

DOI: 10.61189/769612hdtoty

· 综述 ·

# Apple Vision Pro 在元宇宙医学中的应用

王 源<sup>1</sup>, 杨达伟<sup>1,2,3,4,5\*</sup>

1. 复旦大学附属中山医院呼吸与危重症医学科, 上海 200032
2. 复旦大学附属中山医院厦门医院呼吸与危重症医学科, 厦门 361015
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
5. 中国肺癌防治联盟, 上海 200032



**[摘要]** Apple Vision Pro 利用虚拟现实和增强现实技术, 能够为医学教育、临床诊断与治疗以及医疗管理等领域带来革命性的变革和贡献, 推动元宇宙医学的发展和應用。然而, 实际应用 Apple Vision Pro 的过程中也需要解决技术和伦理挑战, 包括数据隐私、安全性问题、医疗责任和法律法规考虑等。本文旨在探索 Apple Vision Pro 在元宇宙医学场景中的应用, 以期推广 Apple Vision Pro 在医学领域的应用, 促进医学教育、临床实践和医疗管理的全面进步。

**[关键词]** Apple Vision Pro; 虚拟现实; 增强现实; 医疗

**[中图分类号]** R-0 **[文献标志码]** A

## Application of Apple Vision Pro in metaverse in medicine

WANG Yuan<sup>1</sup>, YANG Dawei<sup>1,2,3,4,5\*</sup>

1. Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China
2. Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Zhongshan Hospital (Xiamen Branch), Fudan University, Xiamen 361015, Fujian, China
3. Shanghai Center for Medical Engineering and Technology, Shanghai 200032, China
4. Shanghai Institute of Respiratory Diseases, Shanghai 200032, China
5. Chinese Alliance Against Lung Cancer, Shanghai 200032, China

**[Abstract]** Apple Vision Pro harnesses the power of virtual reality and augmented reality to bring about revolutionary transformations and contributions in medical education, clinical diagnosis and treatment, as well as medical management. It drives the advancement and application of metaverse medicine. However, the actual implementation of Apple Vision Pro also entails tackling technical and ethical challenges, including data privacy concerns, security issues, medical liabilities, and legal considerations. This article aims to explore the application of Apple Vision Pro in the metaverse medical scenario, with the hope of promoting the adoption of Apple Vision Pro in the medical field, thereby fostering advancements in medical education, clinical practice, and medical management.

**[Key Words]** Apple Vision Pro; virtual reality; augmented reality; healthcare

元宇宙 (Metaverse) 一词源自作家 Neal Stephenson 的科幻小说《雪崩》, 描述了人们以虚拟形象在三维空间中与各种软件进行交互的世界。Metaverse 由 Meta 和 Verse 组成, Meta 表示超越,

Verse 代表宇宙 (universe), 合起来有“超越宇宙”的意思, 可以理解为平行于现实世界运行的人造虚拟空间。元宇宙连接了虚拟与现实世界, 有真实的设计和經濟环境, 是将人们关联起来的 3D 虚拟世界。

**[收稿日期]** 2024-06-02

**[接受日期]** 2024-06-25

**[基金项目]** 国家自然科学基金 (82170110), 上海市浦江人才计划 (20PJ1402400), 上海市健康科普人才能力提升专项 (青年英才) (JKKPYC-2023-A20), 2020 年度上海工程技术研究中心建设项目 (20DZ2254400), 福建省自然科学基金项目 (2022D014). Supported by National Natural Science Foundation of China (82170110), Shanghai Pujiang Talent Program (20PJ1402400), Project of Promoting Ability of Medical Science Popularization for Young Talents in Shanghai (JKKPYC-2023-A20), Project of Establishment of Shanghai Engineering Technology Research Center in 2020 (20DZ2254400), Natural Science Foundation of Fujian Province (2022D014).

**[作者简介]** 王 源, 硕士生. E-mail: wangyuan011022@163.com

\* 通信作者 (Corresponding author). Tel: 021-64041990, E-mail: yang.dawei@zs-hospital.sh.cn

用户在元宇宙中拥有自己的虚拟身份和数字资产,可以在虚拟世界里尽情互动,从事生产经营活动并创造价值<sup>[1-2]</sup>。

随着癌症等疾病高发,老龄化日趋严重,中国的慢性病患率与康复需求快速增长,人们一直希望通过科技赋能解决医疗资源短缺和患者治疗问题,同时实现数字经济与实体经济深度融合,在促进应用场景多元化的同时,也将促进相关企业的发展,形成良性循环,切实赋能实体经济全面升级,中国各地区都拉开了“元宇宙”新赛道布局的序幕。

Apple于2023年6月5日推出了备受期待的混合现实头显,名为Apple Vision Pro,配备卓越的4K显示屏,亮度达到5 000 nit<sup>[3]</sup>。与传统电脑上的物理屏幕不同,这款设备通过2个小型、高分辨率的显示屏将输出投影到用户的眼睛中。主要用户界面依赖于眼球追踪、手势、摄像头和传感器,消除了键盘或触摸屏等物理控制器的需求。近年来,随着增强现实(AR)和虚拟现实(VR)技术领域取得显著进展<sup>[4]</sup>,Apple Vision Pro在医学领域,包括医学和外科教育,身体和心理康复,远程医疗咨询等,展露巨大应用潜力<sup>[5]</sup>。

## 1 Apple Vision Pro

Apple Vision Pro采用微型OLED显示屏,像素密度非常高。每只眼睛的显示屏尺寸为1.4英寸,共拥有2 300万像素<sup>[5]</sup>。这些显示屏预计将为每只眼睛提供出色的4K分辨率,使用户沉浸在详细和高度逼真的视觉环境中<sup>[5]</sup>。虽然Apple并未提供显示分辨率、角分辨率(PPD)或视场角(FoV)的具体参数,但据技术分析师估算,其显示器的像素密度(PPI)达到每英寸4 000像素,亮度达到5 000 nit, FoV为120°, PPD为93,远高于Varjo VR-3。Apple Vision Pro还配备了2对前置摄像头、2对向下摄像头和1对侧置摄像头,每秒传输超过十亿像素到显示屏。摄像头系统结合红外食物照明器、LiDAR扫描仪和TrueDepth传感器,能够提供精准的头部和手部跟踪,实时3D映射,并能从各种位置识别手势<sup>[6-7]</sup>。

既往VR产品主要使用脑电图(EEG)设备测量用户情绪<sup>[8-9]</sup>。然而,VR体验的流动性与EEG测量所需的静止状态之间的冲突,使基于EEG的VR情绪测量方法的可行性存疑,需探索更可靠的情绪识别替代方法。2017年,FOVE 0首次亮相,其在VR中首次引入眼动追踪技术,标志着VR情绪识别技术新时代的开端。眼动追踪的出现为理解用户在

虚拟环境中的情绪反应提供了新视角和数据。然而,眼动追踪技术固有的局限性,限制了设备在全面情绪识别研究中的效用。2023年,Apple Vision Pro的推出是个重大的进步,其通过无缝结合高保真传感技术和面部识别技术,开发了VR情绪识别的新潜力。Apple Vision Pro的独特点在于其对每位用户进行个性化面部扫描,而不是采用通用面部仿真技术,如Meta和Vivo<sup>[10]</sup>。Apple Vision Pro因其高性能特征而独树一帜,尤其是其非常逼真的“穿透模式”,即几乎实时显示现实世界。8个朝外的摄像头将外界投影到其2 300万像素的内部屏幕上,仅延迟12 ms。4个内置摄像头追踪佩戴者的眼睛,使用户能够将屏幕和物品投影到他们的虚拟世界中;通过眼睛导航到它们,类似于使用计算机鼠标;并通过手势交互<sup>[11]</sup>。Apple Vision Pro拥有12个摄像头和5个传感器的复杂阵列,确保能够精准追踪面部微表情,为情绪检测提供详细框架。这一强大的传感器框架不仅确保了准确和个性化的面部识别和表达传输,标志着VR面部情绪识别的重大进展。

## 2 元宇宙医学场景

医疗健康行业存在传统设备简陋、医疗资源匮乏、地域差距明显和专业人才欠缺等挑战,VR、AR、混合现实(MR)等技术打破了数字虚拟世界与物理真实世界的界限,通过智能可穿戴交互设备能够基于具体场景及时、准确地给出相关信息及相应解决方案,在医学成像、手术辅助、医学教育、远程医疗、康复训练、药物研发等方面彰显价值,有利于优化传统医疗流程,提升医疗效果,减轻医务人员工作负担。

(1)医学影像:借助全息/虚拟现实显示的影像学数据,可以全面观察病灶细节、深度挖掘影像信息,有助于医生削减读片时间,降低误诊概率,同时患者能更直观理解病灶情况和治疗方案,促进医生和患者沟通。

(2)手术辅助:中国医疗机构的手术量逐年攀升,医生工作繁重。通过VR/AR/MR等技术可提高外科手术效率,如全息影像技术可弥补微创手术视野受限等问题,减少术中风险,降低术后并发症。

(3)医学教育:医学专业人员可以使用元宇宙平台进行高度逼真的手术模拟,练习复杂的外科技术和操作流程,提高实际手术中的准确性和效率。学生可以通过虚拟的人体模型进行三维解剖学习,深入理解器官结构和功能。护理人员能够借助虚拟环境中练习应对各种医疗情况的技能和决策,提

升护理团队的协作能力和应急响应水平。

(4)远程医疗:通过远程会诊,远程监控,慢病管理等远程医疗方式,可以更有效地利用专家资源,实时追踪患者的健康数据,及时调整治疗方案,提高了患者的便利性和医疗服务的可及性。

(5)康复训练:元宇宙技术在心理和生理康复训练中的应用可以提供高度个性化和沉浸式的治疗体验,增强患者的治疗体验和治疗效果,对于促进康复进程和改善生活质量具有重要意义。

(6)药物研发:元宇宙技术在药物研发中的应用不仅限于单一的靶点发现或活性化合物筛选,还包括分子设计和化学反应模拟等多个环节,通过增强研究人员的视觉和交互体验,加速了药物发现和优化的过程。

### 3 Apple Vision Pro在医学教育中的应用

3.1 虚拟解剖和生理学模拟 使用Apple Vision Pro可以呈现清晰的虚拟解剖模型,学生可以旋转、缩放和移动模型,了解器官的位置、形态和相互关系。Apple Vision Pro还可以模拟人体各系统的生理过程,如心脏的跳动、呼吸的运动等,帮助学生了解系统间相互作用<sup>[12]</sup>。

3.2 临床技能培训和模拟手术 学生可以使用Apple Vision Pro模拟手术操作。通过AR技术观察和操作虚拟手术台上的患者,练习如何正确使用手术器械和处理不同的病例情况。

Apple Vision Pro支持手术直播,使学生跨越地理限制,观看、学习全球各地的先进手术技术和操作方法,加深对手术操作的理解和熟悉程度。此外,Apple Vision Pro还可以记录学生在虚拟手术模拟中的操作数据,包括时间、精准度和操作步骤。这些数据可以用于实时的技能评估和反馈,帮助学生了解自己的优势和改进空间,并指导教师进行个性化的教学指导<sup>[13]</sup>。

3.3 医疗教育和学术交流 医生和学生可以通过虚拟环境交互,共同研究病例、制定治疗方案。医学院校和医院可以利用Apple Vision Pro进行实时手术直播和远程教学,让更多的学生和医生参与到高级手术的观摩和学习中,弥补优质医疗教育资源不足。Apple Vision Pro还可以支持举办虚拟医学会议和研讨会,便于医学知识的交流和进步<sup>[14]</sup>。

### 4 Apple Vision Pro在临床诊断和治疗中的应用

4.1 远程诊疗和虚拟探视 医生可以利用Apple Vision Pro的高清摄像头和传感器获取患者的生理

数据和视频图像,实现远程诊断、监控病情进展,甚至支持远程手术操作。这对于偏远地区的医疗机构或基层医生尤为有益。不同地区的医疗团队可以利用Apple Vision Pro进行跨地区协作。患者可以利用Apple Vision Pro的设备,在家中完成定期随访,如医生通过视频了解患者的症状和身体状况,提供医疗建议和处方更新。这种方式不仅方便患者,也可降低医疗资源的压力<sup>[15]</sup>。

4.2 辅助手术和精确导航 通过高精度的传感器和实时数据传输技术,医生可以利用Apple Vision Pro在手术中获取实时解剖结构图像、患者生理数据和手术仪器的状态。这些信息辅助医生在手术过程中进行精确导航和定位,帮助医生进行更为精准的手术操作,减少对周围组织的影响和损伤,提高手术的成功率和患者的安全性<sup>[16-17]</sup>。

4.3 康复训练和心理治疗 Apple Vision Pro可用于监测患者的运动和姿势,如关节活动范围、运动频率等,帮助医生评估患者的康复进展,并为个性化的康复计划提供数据支持。VR和AR技术,使患者能在安全的环境中进行康复训练。例如,患者可以通过头戴式显示设备进行虚拟步态训练,模拟不同的行走场景以促进步态的恢复。

Apple Vision Pro允许患者通过视频会议与心理健康专家进行远程心理治疗,提高治疗的便捷性和可及性。如果Apple Vision Pro整合生理参数和情绪识别技术,它还可以帮助医生和患者实时监测情绪状态,如通过面部表情分析和声音情感识别,从而调整治疗方案,提供更为个性化的心理支持<sup>[18]</sup>。

### 5 Apple Vision Pro在医疗管理中的应用

5.1 医疗数据的可视化和分析 Apple Vision Pro通过传感器和摄像头收集患者的生理数据,如心率、血压、活动等,并实时传输到设备或云端服务器进行存储。Apple Vision Pro还能集成数据分析和机器学习算法,自动分析患者的健康数据。例如,提供直观的用户界面展示患者的健康数据,如生理参数的趋势图、运动记录、睡眠质量等,帮助医护人员快速了解患者的健康状态;识别数据中的异常模式或趋势,并生成警报或建议,帮助医护人员及时干预。

5.2 虚拟医院和患者管理系统 医生Apple Vision Pro设备远程监测患者的健康数据,如心率、血压、血氧等,实时评估患者的健康状况,提供远程诊断和治疗建议。实时监测患者的生理参数,并设定警报条件。医护人员可以接收到警报,及时采取措施。将Apple Vision Pro集成到患者管理系统中,还

有助于记录和管理患者的健康数据,以便医生和护士了解患者的病历和健康趋势<sup>[19]</sup>。

**5.3 医疗团队的协作和沟通平台** Apple Vision Pro通过远程会诊和多学科协作、影像和数据分享、实时数据监测和警报系统、安全的信息共享和访问控制,教育和培训支持,移动性和便捷性等,有效促进医疗团队的协作效率和医疗质量,同时改善患者的医疗体验<sup>[20]</sup>。

## 6 Apple Vision Pro的医疗应用

**6.1 肺癌根治术** 2024年5月13日,北京大学人民医院高健医生完成了首例Apple Vision Pro辅助胸腔镜肺癌根治术<sup>[21]</sup>。数字内容融入真实世界,为医生提供了高清晰度、无延迟的手术场景,使医生能够顺利完成手术全过程。更重要的是,肺部血管解剖变异普遍存在,三维重建技术清晰展示胸腔内的解剖结构,使病灶部位与周围脏器、血管等重要组织器官之间的三维空间关系能够得到精准识别和测量,实现精准手术风险评估。Apple Vision Pro的显示技术和眼睛、手与语音的多重交互方式,在不需其他人辅助的情况下,术者可以自行非接触式调阅阅读患者信息及影像资料,并能自行调整血管三维重建的视角,从各种不同角度详细观察肺内组织、血管、气管、病灶,减少手术风险和并发症,增加手术安全性。

**6.2 肩关节镜微创手术** 巴西Bruno Gobbato医生借助Apple Vision Pro成功完成肩关节镜微创手术<sup>[22]</sup>。佩戴Apple Vision Pro头显之后,术者不仅能看到电影屏幕大小的高分辨率图像,还能实时看到患者的各项检查数据以及3D模型。Gobbato医生大加赞赏Apple Vision Pro头显的高动态范围,他表示在尝试佩戴Apple Vision Pro头显进行手术之前,曾担心手术室的强光会导致聚光灯周围变暗,但实际上影响并不大。他还在YouTube上分享了一段视频,展示如何利用Apple Vision Pro同时查看笔记、病人的X光片和实时摄像头。

**6.3 腹腔镜乙状结肠癌根治术** 2024年4月,吉林大学白求恩第三医院胃肠结直肠外科谢士医生团队成功完成世界首例应用Apple Vision Pro头显辅助的腹腔镜乙状结肠癌根治术<sup>[23]</sup>。在此次手术中苹果Vision Pro发挥了多层面重要作用。第一,头显采用先进的增强现实技术,为医生提供高清晰度、大视野的手术场景,使医生能够清晰地观察手术过程中的解剖细节,提高手术操作的精准度和安全性。第二,头显支持实时导航和指引功能,帮助

医生准确定位和操作手术目标,降低手术风险和并发症发生风险。同时,头显还可以实时记录和远程教学手术过程,促进传播和分享医疗知识,辅助医生培训和教学。该手术的成功标志着腹腔镜手术进入了“去”显示器时代,开启新里程。

**6.4 视障辅助技术** Apple Vision Pro可以革新视觉缺陷人群的辅助技术。Apple Vision Pro为每只眼睛都配备了优异的4K显示和高亮度,极大增强了用户的视觉体验<sup>[24]</sup>。夜盲症是指眼睛在光到暗之间无法适应的状况<sup>[25]</sup>。近视、遗传性视网膜营养不良和维生素A缺乏是导致夜盲症的多种病因之一,全球有数百万人受此影响。Apple Vision Pro在红外摄像头周围引入LED照明器,在低光条件下与外部传感器配合工作,以增强手部跟踪性能,帮助夜盲症患者协调动作,增强独立性<sup>[26]</sup>。AR还可以有效恢复黄斑裂孔患者的视力<sup>[27]</sup>,并用于神经前庭康复。此外,它将使视觉缺陷人士能够在VR环境中更准确地传达他们的感知缺陷。AR还可帮助验光师为低视力患者设计更好的辅助设备。AR模式下,Apple Vision Pro从外部看是透明的,可以显著降低患者因佩戴孤立的头戴设备而产生社会排斥感<sup>[27]</sup>。

**6.5 斜视治疗** Apple Vision Pro的应用可以改变斜视的识别和管理方法。斜视是眼睛的间歇性或持续性眼位不正,是导致弱视的强风险因素,及时识别和干预在减轻与斜视相关的眼部功能障碍中具有至关重要的作用。最近一项研究<sup>[28]</sup>使用名为EyeTurn的智能手机应用进行学校视力筛查,以识别斜视。该应用程序利用计算机化的赫舍伯格测试测量眼球的错位情况,并具有较高的应用潜力<sup>[29]</sup>,该技术可与Apple Vision Pro结合使用。

此外,Apple Vision Pro可整合眼部锻炼,以促进斜视的康复。新加坡国立眼科中心开发了MyEyeGym<sup>[30]</sup>以管理斜视,特别是间歇性外斜视和融合不足等最常见的斜视形式。该应用可提供一系列眼部锻炼,强化眼部肌肉,避免手术干预。另一项研究<sup>[31]</sup>证实,以高效和多功能的方式提高斜视康复者的参与感可以促进斜视康复。因此,可在Apple Vision Pro中整合眼部锻炼,或使用VR技术,构建引人入胜的视力疗法,可提高康复过程的有效性。

## 7 Apple Vision Pro在医疗中运用的技术和伦理挑战

**7.1 数据隐私和安全性问题** Apple Vision Pro涉及大量患者的敏感和私密健康数据,包括生理参数、

医学影像、健康记录等,需要严格保护,避免无授权访问或使用。收集患者数据时,应确保患者知情同意,并明确数据收集目的和使用范围。任何形式的数据共享必须符合相关法律法规和伦理准则,以保护患者的隐私安全。在数据传输和存储过程中,必须采取安全措施,如加密传输、身份验证、访问控制等,防止数据在传输或存储过程中被窃取或篡改。

医疗信息系统面临黑客和恶意软件的持续威胁。保护 Apple Vision Pro 的网络安全至关重要,包括对网络设备和服务器进行安全配置和更新,以及实施有效的入侵检测和防御措施。如果 Apple Vision Pro 涉及到物理设备(如医疗设备或传感器),这些设备必须具备安全性能,防止未经授权的访问或操控。当平台使用 AI 或 ML 技术进行数据分析时,必须确保算法的安全性和可解释性,以及对结果的正确性进行验证,避免出现数据泄露或误解的情况。

**7.2 医疗责任和法律法规的考虑** 将 Apple Vision Pro 作为医疗设备,必须确保其收集、分析和传输的医疗数据准确可靠。任何因技术失误或数据错误而导致的医疗判断错误,可能会对患者的健康造成风险。因此,确保设备的高精度和稳定性至关重要。尽管 Apple Vision Pro 可以提供自动化的医疗服务,但医疗专业人员仍然需要参与和监督医疗服务流程。设备的使用者必须具备足够的培训和技能,以正确解释和应用设备提供的数据和建议。

Apple Vision Pro 必须符合当地的医疗设备认证和监管标准,包括美国食品药品监督管理局(FDA)等机构的批准,以确保设备的安全性、有效性和质量。制造商需要在产品责任保险和责任法律框架下进行评估和管理,以减少因产品缺陷或误用而可能面临的法律诉讼风险。在使用 Apple Vision Pro 时,应当充分告知患者设备的使用目的、风险和预期效果。患者的知情同意是法律上的必要要求,特别是涉及到数据收集和个人健康信息的情况下。Apple Vision Pro 的应用可能涉及跨境医疗服务,因此需要遵守不同国家和地区的法律法规。这包括数据保护法、医疗设备使用法规等,制造商和使用者需进行全面的法律合规性评估。

**7.3 用户适应性和技术普及的障碍** 对于一些患者和医疗工作者来说,尤其是年长者或技术素养较低的人群,可能需要学习使用 Apple Vision Pro,适应新界面和操作流程。用户界面设计和交互体验至关重要。良好的设计可以帮助用户更容易地理解 and 操作设备,缩短学习曲线,提高设备的可接受度和使用效率。文化背景和语言差异可能影响用户对

技术的接受和使用,为不同文化和语言群体定制界面和说明文档是提高设备普及率的重要步骤。

Apple Vision Pro 作为高科技医疗设备,采购和维护成本较高,某些医疗机构和患者可能难以承受。将 Apple Vision Pro 纳入医疗保险是普及其在医疗市场上推广和应用的关键因素之一。此外,精心的推广策略、市场教育,相关医疗专业团体和政府监管机构的支持和认可,对于设备的普及起到至关重要的作用。

## 8 展望

未来,Apple Vision Pro 可能会朝多方面发展,带动技术进步和创新,为医疗保健提供更先进、更个性化和更高效的解决方案。(1)个性化医疗:基于 Apple Vision Pro 收集到的个体健康数据,结合人工智能算法,设备会为每位患者提供定制化的健康管理建议和预防措施,实现精准化个体诊疗。(2)用户体验设计和界面互动:设备的用户界面设计关乎使用体验和操作效率。Apple Vision Pro 通过直观的设计和智能交互方式,可以提升医疗专业人员和患者的接受度和使用效率。(3)安全和隐私保护:随着技术的发展,设备必须增强对患者数据的保护和隐私保密性,确保医疗信息不被未授权的访问者获取。

Apple Vision Pro 利用 VR 和 AR 技术,为医学教育、临床诊断与治疗以及医疗管理等领域带来革命性的变革和贡献,推动元宇宙医学的发展和应用。进一步研究和推广 Apple Vision Pro 的应用,可以实现医学技术的持续革新,为全球医疗保健系统带来显著的改进和现代化。这不仅有助于提升患者的治疗体验和健康结果,也将推动整个医疗行业朝着更智能、更可持续的方向发展。

**伦理声明** 无。

**利益冲突** 所有作者声明不存在利益冲突。

**作者贡献** 王源:撰写论文;杨达伟:修改论文。

## 参考文献

- [1] YANG D, ZHOU J, CHEN R, et al. Expert consensus on the metaverse in medicine[J]. Clin eHealth, 2022; 5: 1-9.
- [2] YANG D W, SUN M T, ZHOU J, et al. Expert consensus on the "digital human" of metaverse in medicine[J]. Clin eHealth, 2023, 6: 159-163.
- [3] Apple Vision Pro [EB/OL]. [2024-06-01]. <https://www.apple.com.cn/apple-vision-pro/>.
- [4] YEUNG A W K, TOSEVSKA A, KLAGER E, et al. Virtual and augmented reality applications in medicine: analysis of the

- scientific literature [J]. *J Med Internet Res*, 2021, 23(2): e25499.
- [5] WAISBERG E, ONG J, MASALKHI M, et al. Apple Vision Pro: the future of surgery with advances in virtual and augmented reality[J]. *Ir J Med Sci*, 2024, 193(1): 345–346.
- [6] MASALKHI M, WAISBERG E, ONG J, et al. Apple Vision Pro for ophthalmology and medicine [J]. *Ann Biomed Eng*, 2023, 51(12): 2643–2646.
- [7] ZHANG Z H, GIMÉNEZ MATEU L G, FORT J M. Apple Vision Pro: a new horizon in psychological research and therapy [J]. *Front Psychol*, 2023, 14: 1280213.
- [8] SUHAIMI N S, MOUNTSTEPHENS J, TEO J. EEG-based emotion recognition: a state-of-the-art review of current trends and opportunities [J]. *Comput Intell Neurosci*, 2020, 2020: 8875426.
- [9] PINILLA A, GARCIA J, RAFFE W, et al. Affective visualization in virtual reality: an integrative review [J]. *Front Virtual Real*, 2021, 2: 630731.
- [10] ZHANG Z H, FORT J M, GIMÉNEZ MATEU L. Facial expression recognition in virtual reality environments: challenges and opportunities [J]. *Front Psychol*, 2023, 14: 1280136.
- [11] O'CALLAGHAN J. Apple Vision Pro: what does it mean for scientists?[J]. *Nature*, 2024.
- [12] WAISBERG E, ONG J, MASALKHI M, et al. Apple Vision Pro and why extended reality will revolutionize the future of medicine. *Ir J Med Sci*, 2024, 193(1): 531–532.
- [13] WAISBERG E, ONG J, MASALKHI M, et al. Apple Vision Pro and the advancement of medical education with extended reality. *Can Med Educ J*, 2024, 15(1): 89–90.
- [14] GUPTA R K, PAWA A. Beam me up, Scotty! Apple Vision Pro highlights how we could teleport ultrasound-guided regional anesthesia education into the future[J]. *Reg Anesth Pain Med*, 2024: rapm-2024-105424.
- [15] DHAWAN R, BIKMAL A, SHAY D. From virtual to reality: Apple Vision Pro's applications in plastic surgery [J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2024, 94: 43–45.
- [16] Cromwell Hospital. eXeX and Cromwell Hospital pioneer the first use of Apple Vision Pro in UK surgery [EB/OL]. [2024-06-01]. <https://www.cromwellhospital.com/newsroom/news/exex-and-cromwell-hospital-pioneer-the-first-use-of-apple-vision-pro-in-uk-surgery/>.
- [17] GEM Hospital. Revolutionizing surgery with augmented reality: GEM Hospital's Vision Pro journey [EB/OL]. [2024-06-01]. <https://chennai.gemhospitals.com/revolutionizing-surgery-with-augmented-reality-gem-hospitals-vision-pro-journey/>.
- [18] OLEXA J, TRANG A, COHEN J, et al. The apple vision pro as a neurosurgical planning tool: a case report [J]. *Cureus*, 2024, 16(2): e54205.
- [19] DIAZ N. Apple touts Vision Pro as healthcare tool [EB/OL]. [2024-06-01]. <https://www.beckershospitalreview.com/disruptors/apple-touts-vision-pro-as-healthcare-tool.html>.
- [20] Apple Vision Pro unlocks new opportunities for health app developers [EB/OL]. [2024-06-01]. <https://www.apple.com/newsroom/2024/03/apple-vision-pro-unlocks-new-opportunities-for-health-app-developers/>.
- [21] 北大人民医院. 北大人民医院王俊院士团队完成首例应用 Apple Vision Pro 辅助胸腔镜肺癌根治术 [EB/OL]. [2024-06-01]. <https://news.pku.edu.cn/xwzh/6642b86537fb429fa2828b2306248a3b.htm>.
- [22] Jaraguá FM101.3. Apple Vision Pro é usado em cirurgia ortopédica em Jaraguá do Sul [EB/OL]. [2024-06-01]. <https://www.diariodajaragua.com.br/saude/apple-vision-pro-e-usado-em-cirurgia-ortopedica-em-jaragua-do-sul/479728/>.
- [23] 医学界. 世界首例! 中国医生戴着 Apple Vision Pro 完成一例肿瘤根治术 [EB/OL]. [2024-06-01]. <https://new.qq.com/rain/a/20240503A05FW500>.
- [24] SARKER P, ZAMAN N, ONG J, et al. Test-retest reliability of virtual reality devices in quantifying for relative afferent pupillary defect [J]. *Trans Vis Sci Tech*, 2023, 12(6): 2.
- [25] WAISBERG E, ONG J, PALADUGU P, et al. Advances in machine learning to detect preventable causes of blindness. *Eye (Lond)*, 2023, 37(12): 2582–2583.
- [26] WAISBERG E, ONG J, MASALKHI M, et al. The future of ophthalmology and vision science with the Apple Vision Pro. *Eye (Lond)*, 2024, 38(2): 242–243.
- [27] ONG J, ZAMAN N, WAISBERG E, et al. Head-mounted digital metamorphopsia suppression as a countermeasure for macular-related visual distortions for prolonged spaceflight missions and terrestrial health [J]. *Wearable Technol*, 2022, 3: e26.
- [28] ONG J, TAVAKKOLI A, ZAMAN N, et al. Terrestrial health applications of visual assessment technology and machine learning in spaceflight associated neuro-ocular syndrome [J]. *NPJ Microgravity*, 2022, 8(1): 37.
- [29] CHENG W B, LYNN M H, PUNDLIK S, et al. A smartphone ocular alignment measurement app in school screening for strabismus [J]. *BMC Ophthalmol*, 2021, 21(1): 150.
- [30] MyEyeGym: Your App for Eye Exercises [EB/OL]. [2024-06-01]. <https://www.healthxchange.sg/head-neck/eye-care/strabismus-eye-exercise-app>.
- [31] CEPEDA-ZAPATA L K, ROMERO-SOTO F O, DIAZ DE LEON V A, et al. Implementation of a virtual reality rendered in portable devices for strabismus treatment based on conventional visual therapy [J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2019, 2019: 7189–7192.

## 引用本文

王源, 杨达伟. Apple Vision Pro 在元宇宙医学中的应用 [J]. *元宇宙医学*, 2024, 1(2): 27–32.

WANG Y, YANG D W. Application of Apple Vision Pro in metaverse in medicine [J]. *Metaverse Med*, 2024, 1(2): 27–32.