

元宇宙医学在慢性疾病健康管理中应用的研究进展

孙梦婷^{1,3▲} 杨达伟^{1,2,3,4,5▲} 谢林杉^{1,3} 周建^{1,3,4} 宋元林^{1,2,3,4} 白春学^{1,3,4,5△}

(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)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】 元宇宙以虚拟现实、数字孪生、物联网、区块链等新兴技术融合方式闯入人们的视野。目前的医疗保健体系中,对慢性阻塞性肺病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)、阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征(obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome, OSAHS)、肺结节、冠心病等慢性疾病的管理,仍面临着医疗资源分布不均、随访困难、专科医师负担过重等问题。而具有工业水平且融合了先进人工智能、脑机接口等数字化技术的元宇宙医学平台,可能会逐渐解决这些问题。随着新型计算机和信息技术的发展,在数字化医疗承上启下发挥有益铺垫效用的基础上,元宇宙+医疗的场景正有望重塑下一代数字医疗。本文将讨论和综述这些技术如何融合形成元宇宙医学及其在数字医疗中的实践应用前景。

【关键词】 元宇宙; 医疗健康; 物联网医学; 慢性疾病; 虚实交互; 专家共识

【中图分类号】 R-05, R319 **【文献标志码】** B **doi:** 10.3969/j.issn.1672-8467.2023.02.021

Research progress on the application of metaverse in chronic diseases health management

SUN Meng-ting^{1,3▲}, YANG Da-wei^{1,2,3,4,5▲}, XIE Lin-shan^{1,3}, ZHOU Jian^{1,3,4},
SONG Yuan-lin^{1,2,3,4}, BAI Chun-xue^{1,3,4,5△}

(¹Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China; ²Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, Zhongshan Hospital Xiamen Branch, Fudan University, Xiamen 361015, Fujian Province, China; ³Shanghai Engineer & Technology Research Center of Internet of Things for Respiratory Medicine, Shanghai 200032, China; ⁴Shanghai Respiratory Research Institution, Shanghai 200032, China; ⁵Chinese Alliance Against Lung Cancer, Shanghai 200032, China)

【Abstract】 The metaverse has broken into the limelight with the convergence of emerging technologies such as virtual reality, digital twins, the Internet of Things, and blockchain. The current healthcare system, for example, for chronic obstructive pulmonary disease (COPD), obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome (OSAHS), pulmonary nodules, coronary heart disease, and the management of chronic diseases still faces problems such as uneven distribution of medical resources, difficulties in follow-up, and overburdened specialists. While metaverse in medicine platforms that are industrial level and incorporate advanced artificial intelligence, brain-computer interfaces, and other digital technologies may

国家自然科学基金(82170110);福建省科学技术厅杰出青年基金(2022D014);上海市浦江人才计划(20PJ1402400);上海市科委上海工程技术研究中心建设计划(20DZ2254400);上海市科技创新行动计划(21DZ2200600);上海市重点实验室计划(20DZ2261200);上海市市级科技重大专项(ZD2021CY001);上海市临床重点专科建设项目(shslczdsk02201)

▲SUN Meng-ting and YANG Da-wei contributed equally to this work

△Corresponding author E-mail: bai.chunxue@zs-hospital.sh.cn

网络首发时间: 2023-03-14 10:50:32 网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1885.R.20230312.2036.006.html>

gradually solve these problems. With the development of these new computer and information technologies, the metaverse + medical scenario is promising to reshape the next generation of digital health care based on the excellent paving effect of digital health care to carry on. In this paper, we will review and discuss how these technologies are converging to form meta-universe medicine and the prospects of its practical application in digital health care.

【Key words】 metaverse; medical health; IoT medicine; chronic diseases; virtual-real interaction; expert consensus

* This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (82170110), Fund for Distinguished Young Scholars of Department of Science and Technology, Fujian Province (2022D014), Shanghai Pujiang Talents Program (20PJ1402400), Shanghai Engineering Technology Research Center Construction Plan of Science and Technology Commission of Shanghai Municipality (20DZ2254400), Shanghai Science and Technology Innovation Action Plan (21DZ2200600), Shanghai Key Laboratory Plan (20DZ2261200), Shanghai Municipal Science and Technology Major Project (ZD2021CY001) and Shanghai Municipal Key Clinical Specialty Construction Project (shslczdk02201).

随着时代的发展,人类的疾病谱已发生改变,目前慢性非传染性疾病已成为人类健康的主要威胁,如癌症、慢性阻塞性肺病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)、糖尿病、心血管疾病、哮喘等,而对慢性疾病的预防和保健仍有待加强^[1]。目前常见的医疗问题是未做好一级预防和二级预防,即病因预防和临床前期预防。未患病者要控制危险因素、预防患病;已患病者要控制疾病进展,以免小病发展成大病。关口前移才能更好地维护个体健康。例如对于呼吸系统,需要关注与肺癌早期密切相关的肺结节问题^[2]。目前有能力对直径 ≤ 0.5 mm的肺结节进行诊断且准确率 $\geq 99\%$ 的专家少之又少^[3],造成此问题的原因可能与传统医疗模式有关,即“三低、二难、四差”。“三低”指社区医院高端设备覆盖率低、高端技术掌握度低、患者认可度低;“二难”指住名院难、看名医难;“四差”指预防差、管理差、治疗差、康复差^[4]。因此新的医疗模式应运而生,数字医疗设备的出现,大大丰富了医学信息的内涵和容量,从一维信息的可视化,如心电和脑电等重要的电生理信息;到二维信息,如CT、MRI、彩超等医学影像信息;进而三维可视化,甚至可以获得四维信息,如实时动态显示的三维心脏。这些信息极大地提高了医师的诊断技能,使医学进入了一个全新的可视化的数字时代。

自2021年元宇宙的概念出现后就引发了各行各业广泛讨论,并跻身了2022年度中国十大学术热点之一。它被认为是互联网的下一个版本,甚至是互联网的终极形态。针对许多慢性疾病的诊疗与管理都存在的不足之处,有专家学者提出了应用先

进数字化技术开创现代化“元宇宙医学”,其中白春学教授等多学科专家们发表了“Expert Consensus On the Metaverse In Medicine”,此专家共识首先明确了元宇宙医学的定义,就如何发展元宇宙医学,更好地服务医学和大健康达成了共识^[5]。与现在流行的数字疗法相对应,元宇宙是整合多种新技术而产生的新型虚实相融的互联网应用和社会形态,依托互联网、5G数据、虚拟仿真技术等数字信息技术构成的一种沉浸式体验的互联网要素融合形态^[6]。发展元宇宙医学的终极目标是“治未病”,升级诊疗模式,提高大健康和防病治病水平,这也和《健康中国2030规划纲要》里的目标一致^[7]。

元宇宙医学的概念 元宇宙是人类对未来数字化生存的深远想象,其连接了虚拟与现实,是一个能将所有人关联起来的3D虚拟世界,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^[8]。不同实践经验表明元宇宙的范畴和应用将非常广泛,不但可用于社交、电商、教育、游戏和支付的一般场景,而且可用于医学等特殊场合^[9]。共识^[5]中提出了“元宇宙医学”的定义是通过AR/VR眼镜实践的物联网医学。具体而言,元宇宙医学是一个将虚拟世界拉入现实世界并实现多维互动的混合现实医学网络平台,患者、家属、医护人员等用户都能进行社会性、精神性交互活动。技术上,在传统互联网的基础上,元宇宙在沉浸式、参与度、永续性方面提出了更高的要求,因此将会由许多独立工具、平台、基础设施、协议等支持其运行。随着虚拟现实(virtual reality, AR)、增强现实(augmented reality, VR)、混合现实(mixed

reality, MR) 5G、云计算等技术成熟度提升,元宇宙医学有望逐渐从概念走向现实。元宇宙医学出现并且越来越受到重视是因为VR和AR技术将使每个人都能在虚拟世界中使用数字化身进行面对面的交流,技术进步已经改变了电子商务,并可能导致综合医疗保健和医疗服务应用的变化。

元宇宙医学的技术体系 发展元宇宙医学的目的是允许医疗服务逐步虚拟化,以便为患者、专业人员以及护理人员提供实时的个性化健康和护理。在物联网的帮助下,软件构建块和大数据工具“对象”将被虚拟化,能够实时分析物理世界的现状并可以虚实结合,这将进一步推动医疗的个体化和精准化发展^[10]。元宇宙医学将促进人工智能、物联网、数字孪生、区块链、脑机接口、AR/VR/MR等新兴技术的大融合,构建元宇宙医学虚实交互的技术体系。

全息构建+全面感知 将肺结节诊治亚太指南和中国专家共识融于PNapp5A(AI肺结节管理程序)之中的体系,通过全面感知与全息构建技术,进行肺结节初评和研判二流程。同质化诊治肺结节中的早期肺癌,协助虚实专家服务患者^[3]。还可以应用元宇宙医学概念,改善教学和培训效率,解决无法让云专家全时空身临其境地进行科普教育和专业讲座,以及无法请云专家全时空指导“端”医师的诊疗工作的问题。

全息仿真+智能处理 通过AR实施物联网医学并基于PNapp5A,通过智能处理和全息仿真技术辅助虚实专家评估难定性肺结节,提高同质化诊疗水平^[3]。

虚实融合+质量控制 在元宇宙医学中,虚实融合技术也将有效地增强参与者(医师、患者)、真实环境(设备)和虚拟环境(虚拟医师、患者和设备)三者之间的无缝融合。构建虚实融合环境涉及高精度定位、虚拟与真实环境融合呈现、光学显示、多感知交互等关键技术,同时需要在AR眼镜上展示物联网智能诊疗和管理水平,特别是质量控制。

虚实联动+人机融合 医学中的“人机融合”即云专家与机器人一同讨论解决医学的问题。我们提出通过程序使虚实联动-人机融合问题体系化,称为“人机MDT(multi-disciplinary team)”^[11]。基于程序化数字技术,辅助进行虚实联动的一体化工作。

元宇宙医学与物联网医学的联系 物联网是

一个通过互联网相互连接的物理事务网络,可涵盖全面感知、可靠传输与智能处理的硬件和软件技术,包括传感器、执行器、可穿戴设备、信息通信、云计算技术等。中国呼吸病的物联网医学在全球开展最早,并已经取得很多经验,部分已用于临床实践。物联网医学在人工智能辅助肺癌早期诊断、COPD、哮喘等慢性疾病管理以及智能辅助诊治病毒性肺炎等方面发挥了巨大作用^[12]。这些成果为元宇宙医学的开天辟地奠定了坚实基础。在“物联网肺功能智能辅助管理COPD”临床工作中,应用“物联网肺功能+临床信息+CT影像”,通过智能处理信息来管理患者,并通过大数据训练,结合便携物联网设备,给每一名患者提供精确的日常生活指导和适当的活动规划,促使病情缓解,提高生存质量,这些都可以结合到元宇宙医学平台上并且得到强化与改善。物联网医学平台是云计算技术在医疗卫生领域的一种应用,可以协调社区医院、区医院和医学中心分工,三级联动、高效精准地完成物联网医学五步法分级诊疗工作^[13]。尤其是新冠疫情期间,远程医疗、线上就医等数字医疗需求明显增强,而物联网医学的出现大大解决了这些问题^[14]。

物联网可辅助4P医学的实践并且协助提高医疗水平,其在美国、英国、日本、中国等多个国家都得到了广泛认可。但是目前物联网医学仍存在诸多限制,例如无法让云专家全时空身临其境地进行科普教育和专业讲座;无法请云专家全时空指导“端”医师的诊疗工作等^[5]。要想解决这些难题,就需要更完善的技术平台。元宇宙医学的出现,特别是能解决人与计算机交流互动、虚实融合和虚实联动等问题的混合现实技术的出现,为解决这些问题奠定了基础,全息构建和全息仿真技术可进一步提高物联网医学水平,虚实融合和互动可克服物联网医学局限性,更好地为患者解决问题,进一步提升诊疗辅助水平,可将其用于医疗和大健康,惠及众生和造福社会。

元宇宙医学的应用前景 近年来,物联网医学已为元宇宙医学拓展了许多重要的应用场景,例如BRM(BaiDX plus RealMax in Medicine)一体机的研发即可称为元宇宙医学的原型,其大幅度改善了医疗教学和培训效果,例如,使用全息仿真技术使学员们沉浸式理解吸烟诱发肺癌的过程,证明了元

宇宙医学提供技术支持可实现物联网医学价值的最大化。在临床工作中,最能体现元宇宙医学价值的将是“虚实联动—人机融合”,元宇宙医学网络平台将弥补物联网医学的短板,“云”专家可以通过平台全时空地指导经验较少的“端”医师,控制临床医疗质量,改善临床医师诊疗水平。目前体现虚实联动的技术已经非常成熟,但在临床应用中还需要人机高度融合才能产生更好的诊疗效果。不同于人工智能,人机融合智能主要侧重大脑支配的与电脑相结合的智能问题。前述专家共识中提到的“人机MDT”概念,是指通过编程将虚拟现实互联和人机集成相结合,为系统化地解决问题,采用程序化数字技术,促进虚拟与现实的互联互通^[5]。通过“人机MDT”程序使“虚实联动—人机融合”问题体系化,基于程序化数字技术,辅助进行虚实联动的一体化工程。多年临床应用结果表明^[12],人机MDT有效体现了元宇宙医学的临床价值,提高了肺结节评估的敏感性和特异性。

元宇宙医学改善医疗保健的质量可以体现在各个方面。VR技术可与三维成像技术相结合,为临床提供更强大的医学影像处理和分析能力,确保诊断的准确性,同时提高医师诊断工作的效率。在外科领域,元宇宙医学也有巨大的应用空间,VR技术可辅助术前规划、制定手术方案和支持手术操作^[15-16]。例如全球最大的医疗器械公司美敦力已经与AR初创公司Surgical Theatre合作开展了一项计划,为神经外科医师提供一种在进入手术室之前测试其手术策略的方法,并在手术过程中使用AR为外科医师提供手术的实时3D视图,以便更好地导航。Osso VR公司推出了虚拟现实手术培训与评估平台用于对外科医师的教学培训,大大增强了沉浸感与真实感^[17]。MR技术还可辅助康复训练^[18],康复医师可通过移动端对患者进行跨时空的远程监控和指导,医师通过操作手柄或与其他触觉方式结合,针对性地对患者进行肢体、神经、器官等方面的训练,提高康复效率。这些数字化技术也可用于辅助恐惧症、抑郁症、自闭症等精神类疾病的治疗^[19],例如美国的Floreo公司创建了第一个行为治疗元宇宙,为孤独症谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)、多动症、焦虑症和其他神经多样性疾病患者教授社交、行为、沟通和生活技能。

结语 元宇宙的出现将会给医疗保健带来无

限可能,促进数字医疗或精准医疗的发展,数字孪生、人工智能、脑机接口、区块链等数字技术的进步是实现元宇宙的技术基础。通过元宇宙医学的全息构建、全息仿真、虚实融合和虚实联动等技术平台,融合全面感知、可靠传输和智能处理的物联网医学流程。晦涩难懂的医学知识和数据通过直观形象的方式进行呈现,高成本的医学协作、实验、教学等行为可以通过“数字人”在沉浸式环境中得以开展。人们能够应用混合现实技术,将虚拟世界拉入现实世界进行互动,全时空地解决临床和大健康亟待攻克的问题。但数字技术不断发展的同时也不可避免地带来了一些隐患^[20]。医学领域不同于其他领域,存在独有的伦理和规则,如何在元宇宙医学中把握界限,管理“数字人”社会,保护患者隐私及个人信息,制定合理的管理制度,这些问题仍值得讨论。

作者贡献声明 孙梦婷,杨达伟 文献检索,综述构思和撰写。谢林杉 文献检索,资料整理。周建,宋元林 综述修订和指导。白春学 综述指导和审校。

利益冲突声明 所有作者均声明不存在利益冲突。

参 考 文 献

- [1] THUENMLER C, BAI C. e-Health 4.0: How virtualization and big data are revolutionizing healthcare [M]. Berlin: Springer, 2016.
- [2] 中华医学会呼吸病学分会肺癌学组,中国肺癌防治联盟专家组.肺部结节诊治中国专家共识[J].中华结核和呼吸杂志,2015,38(4):249-254.
- [3] 中国物联网辅助肺结节诊治专家组.物联网辅助肺结节诊治中国专家共识[J].国际呼吸杂志,2017,37(8):8.
- [4] 白春学.物联网医学分级诊疗手册[M].北京:人民卫生出版社,2015.
- [5] YANG D, ZHOU J, CHEN R, et al. Expert consensus on the metaverse in medicine [J]. *Clinical eHealth*, 2022, 5: 1-9.
- [6] 梅胜,王晓丽.元宇宙医学应用场景的研究[J].中国数字医学,2022,17(11):45-48.
- [7] 曾钊,刘娟.中共中央国务院印发《“健康中国2030”规划纲要》[J].中华人民共和国国务院公报,2016,(32):5-20.
- [8] 刘子涵.元宇宙:人类数字化生存的高级形态[J].新阅读,2021,9:78-79.

(下转第316页)

- [7] SAMRA B, YASMIN M, ARNAOUT S, *et al.* Idiopathic hemophagocytic lymphohistiocytosis during pregnancy treated with steroids[J]. *Hematol Rep*, 2015, 7(3): 6100.
- [8] PINNIX CC, ANDRAOS TY, MILGROM S, *et al.* The management of lymphoma in the setting of pregnancy[J]. *Curr Hematol Malig Rep*, 2017, 12(3): 251-256.
- [9] 王昭, 王天有. 噬血细胞综合征诊治中国专家共识[J]. 中华医学杂志, 2018, 98(2): 91-95.
- [10] MAYAMA M, YOSHIHARA M, KOKABU T, *et al.* Hemophagocytic lymphohistiocytosis associated with a parvovirus B19 infection during pregnancy [J]. *Obstet Gynecol*, 2014, 124(Pt 2 Suppl 1): 438-441.
- [11] LIU LD, CUI YT, ZHOU QJ, *et al.* Hemophagocytic lymphohistiocytosis during pregnancy: a review of the literature in epidemiology, pathogenesis, diagnosis and treatment[J]. *Orphanet J Rare Dis*, 2021, 16(1): 281.
- [12] 张碧波, 宋悦, 王昭. 围产期噬血细胞综合征临床诊疗分析[J]. 中华血液学杂志, 2019, 40(5): 384-387.
- [13] KAITO K, KOBAYASHI M, KATAYAMA T, *et al.* Prognostic factors of hemophagocytic syndrome in adults: analysis of 34 cases [J]. *Eur J Haematol*, 1997, 59(4): 247-253.

(收稿日期: 2022-04-03; 编辑: 段佳)

(上接第 295 页)

- [9] YANG D, ZHOU J, SONG Y, *et al.* Metaverse in medicine [J]. *Clinical eHealth*, 2022, 5: 39-43.
- [10] 白春学. 未来已来—我们需要的元宇宙医学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2022.
- [11] 马红丽, 邹士宝. 人机融合是人工智能的发展方向[J]. 中国信息界, 2017, (6): 3.
- [12] 杨达伟, 白春学. 物联网在医疗领域的发展现状及趋势[J]. 中华医学信息导报, 2021, 36(19): 1.
- [13] 白春学. 实用物联网医学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2014.
- [14] BAI L, YANG D, WANG X, *et al.* Chinese experts' consensus on the Internet of Things-aided diagnosis and treatment of coronavirus disease 2019[J]. *Clinical eHealth*, 2020, 3: 7-15.
- [15] ANWER A, JAMIL Y, BILAL M. Provision of surgical pre-operative patient counseling services through the Metaverse technology[J]. *Int J Surg*, 2022, 104: 106792.
- [16] MISHRA R, NARAYANAN MDK, UMANA GE, *et al.* Virtual reality in neurosurgery: beyond neurosurgical planning[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, 19(3): 1719.
- [17] ZHOU Y, HOU J, LIU Q, *et al.* VR/AR technology in human anatomy teaching and operation training [J]. *J Healthc Eng*, 2021, 2021: 9998427.
- [18] SARASSO E, GARDONI A, TETTAMANTI A, *et al.* Virtual reality balance training to improve balance and mobility in Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Neurol*, 2022, 269(4): 1873-1888.
- [19] PATRICIA MG, HERMENEGILDO GG, JOSÉ-ANTONIO L, *et al.* Effectiveness of virtual reality for children and adolescents with autism spectrum disorder: an evidence-based systematic review [J]. *Sensors (Basel)*, 2019, 18(8): 2486.
- [20] FALCHUK B, LOEB S, NEFF R. The social metaverse: battle for privacy[J]. *IEEE Technol Soc Magazine*, 2018, 37(2): 52-61.

(收稿日期: 2022-04-05; 编辑: 张秀峰)