

DOI: 10.61189/254340fowzza

· 专家述评 ·

# 元宇宙医学的昨天、今天与明天

白春学\*

复旦大学附属中山医院呼吸与危重症医学科, 上海 200032



**[摘要]** 元宇宙医学是一个前沿且充满潜力的领域,它结合了虚拟现实、增强现实、全息投影等先进技术,为医学研究和治疗提供了新的可能性。由于元宇宙医学可以定义为搭载到虚实互动平台上的物联网医学,其昨天即是物联网医学的发展史。从2009年美国胸科学会(American Thoracic Society, ATS)介绍我研发的物联网肺功能仪开始,至2016年先后主编和出版《物联网医学》《实用物联网医学》和《物联网医学分级诊疗手册》,并与 Christoph Thuemmler 教授一同主编《智慧健康 4.0: 虚拟化和大数据如何彻底改变医疗保健行业》,元宇宙医学已具雏形。元宇宙医学的今天可以追溯到虚拟现实和增强现实技术的早期应用,最初是被用于军事、游戏等领域,后来逐渐被引入到医学领域中,如手术模拟、解剖学教育和康复训练等方面。目前,元宇宙医学已经广泛应用于手术导航、远程医疗、医学影像分析、康复治疗等多个方面。医学数字人 GPT 也被用于肺结节和阻塞性睡眠呼吸暂停综合征的评估和管理上。我在2022年2月创立了国际元宇宙医学协会和联盟并发表了元宇宙医学专家共识。明天,元宇宙医学的发展前景将更加广阔。随着技术的不断创新和突破,元宇宙医学将赋能实现更加精准、高效和个性化的医疗服务。元宇宙医学还可能被拓展到更多的应用领域,如基因编辑、药物研发等,为医学研究和治疗提供更加全面和深入的支持。简言之,元宇宙医学是一个充满潜力和机遇的领域,它将不断推动医学进步和发展,为人类健康事业做出更大的贡献。

**[关键词]** 元宇宙;元宇宙医学;虚拟现实;增强现实;混合现实;扩展现实

**[中图分类号]** R-1 **[文献标志码]** A

## Yesterday, today, and tomorrow of metaverse in medicine

BAI Chunxue\*

Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

**[Abstract]** Metaverse in medicine is a promising field that combines advanced technologies, such as virtual reality, augmented reality, and holographic projection, to provide new possibilities for medical research and treatment. Metaverse in medicine can be understood as Internet of Medical Things (IoMT) carried over to a virtual interactive platform, as the development history of IoMT reflects the birth of the metaverse in medicine. Since 2009, when the American Thoracic Society introduced my IoT lung function meter, until 2016, I have edited and published “*Medical Internet of Things*”, “*Practical Medical Internet of Things*” and “*Manual of Medical Internet of Things graded diagnosis and treatment*” successively, and co-edited “*Health 4.0: How Virtualization and Big Data are Revolutionizing Healthcare*” with Professor Christoph Thuemmler, during which gave birth to metaverse in medicine. Today’s metaverse in medicine can be traced back to the early applications of virtual reality and augmented reality technology, which were initially used in the military, gaming, and other fields, and then gradually introduced into the medical field in forms such as surgical simulation, anatomy education, and rehabilitation training. Nowadays, metaverse in medicine has been widely used in many fields, such as surgical navigation, telemedicine, image analysis, and rehabilitation therapy. A digital human GPT in medicine has been used in the evaluation and management of pulmonary nodules and obstructive sleep apnea syndrome. In February 2022, the International Association for Metaverse in Medicine and the International Alliance for Metaverse in Medicine were founded and I have established an expert consensus on metaverse in medicine. In the future, the development prospects of metaverse in medicine will be even broader. With today’s continuous technological innovations and breakthroughs, metaverse in medicine will enable more accurate, efficient, and personalized medical service. The metaverse in medicine may also be expanded to more fields, such as gene editing and

**[收稿日期]** 2024-02-08

**[接受日期]** 2024-03-25

**[基金项目]** 上海市健康科普人才能力提升专项 (JKKPYC-2023-A20), 上海市科学技术委员会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), 上海市市级科技重大专项 (ZD2021CY001), 上海市临床重点专科建设项目 (shslczdk02201). Supported by Project of Promoting Ability of Medical Science Popularization for Young Talents in Shanghai (JKKPYC-2023-A20), Establishment of Shanghai Engineering Technology Research Center of Science and Technology Commission of Shanghai Municipality (20DZ2254400), Shanghai Action Plan for Science, Technology and Innovation (21DZ2200600), The Shanghai Municipal Science and Technology Major Project (ZD2021CY001), Shanghai Municipal Key Clinical Specialty (shslczdk02201).

**[作者简介]** 白春学, 博士, 教授, 主任医师.

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

drug development, to provide more comprehensive and in-depth support for medical research and treatment. Metaverse in medicine is full of potential and opportunities, and it will continue to promote the development of the medical field and make great contributions to human health.

[Key Words] metaverse; metaverse in medicine; virtual reality; augmented reality; mixed reality; extended reality

为满足医疗和大健康的需求,人类花费了大量人力物力开展各类研究。不但对人体微环境有了透彻的理解,也研发了大量医疗设备和药物,能够实施精准医疗,对在分子水平上诊治疾病游刃有余。但是,从2000年到2019年,全球非传染性疾病死亡人数占比却从60.8%增加到73.6%,癌症、心血管疾病、糖尿病和慢性呼吸系统疾病4种主要慢病,在2019年就夺走了3320万人的生命,与2000年相比增加了28%。2019年,中国人预期寿命为77.4岁(男性74.7岁,女性80.5岁),健康预期寿命为68.5岁(男性67.2岁,女性70.0岁)。与2016年相比有所延长,但主要体现在女性上,男性整体预期寿命和健康预期寿命甚至还略有“倒退”。这一现象的出现,不但与医疗资源有限相关,更与能解决问题的顶尖专家不足有关。因为传统的“以专家为中心、医院为重点”的医疗模式只会推动医院越建越大,而没有办法从根本上解决顶尖专家的稀缺问题。如何解决这些问题?物联网、大数据、人工智能(AI)等数字技术的发展,催生了元宇宙医学。在元宇宙医疗环境下,“以患者为中心,以元医(元宇宙医生)为重点,以专病为抓手,以质控为保障”的新型医疗模式,可“做他人不会做的,做他人做不好的,做大众最受益的”强基层广覆盖同质化医疗,实现“名医治未病,元医惠众生”的愿景,为“健康中国2030”做出我们的贡献。

## 1 元宇宙医学的昨天

1.1 美国胸科学会(ATS)名人录预示物联网医学的诞生 谈及物联网医学的发展史,就必须提到1999年美国麻省理工学院 Kevin Ashton 教授提出“物联网”的概念<sup>[1]</sup>。物联网在早期是指依托射频识别(radio frequency identification,RFID)技术和设备,按约定的通信协议与互联网结合,使物品信息实现智能化管理。

2008年,我带领团队开始研发基于手机的无线传感肺功能仪。2009年,美国胸科学会ATS会刊名人录为此做了专题报道<sup>[2]</sup>。这促使我在国内外最早提出“物联网医学”(Internet of Medical Things)概念,并带领团队建立世界首个睡眠呼吸暂停物联网医学家庭管理平台。随后,我们又开展了慢性气道疾

病、睡眠呼吸暂停综合征和肺结节的诊治实践。

2010年10月15日,上海市科学技术协会支持我召开了第一届“无线传感医学应用ABC研讨会”,为国内外无线传感医学应用领域的学者提供了一个交流互动的平台,同时为临床医疗界与仪器制造商等企业创建了1个沟通的平台,加快了我国在这一新兴发展的高科技领域中的研发步伐,加速产业链的形成与产品上市。2011年,我们又召开了中国(上海)健康物联网大会,王威琪院士和李兰娟院士给予了很大支持,助力和推动了物联网医学的发展。这是中国第1次正式举办的物联网医学会议,也为以后相关学会和协会的成立奠定了基础。

1.2 4部专著夯实了物联网医学的框架 从2014年至2016年,我们先后主编和出版了《物联网医学》《实用物联网医学》和《物联网医学分级诊疗手册》。在《实用物联网医学》中,我根据自己的学术沉淀、适宜技术和实战经验基础,提出了三级联动的物联网医学架构,开展慢性气道疾病、睡眠呼吸暂停和肺结节的诊治实践。2016年,施普林格出版社出版了 Christoph Thuemmler 教授和我共同主编的 *Health 4.0: How Virtualization and Big Data are Revolutionizing Healthcare*<sup>[6]</sup>。在这本书中,我们详细介绍了智慧健康4.0(Health 4.0),这一源自工业4.0,并服务健康领域的战略概念。Health 4.0的目标是允许医疗服务逐步虚拟化,以便为患者、专业人员和护理人员提供实时的个性化健康护理。医疗保健的个性化将通过大量使用物联网、边缘云计算以及不断发展的移动通信网络(5G)来实现。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快照,并可以虚实结合。这将推动医疗的个体化和精准化发展,完善5P医疗模式(在“预防性、预测性、个体化、参与性”的4P医学基础上,增加精准医学)。

物联网医学的出现使现代医疗模式如虎添翼,为解决“三低、二难和四差”等问题带来了新的机遇,也有利于解决先进的医疗模式与落后的人力、设备资源之间的矛盾。我最早提出“物联网医学”的概念<sup>[2,7-9]</sup>,目的是应用物联网医学的三大基础流程和十大基本功能的优势,通过原创研发的技术,使“复杂问题简单化,简单问题数字化,数字问题程序

化,程序问题体系化”<sup>[8]</sup>,将目前水平高低不一的医疗保健模式转变为达到国家甚至国际标准的现代化流水作业工程,助力大医院医生(“云”专家)和小医院医生(“端”医生)联动,高效精准地完成分级诊疗工作。这在一定程度上会提高分级诊疗效率(图 1),

解决“三低、二难和四差”问题,产生“三个链接全时空,融合四众在其中,质控防保与诊疗,全新模式惠众生”的效果。通过物联网全面感知、可靠传输和智能处理三大基础流程,集合专家、一线医生、患者和 IT 服务商,做好质量控制的预防、保健和诊断治疗。



图 1 用物联网技术提高分级诊疗效率

*EU-China Joint White Paper on the Internet of Things*<sup>[9]</sup>明确提出了智慧健康和智能生活环境的概念,旨在从根本上改善老龄化社会经济和人口发展,以及医疗保健的提供方式。物联网驱动智慧健康领域技术快速发展的典型例子包括机器人手术、智能制药、可穿戴设备及其标记和跟踪。物联网将促进医疗保健设备的研发,并带动护理虚拟化。当前,手术室与手术过程中不同设备的集成以及来自不同智能药物数据的集成已经成为重中之重。其中,1 个非常重要的趋势是精准医疗或个性化医疗。但是,我们在实践中发现,物联网医学无法做到邀请“云”专家全时空(随时随地)指导“端”医生的诊疗工作,也无法随时随地进行科普教育和专业讲座。

1.3 物联网医学已经得到普遍认可 与欧盟专家合作的过程加深了我们之间的理解,也促使我带领我的团队加速对物联网医学探索和研究。与此同时,欧盟方面主要的医学专家之一 Christoph Thuemmler 教授邀请我与他一同主编 *Health 4.0: How Virtualization and Big Data are Revolutionizing Healthcare*<sup>[6]</sup>。“智慧健康 4.0”(Health 4.0)源自制造业众所周知的工业 4.0 概念。它是在不断变化的社会经济条件下实现管理未来的通用方法。“智慧健康 4.0”将这些社会经济挑战转化为经济机遇。令人兴奋的是,在“智慧健康 4.0”的框架下,向虚拟化的转变能够增强我们预测意外情况的能力,从而使我们能够应对新出现的挑战,如抗生素、疟疾、病毒暴

发和癌症耐药性等,提高护理的有效性和效率。

尽管当时物联网医学还处于起步阶段,但是已经可以预见它将不断发展,并应用于很多医疗领域,特别是给医疗保健系统造成沉重负担的领域。这一预见的正确性现在已经被证明,它为我国的发展赢得了机遇,使我们与发达国家几乎站在同一起跑线上。目前,我们已经将物联网医学拓展成为一个可以通过互联网相互连接的物理事物网络,涵盖全面感知、可靠传输与智能处理的硬件和软件技术,其中包括传感器、执行器、可穿戴设备、信息通信和云计算等技术。由于增加了很多不同的嵌入式设备,物联网医学的临床应用已经变得越来越普遍,甚至有望将虚拟世界(信息)和现实世界(对象)结合,创造 1 个巨大的医疗保健市场,服务患者,造福社会。

“物联网医学”的概念已逐渐得到国内外的广泛认可。2020 年,伊朗医科大学 Farahnaz Sadoughi 教授等学者发表了 1 篇题为物联网医学的研究报告<sup>[10]</sup>,他们筛选了 2000 年至 2018 年发表在在线科学数据库(包括 IEEE Xplore、Web of Science、Scopus 和 PubMed)上 3 679 篇有关物联网医学的研究论文,从中选出 89 篇完全切合物联网医学概念的文章。结果发现,中国、印度和美国是发表论文最多的 3 个国家。他们还发现了物联网文献中将各种术语分配给物联网(即系统、平台、设备、工具等分领域)的模糊性,因此需要分类研究这些术语的确切定

义。这也明确提示我们最早提出“物联网医学”概念的正确性与及时性,我们创立的物联网医学已经得到越来越广泛的认可,趋向成为1个学派。

## 2 元宇宙医学的今天

2.1 Health 4.0 提出了虚拟医学的需求 随着医学和技术的进步,人们寿命逐渐延长。人口老龄化、医疗大健康成本上升、医疗大健康工作者短缺,以及医疗保健同质需求,均成为数字健康的重要驱动力。现有的卫生系统和传统的护理方式已不再能满足未来的健康需求<sup>[11]</sup>。为此,通过虚拟化技术助力医疗大健康是应对这些挑战的利器。同样,能力建设可以帮助人们获得知识和技能,采用和使用数字医疗保健技术进行自我管理群众的健康和疾病势在必行。

“智慧健康 3.0”涉及建立以消费者为中心的商业模式,“智慧健康 4.0”进一步专注于消费者体验和医疗质量的提高<sup>[12]</sup>。类似于互联网成为日常生活的重要组成部分<sup>[13]</sup>,提供和获取虚拟化医疗保健的新方式将成为常态。在“智慧健康 4.0”阶段,医疗保健将使用移动设备和远程虚拟方式为用户提供监护和管理技术。虚拟医疗将使医疗保健专业人员能够相互协作并提供远程护理。这意味着医疗保健提供者可以使用诸如视频会议之类的手段,收集患者数据并在异地提供护理,以便患者可以在自己舒适的家或当地社区享受生活<sup>[14]</sup>。全球网络互连可使患者数据和健康信息能够跨平台共享。智能设备、智能手机和无线传感器可链接,并可创建有用的功能为患者和健康提供服务。护理专业人员,无论他们身在何处,均可以提高患者的治疗效果,如使用云计算归档和云交换技术,几乎所有人类活动都可以在更大的范围内被捕获、访问和分析。

虚拟化医疗保健技术将作为1种手段发挥越

来越大的作用,并在智慧健康 4.0 阶段提升能力建设。健康、医疗技术的发展和应用,可穿戴设备,传感器丰富的物联网,大数据、人工智能和机器人技术将赋能和使人们能够自我管理健康和疾病。1998年,世界卫生组织提出“通过该过程,人们可以更好地控制影响其健康的决策和行动”。患者可获得支持,并允许他们控制其过程来参与医疗保健提供者的互动<sup>[15-16]</sup>,通过虚拟化健康支持医疗和大健康,如健康信息技术、可穿戴和植入式设备,人工智能和机器人技术。

2.2 BRM 一体机展示出元宇宙医学雏形 我们也可以应用元宇宙医学,大幅度改善教学和培训效果。例如,在 BRM 一体机<sup>[17]</sup>(以我的姓氏首字母“B”和 RealMax 公司首字母“R”命名的 AR 医疗头盔)中培训学员理解吸烟如何诱发肺癌时,就使用了全息仿真技术。这一开创性教学实践取得了轰动的效果,学员可以沉浸式看到吸烟引起肺泡破坏,及其与肺癌发病的关系(图2)。此外,我们还可以用 BRM 一体机培训学员快速地掌握各种治疗技术。例如,电磁导航支气管镜是1个很难掌握的技术,如果我们应用全息仿真技术进行教学和临床实践,无疑会取得事半功倍的效果。

2.3 IAMM 创立宣布学术和行业组织的诞生 为了推动元宇宙医学发展,在2022年2月18日通过选举创建了国际元宇宙医学协会(International Association for Metaverse in Medicine)和国际元宇宙医学联盟(International Alliance for Metaverse in Medicine)<sup>[18-19]</sup>,我被选为主席,Charles A. Powell 教授(美国纽约西奈山医院呼吸病研究所所长),Niels H. Chavannes 教授(荷兰莱顿大学医学中心,国家电子健康战略委员会主席),Christoph Thuemmler 教授(德国 6G 医学研究所所长,中国欧盟物联网合作主要专家之一),潘毅教授(中国科学院深圳理工大学



图2 BRM 一体机赋能控烟培训

计算机科学与控制工程院院长)和陈荣昌教授(呼吸病国家临床医学研究中心副主任) 被选为副主席。随后于2022年2月19日在上海西岸智塔(AI

Tower)举行了元宇宙医学协会暨联盟创立大会和线上下学术交流大会(图3)。



图3 Iamm 成立暨线上下学术交流大会

目前,Iamm 已经建立独立的网站(<https://www.iamm.org.cn>),设有 Home(首页)、Academic(学术)、Research(研究)、Translation(转化)、Conference(会议)、News(新闻)、Service(服务)等中英文双语栏目,并从学术角度支持出版专业和科普图书。其目的不限于学术交流、普及推广,并同时为未来元宇宙产业的发展奠定技术层面和资源层面的基础。

2.4 2部专著描绘了元宇宙医学蓝图 2022年8月,全球首部集通识、科普和专业为一体的《未来已来——我们需要的元宇宙医学》<sup>[20]</sup>出版。全书共分3章16节,分别以昨天、今天、明天的顺序,从通识、科普和专业角度介绍、研讨和畅享元宇宙医学。

第1章为通识性,主要介绍为什么需要元宇宙医学,什么是元宇宙医学,如何诞生了元宇宙医学。第2章为科普性,讨论的是元宇宙能重塑医疗吗?分别介绍了元宇宙医学的基础,元宇宙医学平台的点、线、面技术,以及如何用元宇宙的概念塑造好医生、好工匠、培养名医和大医,并重塑新的医疗模式。第3章为专业性,畅想元宇宙医学的未来。其中包括未来应用场景的设计,如何应用这些基础来实现未来。大胆地畅想了如何建立元宇宙医院,如何用元宇宙的概念做好健康管理和远程医疗。然后分享了用元宇宙医学的概念,管理、诊断和治疗作者熟悉的5个重要疾病。以期达到“物联健康新契机,元面名家零距离,虚实互动加质控,人机融合无人敌”的效果,最终实现“名医治未病,元医惠众生”愿景。

《未来已来——我们需要的元宇宙医学》<sup>[20]</sup>出版

之后,社会和专业人士进一步认识到元宇宙医学是多种尖端科技的超级综合体,在生命健康和人工智能领域拥有着无限的潜力,其不仅是信息技术的迭代革命,也是医疗技术的颠覆性创新。在此形势下,受中国科技出版社邀请,白春学教授联袂高承实博士和杨达伟博士主编了《元宇宙医学》。全书共7篇,包括元宇宙医学概论、元宇宙医学的数字技术基础、元宇宙医学平台技术构建、元宇宙医学平台系统和管理、元宇宙医学赋能大健康 and 常见病、元宇宙医疗实践研究、医疗之外的元宇宙医学等共60章,约100万字。全面系统地介绍了元宇宙医学的概念、特点和应用前景,多维度剖析了元宇宙医学赋能疾病诊疗的着力点,揭示了元宇宙医学所面临的挑战及发展趋势,反映了当今世界的最新技术、最新成果,凝聚了全球相关领域高水平专家的学术共识与独到见解。可为所有医学科研人员及从事临床诊疗的医生、医学生提供重要的学术参考。

这2部专著为元宇宙医学绘制了1个比较理想化的蓝图,包括顶层设计、学术引领、科技创新和智能惠众,并期望将来随着医学和IT专家的增多,技术和应用场景的发展,这一蓝图被绘制得更加壮观,加速实现“名医治未病,元医惠众生”的愿景。

## 2.5 科技创新赋能实现元宇宙医学愿景

2.5.1 专病 GPT Generative Pre-trained Transformer (GPT)<sup>[21]</sup>是1种由OpenAI团队开发,基于Transformer结构的自然语言处理模型。未来,GPT在医疗领域将会有广泛的应用前景,可通过GPT赋能医生快速

诊断,提供更好和更有效的治疗方案。(1)患者问诊:GPT可以通过与患者对话,根据患者提供的症状和信息诊断疾病,并且减少了医生询问患者相关信息的时间。(2)疾病预测和诊断:通过应用GPT对比分析患者的电子病历记录,预测患者疾病,进而帮助医生更快地诊断和鉴别疾病。(3)医学图像分析:如在肺癌早诊中,CT图像分析是非常重要的。GPT可以赋能医生更好地应用影像学征象进行诊断和鉴别,并可通过大量的CT图像进行训练,提高早期肺癌诊断的敏感性和特异性。(4)构建医学知识图谱:在医学领域中,知识图谱是非常有用的工具,可以帮助医生更好地理解不同疾病之间关系,提高程序化知识水平。GPT可助力构建完整的医学知识图谱,并应用于临床实践。(5)医学文本摘要:医学发展日新月异,对于忙碌的医生来说很难迅速全面掌握最新进展。可应用GPT处理摘要,去粗取精、去伪存真,提炼最重要和最相关的信息,供医生参考决策。(6)数字人GPT:我们可以根据其原理研发专病GPT。我的团队已经成功研发肺结节和阻塞性睡眠暂停综合征(OSA)专病数字人GPT,正在进行相关验证(图4)。国家知识产权局已经授予商标注册证BAIMGPT(国际分类38),可以提供互联网广播服务;通过互联网播放节目;视频播送,信息传送;计算机辅助信息和图像传送;数据库接入服务;视频会议服务;为远程会诊提供对中心文件夹电子存储数据或文件的访问服务;基于文字信息传送建立的虚拟聊天室服务;提供虚拟专用网(VPN)服务。

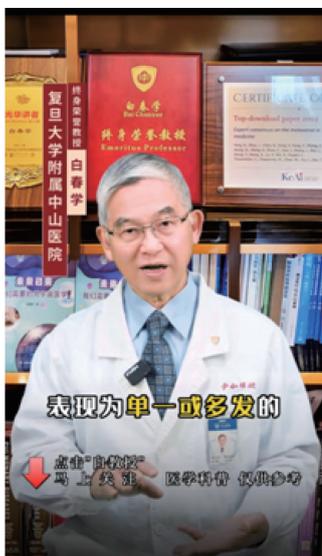


图4 白春学教授肺结节数字人GPT

### 2.5.2 虚拟数字人GPT 近年来,科技的快速发展

使得CG技术、3D建模技术、动作识别技术、面部捕捉技术迅速革新,迭代发展的数字人使得可视化虚拟形象逐渐向真人靠拢,并有独立思考能力,具备一定人格特征的AI内核,数字人互动性和社交属性大大增强,虚拟世界与真实世界的界限逐渐模糊,智能趋同的数字人开始崭露头角,可为临床医学、生命科学以及后基因组学等研究和应用提供基础数据及相应技术支撑,甚至拓展为上述的虚拟数字人GPT。

(1)医疗辅助决策。采用数据融合和数据治理等新技术,虚拟数字人GPT可对生物医学等多模态信息进行有效应用和挖掘,助力提高疾病治疗临床决策水平,也是智能医学学科建设的重要方向<sup>[2]</sup>。虚拟数字人GPT利于对患者进行更全面地分析建模,从而帮助医生做出更精准的诊断和治疗决策。医疗辅助决策模型能够给经验不足的医师提供帮助,减少因经验不足导致误诊,从而提升强基层、广覆盖的同质化医疗水平。

(2)数据融合与数据治理。应用机器学习、深度学习、数据挖掘和大数据融合等方法分析大量健康数据和组学数据,可助力识别疾病风险因素、优化诊断和治疗方案。基于数据驱动制定临床决策和业务优化,其可进一步筛选出现代医疗的最佳管理方案,并能够保证这些医学数据在不同方式授权下得到合理应用,赋能医生更加清晰地掌握疾病的发展趋势,更加科学和客观地做出医疗决策,提高医疗质量和效率。

(3)医学图像的三维重建与可视化。目前,三维图像已成为医学检查最常用的手段。数字人的应用将进一步提高医疗卫生领域的效能,可替代人类进行新药试验,并在手术中反馈各种实验数据。数字人可以协助医生进行疾病诊断、开具处方,模拟药物的生理反应,为疾病治疗和新药研发提供参考。数字人还能解决医学教学中解剖标本不足的问题,模拟手术、血流动力学及药代动力学的各个方面。

(4)辅助执行医疗任务。元宇宙医疗能够执行人工智能相关的若干任务,如视觉感知、语音识别、推理和自然语言处理。其中,大语言模型(large language models, LLMs)可通过训练大规模的语料库创建文本、图像、音频、代码和视频等新内容,以生成式AI应用程序的关键组件服务元宇宙医疗。LLMs可为实现更智能、更人性化的语言处理和人机交互提供强有力的技术支持,正加速向传统生物医学、医疗健康和药物研发等行业渗透和融合。可从分子层面到个体层面、再到群体层面的数据融

合,并基于大数据融合和驱动设计更好地模拟整个医疗过程,为医生提供更多的临床辅助决策支持。

(5)辅助医学图像诊断。与自然图像相比,医学图像更复杂<sup>[23]</sup>。基于AI深度学习模型的医学图像处理,可以为医学知识与疾病辅助诊断提供有效的交互方式。例如,通过对原始图像的可视化量化病理的特异性,提高诊断透明度和降低决策风险。如在解决睡眠评估和早期诊断人类睡眠障碍问题上,研究人员提出1种基于睡眠分期的高精度睡眠计算AI方法,用以分析患者临床多导睡眠图传感器的大数据集,评估准确率超90%,可将医务人员从重复和复杂的诊疗任务中解放出来。

**2.5.3 数字孪生** 数字孪生(digital twin)是1种数字映射或数字镜像<sup>[24]</sup>,正在成为一股变革力量,被应用于健康监测、设备维护、模拟预测疾病风险等领域。在不造成伤害的前提下,其为医疗专业技术人员和患者提供了更有效的个性化诊疗方案<sup>[25]</sup>。机器学习算法使预测性和预防性干预成为可能。应用实时数据集成、分析和虚拟模拟,可以提升患者护理等级、进行预测性分析和优化临床操作,也可用于培训、个性化医疗、药物开发和临床试验。

(1)数字孪生与临床试验。由于参与临床试验的患者数量有限,研究方法的具体设计不同、受试者群体自身存在的偏差性,都有可能影响试验结果。数字孪生可应用大数据收集能力和无缝集成技术,经济性地实现对大批量个体的生理特征持续监测,有效提高临床数据应用效率,为应用于疑难杂症的诊疗提供基础<sup>[26]</sup>。Rao等<sup>[27]</sup>研究表明,可应用数字孪生技术,基于患者诊疗信息,整合主观风险,减少医师之间意见差异,提升了同质化诊疗水平。可基于这些数据建立机器学习模型进行预测,并结合具体的临床认知共识,最终得出有价值的临床决策方案。

(2)数字孪生与精准医疗。结合现有先验信息,可以进一步提高数字孪生模型预测的精度与效率,为专科疾病全流程管理提供有力支持,特别是对全方位数据信息的整合。Croatti等<sup>[28]</sup>介绍了数字孪生技术在创伤管理中的应用案例,提出了“镜像世界”,这个虚拟的镜像世界通过“认知、社会和时间增强”实现数据层和物理层的耦合,不仅可以捕捉患者个体信息,还可以捕捉患者周围环境信息(如医院环境等)。Cho等<sup>[29]</sup>应用数字孪生模型在虚拟环境中预测脓毒症最初24h内特异性治疗反应,在相对较短的周转时间内获得重症患者的定性和定量数据,最大程度地保证了真实世界患者的安全。

(3)数字孪生与健康管理。数字孪生技术可综合患者数据、算法和预测建模辨识潜在的健康风险、预测疾病发展和赋能主动干预。其中包括病史、生活方式、遗传信息和实时生理等广泛数据的整合和分析,助力对个人健康的全面认识。通过运用高级分析和机器学习算法,能够识别数据中的模式、相关性和异常,从而让医疗保健专业人员发现早期健康风险,例如慢性病的发展、药物不良反应或潜在的并发症。通过应用数据挖掘和机器学习算法来产生准确的结果,并不断更新数据采集和处理能力,可以极大地节省成本。

(4)数字孪生技术与医疗教育培训和仿真。数字孪生可以为医疗保健部门培训提供宝贵机会,特别是外科医生可以通过数字孪生技术在模拟环境中练习和强化手术技能。通过复制手术程序和模拟不同场景,简便地使外科医生获得宝贵的实践经验,而不会对真实的患者造成伤害。无论是侵入性干预,还是非侵入性技术,数字孪生都可以通过复制程序允许医疗保健专业人员学习和改进他们的技术,包括模拟导管插入、气管插管、超声波引导的操作等。通过整合患者数据、病史和实时监测信息,数字孪生可为医疗保健专业人员提供真实的病例,赋能分析、诊断和制定治疗计划<sup>[30]</sup>。通过提供共享的虚拟平台,数字孪生促进了来自不同学科的医疗保健专业人员的跨专业协作和沟通,这增强了不同专业人员对相互角色的理解,促进了协作,并通过确保全面和协调的护理改善患者的预后<sup>[31]</sup>。

**2.5.4 教学查房** 教学查房是培养实习生和规培生成为1名合格的医生的重要教学方式。但是,由于各种原因所限,目前教学查房效率不尽人意,其中包括缺乏名医吸引力、数据难以共享、讲解乏力、演示乏术、缺乏沉浸影响、内容单一忽略整体、难以掌握程序性知识、无法调动患者积极性和学员兴趣索然参与度低。为克服这些问题,亟须要应用元宇宙医学概念进行教学查房,如下6个方面(表1)可以体现出目前教学查房模式无法相比的优越性。

虽然目前尚不能在每个教学查房场景中均实现这六大特征,但是随着技术的进步,以及不同教学查房案例本身的特点,会陆续体现出元宇宙技术对教学查房的优越性,并且受到越来越多的学员欢迎,实现“身份专区沉浸感、几无延迟更多元,随地链接元宇宙,数字文化教育版”的效果。

**2.5.5 孤独症诊治** 儿童孤独症是1种发病率较高的儿童神经发育障碍性疾病,其特征主要包括社交

表1 元宇宙可赋能教学查房的优越性

元宇宙特征	赋能教学查房使学员获益
Identity(身份)	教师可以虚拟和真实世界双重身份进行元宇宙教学查房;患者也可采用虚拟身份,便于保护隐私。
Friends(朋友)	医患双方都可通过社交网络在元宇宙教学查房过程中,进行虚实互动教学查房,并兼顾医疗和大健康活动。
Anywhere(随地)	不需独立空间,不需其他软件或硬件和专业技术人员辅助,不受时间地点限制,仅仅需要与元宇宙医学云平台互动的人机接口(VR/AR眼镜)即可,基层医生,甚至村医均可受益。
Immersive(沉浸感)	应用VR/AR/XR/MR技术服务学员,参加沉浸式、虚实融合和虚实互动式教学查房实践,增加乐趣和依从性。不但可进行教学查房,还可赋能相关教育、专业培训和会诊,甚至赋能患者自我管理。
Low friction(便捷)	利于内部快速穿梭和沉浸式体验及讨论。也利于赋能陈述性和程序性知识的融会贯通,提高医生的培养速度。
Variety(多样性)	应用可将共识指南融入其中的5A引擎技术,使“复杂问题简单化、简单问题数字化、数字问题程序化,程序问题体系化”,赋能陈述性和程序性知识的融会贯通,提升学员的培养速度。

VR:虚拟现实;AR:增强现实;XR:扩展现实;MR:混合现实。

互动和沟通能力的严重受损,以及狭隘、刻板、重复的兴趣和行为模式。对于孤独症的诊疗,通常包括早期识别、多学科评估、干预和治疗等方面。我国儿童孤独症诊疗方面仍面临着社会意识匮乏、医疗资源不足、专业人才短缺等困难。

“无论经验多么丰富的医生,都很难满足超过数百倍于己的需求。”白春学教授说。正是临床的真实经历促使他多年前就开始了基于AR、VR等数字新技术对多项临床难题的探索。通过将VR技术应用于孤独症儿童的干预性治疗,利用VR眼镜和移动终端实现时间空间的无限性。通过VR和多传感器技术为孤独症患者创建1个行为治疗元宇宙,搭建1个沉浸式交互平台,为孤独症患者甚至其他神经或精神性疾病患者提供社交、行为、沟通和社会化的康复支持<sup>[32]</sup>。鉴于元宇宙嵌套式的设计理念进行了跨终端的设计,提供可以自定义的数字替身系统(虚拟人)和可编辑的数据量表<sup>[33]</sup>,用户客户端通过手机移动端、电视大屏、MR头戴设备及居家康复智能穿戴设备等智能终端设备接入孤独症内容场景服务器。康复训练师可以结合数字量表对儿童进行个案定制,通过轻量级数字人驱动模块远程实时对儿童进行1V1的沉浸式康复训练。打造1种针对孤独症等特定精神症状患者的创新临床工具,既让他们能够得到充分的沉浸式体验又不会完全脱离现实。通过科技赋能的实践教学手段,培养孤独症儿童的社会技能、沟通技巧、生活技能、安全技能和情绪调节能力等,让他们能够更好地保护自己和正常生活。

### 3 元宇宙医学的明天

#### 3.1 元宇宙医学将面临诸多挑战

3.1.1 技术挑战 包括技术集成的挑战、多技术协同问题和跨学科合作问题。技术集成的挑战:元宇宙为涉及增强现实(AR)、虚拟现实(VR)、AI和区块链等多种复杂技术的集成系统。如何将不同的技术有效地集成,研发出可用、稳定且具有高用户体验感的元宇宙空间是一大挑战。多技术协同问题:在元宇宙医疗平台的构建过程中,技术集成并非仅是技术实现的问题,更重要的是如何让不同的技术协力工作。如AR/VR技术能为用户提供沉浸式体验,但是如何让AI理解并响应用户的行为是一项重要的挑战。跨学科合作问题:元宇宙医疗需要医学和IT领域的专家密切合作,因此跨技术的合作变得尤为重要。同时还需要医学和IT融合型人才,甚至涉及到区块链、人工智能、增强现实等多个领域的专家高效协作,才能制定行之有效的技术方案。

3.1.2 数据隐私和数据安全挑战 在元宇宙医学领域,健康与临床数据的作用尤为突出。这些将是诊断疾病、制定治疗方案、预测疾病发展趋势的重要参考因素。然而,随着数据使用的普及,数据隐私和数据安全问题也日益凸显。元宇宙医学平台的数据安全是核心,必须确保患者信息和医疗数据的机密性、完整性和可用性,遵循最严格的加密和隐私保护标准,符合国家法规和国际标准。我们应该遵循全球的数据保护法规和标准,以便全方位地保护个人数据的安全和隐私,防止数据的滥用和泄露。

3.1.3 行业管理的挑战 元宇宙医学赋能创造了“物联健康,元医惠众”的新型医疗模式,但是要达到“元医惠众”的目的,还需要面临管理的挑战。为做好管理,需要深刻理解元宇宙医学只是1个综合组装平台,管理上必须遵循国家医疗服务的规范、

临床路径、业务流程、服务标准、共识指南、专业操作规范等医疗安全服务的基本逻辑。其管理策略则要通过其数智化特性,降低成本,从而提高服务效率,满足患者的全时空多样化医疗服务需求。为此,管理者应该根据“物联健康,元医惠众”愿景,制定可行方案,如管理模式和策略、虚实人才的培养和使用、医疗平台(诊室、病房)管理、医疗质量管理和社会与经济效益管理。创立以“患者为中心,元医为重点,专病为抓手,质控为保障”的管理模式,才能最终实现强基层、广覆盖的同质化医疗服务效果,实现“名医治未病,元医惠众生”的愿景。

**3.2 学术平台将继续赋能行业发展** 在2022年1月,我邀请了亚洲、美国和欧洲的医生和相关计算机和信息专家组成了多学科专家组,进一步讨论、修改,并在 *Clinical eHealth* (CEH) 发表了元宇宙医学的定义。其目的是应用元宇宙虚实融合、人机融合和虚实联动技术,以及物联网全面感知、可靠传输和智能处理技术全时空地指导经验不足的医生解决这些问题。以便联动、高效、精准、同质化地提高医疗服务和大健康水平,产生“物联健康新契机,元面名家零距离,虚实互动加质控,人机融合无人敌”的效果。

2023年的CEH出版工作圆满完成,下载量、引用量、发文量等各项数据继续稳步提升。CEH在2022年获得了Scopus数据库的第1个Cite Score 5.2分,在Health Information Management, Medicine (miscellaneous) 以及Health Informatics 3个相关学科中均位于Q2。根据实时更新的数据,2023年12月,Cite Score达到了7.2。此外,随着IAMM在美国的成功注册,*Clinical eHealth*也正式被定为该协会的官方期刊。自*Expert consensus on the metaverse in medicine*发表至今,已被下载近3万次,被引用140余次,获得2022年度KeAi杂志社高被引文章之首。2024年,共识也会及时更新,有望受到更多关注。

在此背景下,复旦大学附属中山医院创办了《元宇宙医学》中文期刊。本期刊在国家医学中心平台(筹)、上海呼吸物联网医学工程技术研究中心、上海心肺疾病人工智能工程技术研究中心以及复旦大学附属中山医院期刊中心的支持下,将同广大医药卫生和IT人员一道,更深入和全面地探究如何应用强大的数字技术促进医学学术和科技发展,更好地服务医疗和大健康。本期刊将全面反映国内外元宇宙医学的最新科研成果,紧密跟踪并努力引领元宇宙医学科技进步潮流,推动理论与实践结合,

提高与普及并重,以提高广大医务从业人员的元宇宙医学理论和实践水平,推动元宇宙医学科技进步和知识创新为己任,为“健康中国2030”做出我们应有的贡献。

**3.3 联袂共赢, 智慧大众 为何应付元宇宙医学面临的诸多挑战**, 比如说技术挑战、数据隐私和安全的挑战、行业管理的挑战, 能使我们的学术平台继续健康地往前发展? 我们需要与行业同道一同砥砺前行, 实现“物联健康的新契机, 元面(元宇宙会面)名家零距离, 虚实互动加质控, 人机融合无人敌”愿景。

为了达到这一境界, 元宇宙医疗开拓者需要采取相应的对策, 加强技术研发和创新, 提高技术平台的安全性和稳定性, 确保医疗数据的合法和规范使用。其次, 应该加强商业模式和市场需求的研究, 积极寻求政策支持和社会资本的投入。此外, 还应该加强与医疗机构和患者的沟通和合作, 建立稳定的合作关系, 提高医疗服务的效率和质量。在元宇宙医疗环境下, 将“以专家为中心、医院为重点”的医疗模式从根本上转变为“以患者为中心, 以元医为重点, 以专病为抓手, 以质控为保障”的新模式。通过元宇宙“身份专区沉浸感, 几无延迟更多元, 随地链接元宇宙, 数字文化健康版”八大特征, 定能达到“做他人不会做的, 做他人做不好的, 做对大众最有利的”效果, 实现“名医治未病, 元医惠众生”的愿景。

**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** 白春学: 论文选题、撰写、修改。

#### 参考文献

- [1] KRAMP T, VAN KRANENBURG R, LANGES. Introduction to the Internet of Things [M]//Enabling things to talk. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [2] 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): 14.
- [3] 白春学. 实用物联网医学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2014.
- [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] 白春学, 赵建龙. 物联网医学[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [6] THUEMLER C, BAI C X. Health 4.0: how virtualization and big data are revolutionizing healthcare [M]. Cham: Springer International Publishing, 2017.
- [7] ZHANG J, SONG Y L, BAI C X. MIOTIC study: a prospective, multicenter, randomized study to evaluate the long-term efficacy of mobile phone-based Internet of Things in the

- management of patients with stable COPD[J]. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2013, 8: 433-438.
- [8] BAI C X. Letter from China [J]. *Respirology*, 2018, 23(7): 718-719.
- [9] European Commission, China Academy of Information and Communication Technology. EU-China Joint White Paper on the Internet of Things [EB/OL]. (2016-06-01). <https://www.nordiciot.dk/wp-content/uploads/2020/05/EU-ChinaJointWhitePaperontheInternetofThings.pdf>.
- [10] SADOUGHI F, BEHMANESH A, SAYFOURI N. Internet of Things in medicine: a systematic mapping study [J]. *J Biomed Inform*, 2020, 103: 103383.
- [11] ANDRIANA ARONI. European Health Management Association 2012 [EB/OL]. (2016-06-08)[2024-01-02]. [https://webgate.ec.europa.eu/chafea\\_pdb/assets/files/pdb/20113303/20113303\\_d8\\_02\\_report\\_en\\_ps.pdf](https://webgate.ec.europa.eu/chafea_pdb/assets/files/pdb/20113303/20113303_d8_02_report_en_ps.pdf).
- [12] GORMAN J M, BRABER M D. Semantic Web Sparks Evolution of Health 2.0—a road map to consumer-centric healthcare [EB/OL]. (2015-04-11)[2024-01-02]. <https://vdocuments.mx/nexthealth-semantic-web-sparks-evolution-of-health-20-a-road-map-to-consumer-centric-healthcare.html?page=1>.
- [13] BLACKMAN C, BROWN I, CAVE J, et al. Towards a future internet: interrelation between technological, social and economic trends. Final report for the towards a future internet (TAFI) project, European Commission. SMART 2008/0049 [R/OL]. (2010-11-01)[2024-01-02]. <https://www.oii.ox.ac.uk/news-events/reports/towards-a-future-internet-interrelation-between-technological-social-and-economic-trends/>.
- [14] PRICE WATERHOUSE COOPERS. Making care mobile: shifting perspectives on the virtualization of care [R/OL]. (2013-06-11)[2024-01-02]. <https://www.pwc.com/ca/en/healthcare/publications/06-13-virtualization-of-care-mobile-health.pdf>.
- [15] ANGELMAR R, BERMAN P C. Financing sustainable healthcare in Europe, new approaches for new outcomes, conclusions from a collaborative investigation into contentious areas of healthcare [R]. Grand Duchy of Luxembourg: Ministry of Health, Luxembourg, 2007.
- [16] ANSHARI M, ALMUNAWAR M N. Tracking future path of consumers' empowerment in e-health [J]. *Int J E Health Med Commun*, 2015, 6(3): 63-76.
- [17] SUN M T, XIE L S, LIU Y, et al. The metaverse in current digital medicine[J]. *Clin eHealth*, 2022, 5: 52-57.
- [18] YANG D W, ZHOU J, CHEN C R, et al. Expert consensus on the metaverse in medicine[J]. *Clin eHealth*, 2022, 5: 1-9.
- [19] LU Y T, YANG D W, YANG Y P, et al. MIoT integrates health, MM benefits humans: funding conference for international association and alliance of metaverse in medicine successfully held[J]. *Clin eHealth*, 2022, 5: 17-18.
- [20] 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.
- [21] ELIAS M L, BURSHEIN J, SHARON V R. OpenAI's GPT-4 performs to a high degree on board-style dermatology questions [J]. *Int J Dermatol*, 2024, 63(1): 73-78.
- [22] BOTT N, WEXLER S, DRURY L, et al. A protocol-driven, bedside digital conversational agent to support nurse teams and mitigate risks of hospitalization in older adults: case control pre-post study[J]. *J Med Internet Res*, 2019, 21(10): e13440.
- [23] LOVEYS K, SAGAR M, PICKERING I, et al. A digital human for delivering a remote loneliness and stress intervention to at-risk younger and older adults during the COVID-19 pandemic: randomized pilot trial [J]. *JMIR Ment Health*, 2021, 8(11): e31586.
- [24] VOIGT I, INOJOSA H, DILLESEGER A, et al. Digital twins for multiple sclerosis[J]. *Front Immunol*, 2021, 12: 669811.
- [25] POPA E O, VAN HILTEN M, OOSTERKAMP E, et al. The use of digital twins in healthcare: socio-ethical benefits and socio-ethical risks[J]. *Life Sci Soc Policy*, 2021, 17(1): 6.
- [26] LIU Y, ZHANG L, YANG Y, et al. A novel cloud-based framework for the elderly healthcare services using digital twin [J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 49088-49101.
- [27] RAO D J, MANE S. Digital twin approach to clinical DSS with explainable AI [EB/OL]. [2024-01-02]. <http://arxiv.org/abs/1910.13520>.
- [28] CROATTI A, GABELLINI M, MONTAGNA S, et al. On the integration of agents and digital twins in healthcare [J]. *J Med Syst*, 2020, 44(9): 161.
- [29] CHO S W, BYUN S H, YI S M, et al. Sagittal relationship between the maxillary central incisors and the forehead in digital twins of Korean adult females[J]. *J Pers Med*, 2021, 11(3): 203.
- [30] 吴江, 施立. 基于社会网络分析的在线医疗社区用户交互行为研究[J]. *情报科学*, 2017, 35(7): 120-125.
- [31] 祝嫦娥, 郑慧凌, 朱慧崑, 等. 智慧医疗系统使用对患者就医满意度的影响机制研究——基于技术接受模型的视角[J]. *中国医院管理*, 2019, 39(10): 61-64.
- [32] MESA-GRESA P, GIL-GOMEZ H, LOZANO-QUILIS J-A, et al. Effectiveness of virtual reality for children and adolescents with autism spectrum disorder: an evidence-based systematic review[J]. *Sensors*, 2018, 18(8): 2486.
- [33] 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.

#### 引用本文

白春学. 元宇宙医学的昨天、今天与明天[J]. 元宇宙医学, 2024, 1(1):3-12.

BAI C X. Yesterday, today, and tomorrow of metaverse in medicine[J]. *Metaverse Med*, 2024, 1(1):3-12.