用于手术的AR导航系统。

2.6.3　远程医疗和患者监测平台　远程医疗和远程患者监测平台是元宇宙技术在医疗领域中应用的代表，可提供实时通信和数据共享，方便医疗专业人员与患者交流。目前常用的远程医疗和患者监测平台包括以下几种。（1）Doctor On Demand。可为患者提供远程医疗咨询和治疗[28]，涵盖多个医疗亚专业，如基层全科医疗、儿科、精神科等；还提供一种移动应用程序，使患者通过随身携带的智能手机与中央监测系统建立连接并实现实时监控[28]。（2）Vida Health。使用移动应用程序、虚拟访问和健康辅导等组合方式，为慢性病（如糖尿病、高血压和心理健康障碍等）患者提供个性化指导，并在家中管理其病情[29]；还能从患者护理团队中获得并实时分析健康或疾病信息，有助于提高患者的整体健康状况[30]。（3）Biofourmis。利用人工智能和机器学习为慢性病患者创建个性化护理计划。其Biovitals平台结合可穿戴传感器、移动应用和数据分析技术，主动监测患者生命体征，并在必要时及时提供干预建议。Biofourmis技术可预测不良健康事件发生前的状况，并提醒护理人员及时干预，从而减少住院和急诊就诊[31]。（4）OMsignal Smart Clothing。利用可穿戴设备技术监测患者生命体征和体力活动水平，如通过内置传感器的衬衫和胸罩跟踪监测患者心率、呼吸率和睡眠质量，帮助改善整体健康状况[32]。（5）Ginger。是一个虚拟心理健康平台，提供按需访问授权治疗师和精神科医生的服务。该平台采用视频聊天和自我指导相结合的模式，向患者提供心理健康服务，帮助患者在家中管理焦虑、抑郁和其他心理疾病的症状，减少面对面访问需求，提高医疗服务的可及性。（6）Pear Therapeutic。是一家数字医疗公司，2021年4月从Empatica、etectRx和KeyWise等公司获得技术授权，以加强建设其处方数字疗法（prescription digital therapeautic，PDT）平台[33]；已获得FDA对其多种产品的批准[34]。（7）CardioVerse。旨在为心血管医学提供创新解决方案，是元宇宙技术应用于心血管领域的典范[35]。CardioVerse构建基于VR和AR技术的数字世界，为患者提供远程医疗设备和应用程序，例如远程12导联心电图、血压－心率监测器、氧饱和度仪、血糖仪等。这些设备的结果将直接投影在元宇宙中[35]。

## 3　元宇宙与其他高新科技的结合

### 3.1　元宇宙与5G网络技术结合

元宇宙与5G网络技术结合是一项重大发展，有潜力彻底改变医疗模式[36]。元宇宙允许创建虚拟环境，促成用户间或用户与数字对象间的交互；而5G则提供快速可靠的连接，实现无缝通信和数据传输[36]。通过整合这些技术，医疗专业人员可以实现远程协作，实时访问和共享患者数据[37]。元宇宙和5G网络技术相结合在医疗领域的应用价值不可估量。首先，可提高医疗服务的效率和精度。医生通过元宇宙和5G技术进行远程外科手术，打破时间、空间限制，还可即时查看患者临床、病理、影像、术中数据，进行更加精准的调整[36]。其次，这种结合有助于改善医患关系，避免实际医患会面中可能存在的感染风险，使整个诊疗过程更加舒适和方便。结合元宇宙和5G技术可提高医疗教育效果，医学生通过虚拟环境模拟手术操作，提高其技能和经验。这种结合还提高了医疗保障的覆盖范围，由于元宇宙和5G技术的高度可扩展性和互联性，医生能够更加便捷地深入偏远地区提供医疗服务。

### 3.2　元宇宙与人工智能结合

元宇宙与人工智能（artificial intelligence，AI）结合为医学领域带来许多新优势。首先，大大提高

医学教育的效率和效果[38]。在元宇宙和AI的虚拟世界中，医学生学习手术操作的效果增强，AI可以生成多种不同的术中场景，甚至模拟出血、神经损伤、瘘等突发意外。元宇宙与AI结合还可以为医学生提供更加生动直观的教学方式，提高学习效果；协助医生做出更准确的诊断和治疗决策[39]。在传统医学诊疗中，医生需要通过观察患者的症状和进行体格检查等方式来做出诊断和制定治疗方案；而在元宇宙和AI的虚拟世界中，医生可以使用AI技术分析大量医疗数据和患者生理指标，快速准确地做出诊疗抉择[40]。在传统医学治疗中，患者往往缺乏主动参与感，只是被动地接受治疗；而在元宇宙和AI的虚拟世界中，患者可通过VR技术更加生动直观地了解自己的病情和治疗方案，并参与其中[4]。

### 3.3 元宇宙与量子科学结合

随着科技的不断进步和发展，元宇宙与量子科学结合正在成为科技界的热门话题。量子计算机的计算能力远远超过传统计算机，因此可用来在虚拟环境中远程处理海量医疗数据，并为医生提供更加精确和个性化的诊断和治疗方案[41]。利用量子计算机的优势，可以快速开展医学研究；同时借助元宇宙模拟更加复杂的医学问题，帮助医生和科学家更好地了解疾病本质和病理生理机制[42]。虽然这些技术目前还处于发展初期，但其终将成为医疗领域中的重要创新驱动力，带来更多突破和进步，也具备巨大的商业前景[43]。

### 3.4 元宇宙与区块链技术结合

随着区块链技术和元宇宙技术的不断发展，将两者结合可为医疗领域带来更多价值和优势[13,40]。区块链技术可用来保护医疗数据的隐私和安全，防止医疗数据被篡改或者泄露；可建立去中心化的医疗数据共享平台，使医疗数据能够在不同机构之间实现安全、可信、高效的互通与共享[4]。区块链技术使元宇宙提供的虚拟医疗实践环境和互动更可信、更安全[4,39]。此外，通过区块链技术建立去中心化的医疗市场，有望在患者和医生之间实现更加直接、高效的交互；通过智能合约技术可以实现更加精准和安全的医疗服务，保护患者隐私和权益[44]。

## 4 元宇宙在医学领域应用的优缺点

### 4.1 优点

4.1.1 改善患者疗效和安全性 元宇宙技术为实现更准确、个性化的医疗服务提供支撑。医疗保健服务提供者可以使用虚拟模型为患者定制个性化诊疗计划[4]。例如，元宇宙技术可提供患者解剖结构的3D可旋转全息模型，便于外科医生事先规划和练习手术，降低实际手术过程中的错误率和并发症风险[45]。元宇宙还可用来模拟特定患者的疾病模型，帮助医生制定最有效的治疗方案，从而提高疗效和患者满意度[45]。此外，元宇宙还可以通过为医学培训和模拟提供安全和受控环境来帮助提高医疗行为的安全性、开展医疗活动的信心[46-47]。VR在外科培训中的使用明显提高住院医师技能，并缩短手术所需时间。在护理方面，使用VR技术可以减轻患者疼痛和焦虑，还可使用VR分散技术管理烧伤患者，减轻其病痛[14,48]。

4.1.2 成本效益 使用元宇宙技术可减少医疗服务成本、提高医疗保健效率。一些医疗机构已开始应用元宇宙技术优化工作流程和减少人力成本[49]。例如，在患者评估和诊断过程中，医生使用VR技术能更快地做出准确诊断，而无需消耗大量时间和人力[50]。元宇宙在医患间建立远程协作和咨询的联系，可减少医疗机构的交通和行政成本，为患者提供更加便利的服务。应用元宇宙技术可以帮助医疗保健提供者更快地识别和纠正潜在的问题和错误，降低医疗保健系统成本，减少不必要的医疗程序和住院时间，降低医疗保健费用[50]。例如，外科医生使用VR技术在手术前规划手术，可减少术中错误和并发症风险，进而降低医疗机构的责任成本，同时减少因医疗事故而产生的赔偿费用[51]。

4.1.3 增加医疗服务可访问性 元宇宙技术在增加医疗服务的可访问性方面具有潜力，特别是在医疗资源匮乏的地区或社区中。通过虚拟会诊和远程医疗服务，患者可获得科学的诊疗建议和护理服务，无需亲自前往诊所或医院，这对交通不便或居

住在偏远地区的患者来说尤其有益。研究发现，利用 VR 技术进行虚拟会诊，对帕金森病等精神疾病患者提供医疗咨询是有效的（这类患者可能存在行动不便的问题）[11]。此外，元宇宙技术可使医护人员更广泛地接触受众，并同时向不同地点的患者提供医疗和护理服务，减少等待时间，提高效率。

4.1.4　医疗技术创新与进步　元宇宙技术具有推动医疗技术创新与进步的潜力，特别是在医学教育、医学研究和药物开发等领域。元宇宙技术通过创建沉浸式体验，赋予医学教育更大的吸引力和互动性[3]。通过元宇宙技术模拟药物相互作用和副作用，研究人员在进行临床试验之前即可在虚拟环境中测试新药物，从而节省时间和资源，并最终加速药物研发过程。此外，元宇宙技术也可用于开发新的医疗设备和工具[52]，例如通过 VR 模拟器实现在制造医疗设备之前做好各个细节的设计工作或开展模拟测试，帮助识别设计缺陷，提高安全性和有效性。

## 4.2　缺点

4.2.1　有限的身体互动和沟通　在医疗保健中使用元宇宙技术的缺点之一是医护人员和患者之间存在传统诊疗模式下身体互动和沟通的限制[45]。虽然应用元宇宙技术可以实现虚拟会诊和远程医疗服务，但不允许像面对面会诊中那样进行同样水平的身体互动[53]。例如，使用元宇宙技术与患者会诊的医生可能无法进行实际的体格检查；而对某些疾病而言，体格检查对于做出准确诊断可能非常重要[54]。此外，在虚拟环境中，虚拟沟通可能不如面对面沟通有效，因为非语言的暗示和肢体语言在虚拟环境中很难被解读[54]，这可能会在一定程度上影响医护人员和患者之间的沟通质量，进而导致误解或误读。多项研究已经探讨元宇宙技术在身体互动和沟通方面的局限性。Wiederhold B K 等[55]研究发现，利用元宇宙和 VR 技术可有效治疗某些心理健康疾病，但在建立治疗师和患者之间的关系方面可能不如面对面诊疗方式有效。

4.2.2　技术和基础设施挑战　尽管元宇宙技术在医学上具有潜在的优势，但也存在技术和基础设施挑战。一是在医学中使用元宇宙技术需要高速稳定的互联网连接以及先进的网络基础设施，以支持实时传输大量数据。二是必须妥善解决患者数据的安全和隐私问题，确保敏感信息不被泄露[39]。医疗保健行业的数据泄露可能会导致严重后果，包括身份盗窃、财务损失和对医疗服务提供者声誉的损害。三是需要高度专业化的硬件和软件[56]。VR 设备，如头戴式显示器、触觉反馈设备和运动传感器，可能很昂贵，且需要专门培训才能有效使用。此外，用于创建虚拟环境和模拟的软件必须专门为医学应用设计，并可能需要与现有医疗软件系统进行重大优化和集成[57-58]。四是长时间佩戴 VR 头盔或交互不佳会导致用户体验质量下降，甚至出现不适和迷失方向等问题，这也可能限制其在医疗领域的应用。因此，需要流程自动化和决策支持等技术手段来缩减操作时间，减轻医生的不适感。此外，还需不断提高 VR 技术的稳定性和交互性，使其更加符合用户需求和医疗应用场景的要求。五是医学元宇宙技术的复杂性可能导致医疗保健提供者和患者均面临陡峭的学习曲线。医疗专业人员需要额外的培训和教育才能有效使用这项技术，而患者会难以理解如何浏览和沉浸式体验虚拟环境或使用虚拟医疗设备，导致挫败感，并降低通过元宇宙技术提供的医疗质量。六是不同元宇宙平台和设备之间的兼容性问题。由于有各种不同的 VR 硬件和软件选择，无法保证为某一个平台开发的医学应用程序也能在另一个平台上运行，导致行业标准化程度不足，在一定程度上阻碍元宇宙技术在医学中的广泛采用。

4.2.3　伦理和法律问题　与任何新技术一样，元宇宙在医学中应用的主要伦理关注点之一是隐私和数据保护[39,59]。由于应用元宇宙技术需要收集大量个人数据，确保这些数据得到有效保护并且患者有权控制其个人数据的使用和分享至关重要。在医疗领域中，医疗图像的可视化处理是常见应用，但这些敏感数据的泄露将会导致患者隐私被侵犯[60]。因此，必须采取适当措施来保护敏感信息安全。此外，元宇宙在医学中的使用存在知情同意方面的担忧[59]。患者必须清楚了解使用元宇宙技术的潜在利益和风险，并且必须在收集或使用任何数据之前征求其知情同意。为确保患者身份识别和数字安全的

准确性，应加强自动提醒和警报功能，以避免患者身份识别错误所导致的灾难性或连锁性错误。另一个伦理考虑是元宇宙技术可能加剧现有健康资源获取的不平等，即元宇宙技术应用可能加大拥有技术获得能力和没有获得能力的患者之间的差距[59]。在法律责任方面，由于元宇宙技术相对较新，因此在医疗过失或其他医疗错误情况下判定法律责任问题的先例有限[61]。元宇宙技术的使用也引发了有关执业许可和资格认证的问题，即未来要确保那些通过元宇宙平台提供医护服务的人员已取得相关部门的许可和资格认证。此外，如何保护医学元宇宙环境下知识产权和所有权也是值得关注的话题[62]。为了解决这些难题，医疗保健行业的利益相关者需要共同努力，制定关于在医学领域使用元宇宙技术的标准和规范，这需要技术公司、医院、医护工作者和政府机构之间通力合作，以及为技术及其应用研发进行投资。

## 5 结语

本文探讨元宇宙技术在医学和医疗保健领域的潜在应用。随着数字医疗技术的更新换代，元宇宙技术为医疗行业提供许多便利，包括改善患者预后和安全性、成本效益、增加医疗服务可访问性、提高医学科研效率以及创新医疗技术等。元宇宙有潜力大幅改变甚至颠覆传统医疗保健服务模式，重塑医疗生态，为全球患者提供更高效的医护服务。然而，元宇宙在医学领域的应用也存在着诸多局限性和挑战，包括有限的物理互动和交流、技术和基础设施方面的挑战以及道德和法律方面的担忧。要进一步发挥元宇宙在医学中的潜力，各方必须通力协作、应对挑战、解决问题。

## 参考文献


1 WIEDERHOLD B K. Metaverse games: game changer for healthcare? [J]. Cyberpsychology, behavior, and social networking, 2022, 25 (5): 267 - 269.

2 TAYLOR S, SONEJI S. Bioinformatics and the metaverse: are we ready? [J]. Frontiers in bioengineering and biotechnology, 2022, 2 (5): 863676.

3 KYE B, HAN N, KIM E, et al. Educational applications of metaverse: possibilities and limitations [J]. Journal of educational evaluation for health professions, 2021, 18 (12): 32.

4 BHUGAONKAR K, BHUGAONKAR R, MASNE N. The trend of metaverse and augmented & virtual reality extending to the healthcare system [J]. Cureus, 2022, 14 (9): e29071.

5 DZIMITROWICZ H E, ARMSTRONG A J. Triplet therapy: entering the metaverse of metastatic hormone - sensitive prostate cancer treatment [J]. European urology, 2022, 82 (6): 599 - 601.

6 LEON - SALAS B, GONZALEZ - HERNANDEZ Y, INFANTE - VENTURA D, et al. Telemedicine for neurological diseases: a systematic review and meta - analysis [J]. European journal of neurology, 2023, 30 (1): 241 - 254.

7 MCWILLIAM A, SCARFE P. The metaverse and oncology [J]. Clinical oncology (Royal College of Radiologists), 2023, 35 (1): 12 - 14.

8 CURTIS C, BROLAN C E. Health care in the metaverse [J]. The medical journal of Australia, 2023, 218 (1): 46.

9 ROMAN - BELMONTE J M, RODRIGUEZ - MERCHAN E C, DE LA CORTE - RODRIGUEZ H. Metaverse applied to musculoskeletal pathology: orthoverse and rehabverse [J]. Postgraduate medicine, 2023 (2): 1 - 9.

10 MOON I, AN Y, MIN S, et al. Therapeutic effects of metaverse rehabilitation for cerebral palsy: a randomized controlled trial [J]. International journal of environmental research and public health, 2023, 20 (2): 1578.

11 ZHOU H, GAO J Y, CHEN Y. The paradigm and future value of the metaverse for the intervention of cognitive decline [J]. Frontiers in public health, 2022, 10 (10): 1016680.

12 SERON P, OLIVEROS M J, GUTIERREZ - ARIAS R, et al. Effectiveness of telerehabilitation in physical therapy: a rapid overview [J]. Physical therapy, 2021, 101 (6): 53.

13 CERASA A, GAGGIOLI A, MARINO F, et al. The promise of the metaverse in mental health: the new era of MEDverse [J]. Heliyon, 2022, 8 (11): e11762.

14 USMANI S S, SHARATH M, MEHENDALE M. Future of mental health in the metaverse [J]. General psychiatry, 2022, 35 (4): e100825.

15 JOST T A, NELSON B, RYLANDER J. Quantitative analysis of the Oculus Rift S in controlled movement [J]. Disability and rehabilitation: assistive technology, 2021, 16 (6): 632 - 636.

16 HEMPHILL S, NGUYEN A, RODRIGUEZ S T, et al. Mobili-

zation and calibration of the HTC VIVE for virtual reality physical therapy [EB/OL]. [2022-09-21]. https: //journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/2055207620950929.

17 SIPATCHIN A, WAHL S, RIFAI K. Eye-tracking for clinical ophthalmology with virtual reality (VR): a case study of the HTC Vive Pro Eye's usability [J]. Healthcare, 2021, 9 (2): 180.

18 ZHAO C, KIM A S, BEAMS R, et al. Spatiotemporal image quality of virtual reality head mounted displays [J]. Scientific reports, 2022, 12 (1): 20235.

19 ALONZI S, CARUSO T J, SINDHER S B, et al. Virtual reality reduces pediatric anxiety during food allergy clinical trials: a pilot randomized, pragmatic study [J]. Frontiers allergy, 2021, 2 (1): 779804.

20 NWOSU A C, MILLS M, ROUGHNEEN S, et al. Virtual reality in specialist palliative care: a feasibility study to enable clinical practice adoption [EB/OL]. [2022-09-21]. https: //spcare.bmj.com/content/early/2021/02/16/bmjspcare-2020-002327.

21 LYNN M H, LUO G, TOMASI M, et al. Measuring virtual reality headset resolution and field of view: implications for vision care applications [J]. Optometry and vision science, 2020, 97 (8): 573-582.

22 SERRANO A, KIM I, CHEN Z, et al. Motion parallax for 360 degrees RGBD video [J]. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 2019, 25 (5): 1817-1827.

23 COUPERUS K, YOUNG S, WALSH R, et al. Immersive virtual reality medical simulation: autonomous trauma training simulator [J]. Cureus, 2020, 12 (5): e8062.

24 CEVALLOS N, ZUKOTYNSKI B, GREIG D, et al. The utility of virtual reality in orthopedic surgical training [J]. Journal of surgical education, 2022, 79 (6): 1516-1525.

25 SOUSA P L, SCULCO P K, MAYMAN D J, et al. Robots in the operating room during hip and knee arthroplasty [J]. Current reviews in musculoskeletal medicine, 2020, 13 (3): 309-317.

26 LOHRE R, LEVEILLE L, GOEL D P. Novel application of immersive virtual reality simulation training: a case report [EB/OL]. [2022-09-21]. https: //www.ncb-i.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8604004/pdf/jagrr-5-e21.00114.pdf.

27 DIBBLE C F, MOLINA C A. Device profile of the XVision-spine (XVS) augmented-reality surgical navigation system: overview of its safety and efficacy [J]. Expert review of medical devices, 2021, 18 (1): 1-8.

28 USCHER-PINES L, THOMPSON J, TAYLOR P, et al. Where virtual care was already a reality: experiences of a nationwide telehealth service provider during the COVID-19 pandemic [J]. Journal of medical internet research, 2020, 22 (12): e22727.

29 VENKATESAN A, ZIMMERMANN G, RAWLINGS K, et al. Improvements in glycemic control and depressive symptoms among adults with type 2 diabetes: retrospective study [EB/OL]. [2023-03-01]. https: //formative.jmir.org/2023/1/e41880/PDF.

30 EDWARDS C, ORELLANA E, RAWLINGS K, et al. Changes in glycemic control following use of a Spanish-language, culturally adapted diabetes program: retrospective study [J]. JMIR formative research, 2022, 6 (12): e40278.

31 MACK I, JUCHLER N, REY S, et al. Wearable technologies for pediatric patients with surgical infections-more than counting steps? [J]. Biosensors, 2022, 12 (8): 634.

32 STEINBERG C, PHILIPPON F, SANCHEZ M, et al. A novel wearable device for continuous ambulatory ECG recording: proof of concept and assessment of signal quality [J]. Biosensors, 2019, 9 (1): 17.

33 Anon. AMCP partnership forum: the evolving role of digital therapeutics [J]. Journal of managed care & specialty pharmacy, 2022, 28 (7): 804-810.

34 WRIGHT E E JR., MALONE D C, TRUJILLO J M, et al. Real-world persistence, adherence, health care resource utilization, and costs in people with type 2 diabetes switching from a first-generation basal insulin to a second-generation (insulin glargine 300 U/mL) vs an alternative first-generation basal insulin [J]. Journal of managed care & specialty pharmacy, 2022, 28 (6): 592-603.

35 SKALIDIS I, MULLER O, FOURNIER S. CardioVerse: the cardiovascular medicine in the era of metaverse [J]. Trends in cardiovascular medicine, 2022 (5): 1050-1738.

36 GUO H, GAO W. Metaverse-powered experiential situational English-teaching design: an emotion-based analysis method [J]. Frontiers in psychology, 2022, 13 (3): 859159.

37 WU T C, HO C B. A scoping review of metaverse in emergency medicine [J]. Australasian emergency care, 2023, 26 (1): 75-83.

38 AHUJA A S, POLASCIK B W, DODDAPANENI D, et al. The digital metaverse: applications in artificial intelligence, medical education, and integrative health [J]. Integrative

medicine research, 2023, 12 (1): 100917.

39 ALI S, ABDULLAH, ARMAND T P T, et al. Metaverse in healthcare integrated with explainable AI and blockchain: enabling immersiveness, ensuring trust, and providing patient data security [J]. Sensors, 2023, 23 (2): 565.

40 TAN T F, LI Y, LIM J S, et al. Metaverse and virtual health care in ophthalmology: opportunities and challenges [J]. Asia - pacific journal of ophthalmology, 2022, 11 (3): 237 - 246.

41 CASTELVECCHI D. Google's quantum computer hits key milestone by reducing errors [EB/OL]. [2023 - 03 - 01]. https://www.nature.com/articles/d41586 - 023 - 00536 - w.

42 RAJAK A, SUZUKI S, DUTTA A, et al. Quantum annealing: an overview [EB/OL]. [2023 - 03 - 01]. https://arxiv.org/pdf/2207.01827.pdf.

43 BARTOLUCCI S, BIRCHALL P, BOMBIN H, et al. Fusion - based quantum computation [J]. Nature communications, 2023, 14 (1): 912.

44 LV Z, QIAO L, LI Y, et al. BlockNet: beyond reliable spatial digital twins to parallel metaverse [J]. Patterns (N Y), 2022, 3 (5): 100468.

45 PETRIGNA L, MUSUMECI G. The metaverse: a new challenge for the healthcare system: a scoping review [J]. Journal of functional morphology and kinesiology, 2022, 7 (3): 63.

46 LEE C W. Application of metaverse service to healthcare industry: a strategic perspective [J]. International journal of environmental research and public health, 2022, 19 (20): 13038.

47 LI J. Impact of metaverse cultural communication on the mental health of international students in China: highlighting effects of healthcare anxiety and cyberchondria [J]. American journal of health behavior, 2022, 46 (6): 809 - 820.

48 YUAN W. Identifying the effect of digital healthcare products in metaverse on mental health: studying the interaction of cyberchondria and technophobia [J]. American journal of health behavior, 2022, 46 (6): 729 - 739.

49 XI N, CHEN J, GAMA F, et al. The challenges of entering the metaverse: an experiment on the effect of extended reality on workload [J]. Information systems frontiers, 2023, 25 (2): 659 - 680.

50 RAMESH P V, JOSHUA T, RAY P, et al. Holographic elysium of a 4D ophthalmic anatomical and pathological metaverse with extended reality/mixed reality [J]. Indian journal of ophthalmology, 2022, 70 (8): 3116 - 3121.

51 KOO H. Training in lung cancer surgery through the metaverse, including extended reality, in the smart operating room of Seoul National University Bundang Hospital, Korea [J]. Journal of educational evaluation for health professions, 2021, 18 (12): 33.

52 CHEN C P, CUI Y, CHEN Y, et al. Near - eye display with a triple - channel waveguide for metaverse [J]. Optics express, 2022, 30 (17): 31256 - 31266.

53 ZHANG X, CHEN Y, HU L, et al. The metaverse in education: definition, framework, features, potential applications, challenges, and future research topics [J]. Frontiers in psychology, 2022, 13 (10): 1016300.

54 ZENG Y, ZENG L, ZHANG C, et al. The metaverse in cancer care: applications and challenges [J]. Asia - Pacific journal of oncology nursing, 2022, 9 (12): 100111.

55 WIEDERHOLD B K, RIVA G. Virtual reality therapy: emerging topics and future challenges [J]. Cyberpsychology, behavior, and social networking, 2019, 22 (1): 3 - 6.

56 LU F, HUA J, ZHOU F, et al. Pixelated volume holographic optical element for augmented reality 3D display [J]. Optics express, 2022, 30 (10): 15929 - 15938.

57 GAO Y, LU Y, ZHU X. Mateverse, the future materials science computation platform based on metaverse [J]. Journal of physical chemistry letters, 2023, 14 (1): 148 - 157.

58 HUANG Z, CHOI D H, LAI B, et al. Metaverse - based virtual reality experience and endurance performance in sports economy: mediating role of mental health and performance anxiety [J]. Frontiers in public health, 2022, 10 (10): 991489.

59 BIBRI S E, ALLAM Z. The metaverse as a virtual form of data - driven smart cities: the ethics of the hyper - connectivity, datafication, algorithmization, and platformization of urban society [J]. Computational urban science, 2022, 2 (1): 22.

60 CHOW Y W, SUSILO W, LI Y, et al. Visualization and cybersecurity in the metaverse: a survey [J]. Journal of imaging, 2022, 9 (1): 11.

61 IQBAL J D, KRAUTHAMMER M, BILLER - ANDORNO N. The use and ethics of digital twins in medicine [J]. Journal of law, medicine and ethics, 2022, 50 (3): 583 - 596.

62 ZHAO J, LU Y, ZHOU F, et al. Systematic bibliometric analysis of research hotspots and trends on the application of virtual reality in nursing [J]. Frontiers in public health, 2022 (10): 906715.