

# Metaverse in Medicine

# 元宇宙医学

ISSN 3006-4236



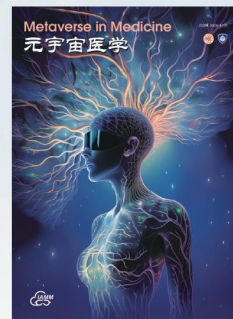
2024 年 3 月 第 1 卷第 1 期



# 《元宇宙医学》简介

《元宇宙医学》(ISSN 3006-4236)是由复旦大学附属中山医院联合国际元宇宙医学协会(International Association for Metaverse in Medicine, IAMM)于2024年正式创办的一本严格同行评议的聚焦医学与元宇宙学术交叉的开放获取中文学术季刊。杂志特邀IAMM主席、复旦大学附属中山医院终身荣誉教授白春学与复旦大学附属中山医院智慧医院建设专家、医院党委书记顾建英担任共同主编。

本刊旨在服务广大的元宇宙医学相关科技人员,打造“医学+X”的多学科交叉交流平台,促进创新、跨学科研究;应用物联网、人工智能、元宇宙等数字技术促进医学学术和科技发展,推动医工合作与交叉融合,更好地服务医疗和大健康,提高广大元宇宙医学从业人员的医学科学理论和业务技术水平,推动元宇宙医学科技进步和知识创新,繁荣中国健康事业,赋能“健康中国2030”,造福人群健康。



## 栏目设置

论著、专家述评、综述、平台建设与管理、伦理与法规、医学教育、产学研融合、指南与共识、方法学研究等。

## 征稿选题

包括但不限于如下方向:

- 元宇宙技术在诊断与治疗中的应用:探讨虚拟现实、增强现实、人工智能等技术在医学领域中的创新应用,以提高临床诊疗治疗效果。
- 虚拟医学环境与医学教育:研究元宇宙创造的虚拟医学环境,包括医学培训、手术模拟、康复治疗等领域。
- 医学数据的元宇宙化:探索将大数据、生物信息学等医学数据与元宇宙技术相结合,实现更深入、全面的医学研究。
- 患者体验与参与:研究如何通过元宇宙技术改善患者与医疗系统的互动,提高患者治疗参与度。
- 伦理与法规:关注元宇宙医学领域中的伦理问题,确保技术的安全和隐私保护。
- 跨学科合作:促进医学、计算机科学、工程学、心理学等多学科领域之间的协同合作,推动医学创新。

## 主编介绍

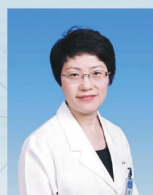


白春学

教授、主任医师,博士生导师,复旦大学附属中山医院终身荣誉教授,现任上海市呼吸病研究所所长、上海呼吸物联网医学工程技术研究中心主任、国际元宇宙医学协会和联盟(IAMM)主席、中国肺癌防治联盟主席、上海市控烟协会会长。

担任《元宇宙医学》(Metaverse in

Medicine)、Clinical e-Health 主编,Frontiers in Medicine 呼吸研究领域主编,AJP-Lung Cellular and Molecular Physiology 副主编。



顾建英

教授、主任医师,博士生导师,现任复旦大学附属中山医院党委书记,整形与美容外科主任医师。中华医学会整形外科学会会员,中华医学会医学美容和美容学学会会员,中华医学会激光美容学会会员。中国女医师学会整形与美容专委会副主任委员、中国整形美容协会精准与数字医学分会第一届理事

会副会长、上海市医学会整形外科分会副主任委员等。《中华整形外科杂志》副主编。

投稿地址: <https://www.zentimepublishing.com/wap/journal/index/sid/69/code/MM.html>

编辑出版:复旦大学附属中山医院期刊中心《元宇宙医学》编辑部;

联系地址:上海市徐汇区枫林路179号复旦大学附属中山医院18号楼516室;

邮编:200032;联系电话:021-51217570,联系人:孙编辑

邮箱:metamedsh@vip.163.com



# 元宇宙医学

YUAN YU ZHOU YIXUE



季刊

2024 年创刊

第 1 卷第 1 期 (总第 1 期)

2024 年 3 月 28 日出版

## 主 办

复旦大学附属中山医院

## 编 辑

《元宇宙医学》编辑委员会

200032, 上海市枫林路 179 号

电话: (021) 51217570

网址: [www.zentimepublishing.com](http://www.zentimepublishing.com)

E-mail: [metamedsh@vip.163.com](mailto:metamedsh@vip.163.com)

## 主 编

白春学

顾建英

## 副主编 (按拼音排序)

Nels H. Chavannes

陈荣昌

高承实

贾泽军

刘 雷

连 勇

Charles A. Powell

潘 毅

宋振举

Christoph Thüemmler

王伟林

杨达伟

## 编辑部主任

贾泽军

## 联合出版

《元宇宙医学》编辑部;

Zentime Publishing Corporation  
Limited

ISSN 3006-4236

2024 年版权归复旦大学附属中山医院《元宇宙医学》编辑部所有

本刊刊出的文章除特别声明外, 不代表主办单位和本刊编委会的观点。本刊如有印装质量问题, 请向本刊编辑部调换。

## 目 次

### 主编寄语

《元宇宙医学》创刊词 ..... 白春学(1)

### 专家述评

元宇宙医学的昨天、今天与明天 ..... 白春学(3)

如何建设元宇宙医院? ..... 宋振举, 顾建英, 白春学(13)

元宇宙医院的现况与未来 ..... 张纪阳, 于佳婕, 周宸彬, 等(22)

人工智能的发展及其在元宇宙医学中的应用前景 ... 高承实(28)

元宇宙医学数智医疗装备的监管政策研究 .....  
..... 张宇鸣, 张培茗, 赵阳光, 等(35)

### 综 述

医学数字人 GPT 的研究现状及展望 .....  
..... 韦 球, 蒋维芃, 杨超勉, 等(43)

医学 GPT 的研发现状和应用前景 ..... 张宇鸣, 白春学(52)

### 论 著

基于专家系统和神经微分方程的延迟混合模型构建 .....  
..... 徐成喜, 张 健, 姚佳烽(59)

### 方法学研究

如何制定元宇宙医学共识指南? ..... 白春学(66)

## 医学教育

元宇宙医学教学查房的实践与探索 ..... 薛新颖,杨达伟,白春学(73)

## 产学研融合

BMR 一体机应用于控烟 ..... 郑郁婕,孙梦婷,白春学,等(82)

## 伦理与法规

元宇宙医学的法律法规完善进路——以数字孪生的医学应用为例 ..... 吴静萱,孙梦婷,杨达伟(89)

## 前沿资讯

元宇宙医学数字人 GPT 研究快报 ..... 胡 洁(2)

数字人肺结节专病 BAIMGPT 1.0 简介 ..... 韦 球(94)

数字人 OSA 专病 BAIMGPT 1.0 简介 ..... 陆俊羽(95)

医界智圣: 基于 LLM 技术的医疗科研助手 ..... 顾佳跃,须晨光(96)

## 消 息

*Clinical eHealth* 英文杂志简介 ..... (65)

复旦大学附属中山医院期刊中心关于论文写作或评审中使用 ChatGPT 或其他生成式人工智能  
(generative artificial intelligence, GenAI)技术的规定 ..... (81)

《中国临床医学》征稿启事 ..... (94)

《临床癌症通报(英文版)》征稿启事 ..... (95)

本期执行主编 贾泽军

本期责任编辑 孙梦瑶,殷 悦

本期责任校对 姬静芳,王 迪,翟铖铖



---

# METaverse IN MEDICINE

Established in 2024; Volume 1, Number 1, March 28, 2024

---

## Sponsor

Zhongshan Hospital, Fudan University

## Editor

Editorial Committee of *Metaverse in Medicine*  
179 Fenglin Road, Shanghai 200032, China  
Tel: (86)21-51217570  
http: [www.zentimepublishing.com](http://www.zentimepublishing.com)  
E-mail: [metamedsh@vip.163.com](mailto:metamedsh@vip.163.com)

## Editor in Chief

BAI Chunxue  
GU Jianying

## Associate Editor

Nels H. Chavannes  
CHEN Rongchang  
GAO Chengshi  
JIA Zejun  
LIU Lei  
LIAN Yong  
Charles A. Powell  
PAN Yi  
SONG Zhenju  
Christoph Thüemmler  
WANG Weilin  
YANG Dawei

## Editorial Director

JIA Zejun

## Co-publishing

Editorial Office of *Metaverse in Medicine* & Zentime Publishing Corporation Limited

ISSN 3006-4236

Copyright © 2024, Zhongshan

Hospital, Fudan University

## CONTENTS IN BRIEF

### Editorial

The inauguration of *Metaverse in Medicine* ..... BAI Chunxue(1)

### Commentary

Yesterday, today and tomorrow of metaverse in medicine .....  
..... BAI Chunxue(3)

How to build a meta-hospital? .....  
..... SONG Zhenju, GU Jianying, BAI Chunxue(13)

The current situation and future development of meta-hospitals .....  
..... ZHANG Jiyang, YU Jiajie, ZHOU Chenbin, et al(22)

The development of artificial intelligence and its application  
in metaverse in medicine ..... GAO Chengshi(28)

Regulatory policies research on digital intelligence medical  
equipment in metaverse in medicine .....  
..... ZHANG Yuming, ZHANG Peiming, ZHAO Yangguang, et al(35)

### Review

Current status and prospects of digital human GPT in medicine .....  
..... WEI Qiu, JIANG Weipeng, YANG Chaomian, et al(43)

Current status and application prospects of medical GPT .....  
..... ZHANG Yuming, BAI Chunxue(52)

### Original article

Delayed hybrid model construction based on expert system  
and neural ordinary differential equation .....  
..... XU Chengxi, ZHANG Jian, YAO Jiafeng(59)

### Methodology

How to generate consensus and guidelines for metaverse in medicine?  
..... BAI Chunxue(66)

**Medical education**

Exploration and practice of teaching rounds in metaverse in medicine .....  
..... XUE Xinying, YANG Dawei, BAI Chunxue(73)

**Integration of IUR**

Applying BRM to tobacco control ..... ZHENG Yujie, SUN Mengting, BAI Chunxue, et al (82)

**Ethics and law**

An improvement approach of legal regulation on the metaverse in medicine: taking medical  
application of digital twins as an example ..... WU Jingxuan, SUN Mengting, YANG Dawei(89)

**Acquisitions editor** JIA Zejun  
**Executive editors** SUN Mengyao, YIN Yue  
**Executive proofreaders** JI Jingfang, WANG Di, ZHAI Chengcheng



DOI: 10.61189/643606jumpyyp

· 主编寄语 ·

# 《元宇宙医学》创刊词

The inauguration of *Metaverse in Medicine*

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



尊敬的全球读者和同行们:

健康长寿是自人类诞生在这颗地球上便有的永恒追求。为满足这种追求,人类花费了大量时间和精力开展相关研究。现在,人类研发出了大量医疗器械和药物,以实施精准医疗。我们不但对人体微环境有了相当透彻的了解,而且也已经对开展分子水平诊疗游刃有余。目前,人类的平均寿命已经明显延长,健康状况也得到了根本改善。

但是,从 2000 年至 2019 年,全球非传染性疾病死亡人数占比从 60.8% 增加到 73.6%。其中,四大慢性疾病——癌症、心血管疾病、糖尿病和慢性呼吸系统疾病,仅在 2019 年就夺走了 3 320 万人的生命,较 2000 年增加了 28%。2019 年,中国居民整体预期寿命为 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)。虽然相较于 2016 年,健康寿命有所延长,但主要体现在女性数据的改善上,男性整体预期寿命和健康预期寿命甚至还都略有“倒退”。

这一反常状况的出现,既有人类生活环境变差、生活节奏加快、生活不规律、缺少锻炼等方面的原因,也是因为个人寿命的延长,增加了共患病的可能性。尽管人类研发出许多现代化诊疗设备和药物,但相应医疗资源仍然短缺,能诊断和治疗类别越来越多、演变越来越复杂的疾病的医生仍是有限的。传统的“以专家为中心、医院为重点”的医疗模式可以使医院越建越大,药物越来越多,但无法从根本上解决顶尖专家稀缺的问题,因而很难实现现代医疗“强基层、广覆盖”的初衷。因此,在当前快速变化的时代中,我们需要以更开放、更包容的态度来面对医学领域的诸多挑战。

物联网、大数据、人工智能等数字技术的发展,以及这些数字技术与医学的结合,正在催化医学科学和医疗模式的范式变革。将积累数千年的人类医学知识数字化,并基于大医名医的医学专长和智慧,通过人工智能技术生成元宇宙医生(元医),采用物联网技术采集、传输患者身体健康数据,构建元宇宙虚实相生场景,让每位患者在任何时间、任何地点都能得到精准的诊断和治疗,最大程度发挥和扩展元医的作用,力求从根本上解决优质医疗资源短缺的问题。

在元宇宙医疗环境下,“以专家为中心、医院为重点”的医疗模式将从根本上转变为“以患者为中心,以专病为抓手,以元医为重点,以质控为保障”的新型医疗模式。也只有元宇宙医学,才能“做他人不会做的,做他人做不好的,做对大众最有利的”,实现“名医治未病,元医惠众生”的愿景。白春学教授洞察了数字技术与医学技术结合的发展趋势,引领时代发展潮流,于 2022 年牵头制定了《元宇宙医学专家共识》(*Expert consensus on the metaverse in medicine*)。截至 2024 年 2 月,该共识已被下载超过 3 万次,引用 136 次。

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。该期刊在国家医学中心(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和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信息技术人员一道,深入、全面地探究如何应用强大的数字技术促进医学和医疗技术发展,以更好地服务医疗和大健康。

《元宇宙医学》的创办不仅是对数字技术与医疗融合发展趋势的回应,更推动了全球医学产业的进步与发展。该期刊将全面报道国内外元宇宙医学和数字医学的最新科研成果,紧密追踪并努力引领元宇宙医学科技发展趋势,理论与实践结合,提高与普及并重,以提高广大医疗从业人员的数字意识和数字医疗的应用水平为己任,深化信息技术在医学领域的应用,推动元宇宙医学知识创新和科技进步,为提高国家医学科技整体能力,实现“健康中国 2030”的战略目标做出最大的贡献。

我们相信,只有通过开放合作、共享资源,才能真正推动全球医学产业的进步。因此,《元宇宙医学》将致力于打破地域和文化的界限,积极倡导国际交流与合作,为全球医学领域的发展注入新的活力与动力,为全球医学科技的进步贡献力量。

让我们携手并肩,共同探索医学的未来,为全人类的健康福祉而努力奋斗!

主编

2024 年 3 月 1 日于上海

#### 引用本文

白春学.《元宇宙医学》创刊词[J]. 元宇宙医学, 2024, 1(1):1-2.

BAI C X. The inauguration of *Metaverse in Medicine*[J]. *Metaverse Med*, 2024, 1(1): 1-2.

## 元宇宙医学数字人 GPT 研究快报

胡 洁

复旦大学附属中山医院,上海 200032

· 前沿资讯 ·



2024 年 4 月 10 日下午 2 点,在上海市老年医学中心 2 号楼 5 楼报告厅召开了上海市闵行区医学会元宇宙医学专委会成立大会。复旦大学附属中山医院终身荣誉教授、上海呼吸物联网医学工程技术研究中心主任,国际元宇宙医学协会主席白春学博士做了题为《元宇宙医疗——梦想还是现实》的报告,并演示了他设计研发的 BAIMGPT 1.0(图 1)。这是全球首个元宇宙医学数字人 GPT 正式亮相,将为大众提供更便捷、高效的医疗服务。BAIMGPT 1.0

具备丰富的医学知识和智能诊断辅助能力,特别是可为肺结节和阻塞性睡眠呼吸暂停综合征患者提供准确、及时的诊治建议。同时,它还能够与医生进行高效的沟通和协作,提高医疗效率和质量。

元宇宙医学数字人 BAIMGPT 1.0 的成功,无疑为医学领域带来了全新的变革。这一成果主要基于专病共识指南、教科书和被广泛认可的专著作为知识库,使其具备了丰富的医学知识和专业的诊断能力基础。基于这些知识库,GPT 在临床诊断和治疗方面将具有重要的参考意义。它能够辅助医生进行疾病诊断,提供个性化治疗方案,提高医疗服务的质量和效率。同时,GPT 还能够提供健康咨询,全时空便捷地帮助大众了解疾病、预防疾病,助力大健康。随着技术的发展,GPT 还能够装载元宇宙技术,为医生和患者提供虚拟的诊疗环境,帮助医生进行远程诊断和治疗,患者也可以在家中接受便捷的医疗服务,实现了医疗资源的优化配置。

元宇宙医学数字人 BAIMGPT 1.0 的出现为大众提供了更多的医疗选择和便利,有望成为未来医疗服务的重要发展方向。我们相信,随着技术的不断发展,GPT 将在医学领域发挥更大的作用,为人类的健康事业做出更大的贡献。然而,需要注意的是,元宇宙医学数字人 BAIMGPT 1.0 虽然具有强大的功能,但仍需要不断完善和优化。在使用过程中,大众应保持理性态度,遵循专业医生的指导和建议。同时,也应注意保护个人隐私和数据安全。



图 1 白春学教授展示元宇宙医学数字人 BAIMGPT 1.0

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 1 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 1 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 3 320 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 1 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>[2,7-8]</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 1 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

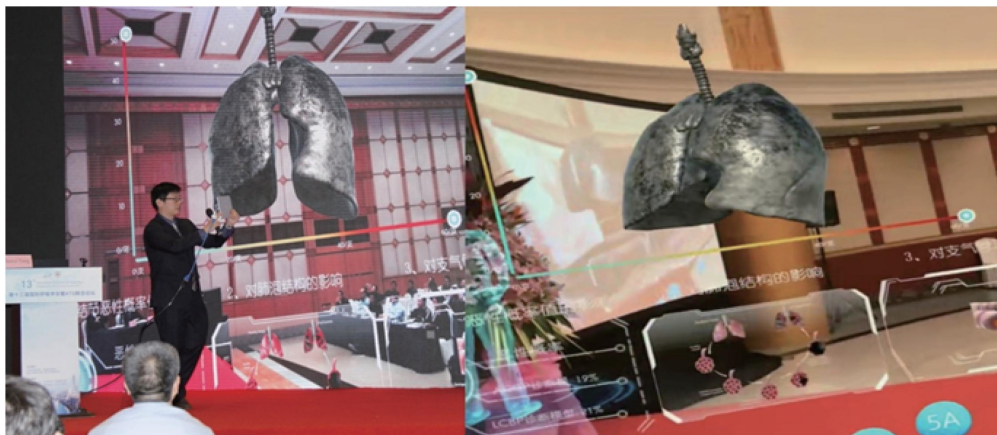


图 2 BRM 一体机赋能控烟培训



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)。

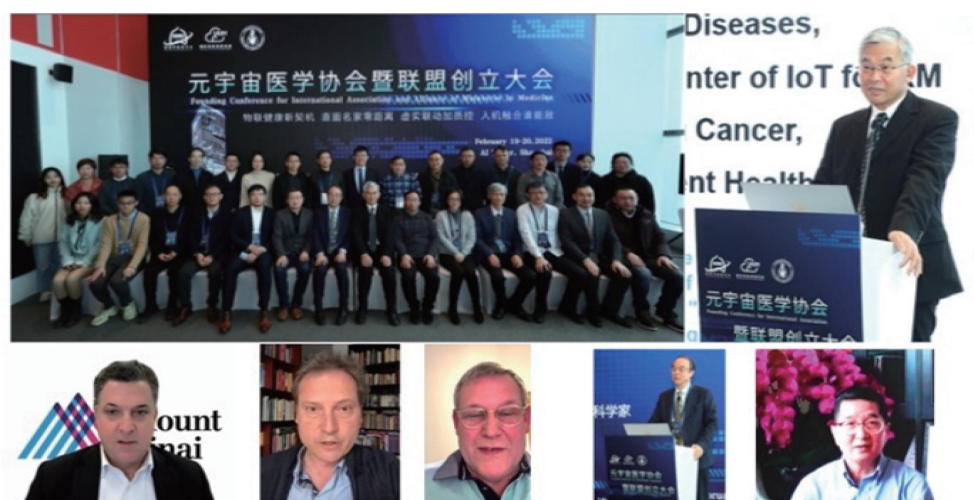


图 3 IAMM 成立暨线上下学术交流大会

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,目前正在进行相关验证(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

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

### 2.5.2 虚拟数字人 GPT 近年来,科技的快速发展



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 24 h 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、医疗质量管理和效率管理。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] THUENMLER 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] SADOUGH 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, BURSSTEIN 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, DILLENSEGER 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-GÓMEZ 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.



DOI: 10.61189/578055kpdxhd

· 专家述评 ·

## 如何建设元宇宙医院?

宋振举, 顾建英, 白春学\*

复旦大学附属中山医院, 上海 200032



**[摘要]** 物联网医学赋能我们创造了 1 个全新的医疗模式:“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”,可以帮助医联体或分级诊疗,联袂基层医生更好地实践强基层广覆盖的同质化医疗,更好地为患者服务。由于真实世界中,还需要专家亲自推进和执行这一工作,但是最受需求的名医又分身乏术,所以很难扩大名医效应,很难更好地、大量地服务患者和造福社会。现在,随着元宇宙概念和技术的发展,又给物联网医学创造了机会。我们可以通过虚实互动平台和元宇宙八大特征,拓展物联网医学发展成为元宇宙医学,解决名医分身乏术的问题。同时,我们也可以建立元宇宙医院,在其中实践“物联健康新契机,直面元医零距离,虚实互动加质控,人机融合无人敌”的元宇宙医疗模式。通过以“患者为中心,元医为重点,专病为抓手,质控为保障”的元宇宙医院管理模式,更好地提高强基层广覆盖的同质化医疗水平。虽然目前还没有公认的元宇宙医院建设经验,但是从需求背景、以往基础、元宇宙医生和管理几个角度探讨和实践,定能起到抛砖引玉的作用。建设元宇宙医院也符合“健康中国 2030”规划纲要,符合“共建共享、全民健康”的战略主题。

**[关键词]** 人工智能;大模型;元宇宙医学;医学人工智能

**[中图分类号]** R-1 **[文献标志码]** A

### How to build a meta-hospital?

SONG Zhenju, GU Jianying, BAI Chunxue\*

Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

**[Abstract]** The Internet of Medical Things (IoMT) has given rise to a new medical paradigm: “Three links span all spatiotemporal dimensions, integrating four communities within. Quality control, preventive medicine, healthcare, and treatment together form a novel mode to benefit all human beings.” This paradigm facilitates medical alliances and hierarchical medical systems, enabling grass-roots doctors to better implement homogeneous healthcare practices with a strong foundation and extensive coverage, ultimately serving patients more effectively. However, in the real world, the implementation and advancement of this work still rely on experts’ promotion and implementation. The most in-demand doctors have finite capacities, making it challenging to extend the influence of renowned physicians, serve patients on a larger scale, and benefit society more broadly. Now, with the development of the concept and related technology of metaverse, a new opportunity has arisen for the IoMT. This will help address the issue of limited capacity among top doctors by leveraging a virtual-real interaction platform and the eight major characteristics of the metaverse. Furthermore, it is possible to establish meta-hospitals thereby implementing a metaversal healthcare model that embodies “new opportunities in IoMT, direct encounters doctors in metaverse in medicine, quality control through virtual-real interaction, and unmatched integration of humans and machines.” By adopting a management model focused on “patient-centered care, emphasis on metaverse in medicine, specialized disease management, and quality assurance,” meta-hospitals can provide homogeneous healthcare that extends throughout and strengthens the primary care sector. Although there have been no recognized experiences with constructing metaverse hospitals so far, exploring and practicing this possibility while keeping in mind demand backgrounds, previous foundations, metaverse doctors, and management will undoubtedly serve as catalysts for further development. Constructing meta-hospitals contributes to the “Healthy China 2030” vision, adhering to its strategic theme of “building and sharing the health of all citizens.”

**[Key Words]** artificial intelligence; large model; metaverse in medicine; medical artificial intelligence

**[收稿日期]** 2024-03-15

**[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]** 宋振举, 博士, 主任医师. E-mail: song.zhenju@zs-hospital.sh.cn

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

物联网医学赋能我们创造了 1 个新的医疗模式:“三个链接(全面感知、可靠传输、智能处理)全时空,融合四众(患者、基层医生、专家、IT 专家)在其中,质控防保与诊疗,全新模式惠众生”,助力我们更好地为患者服务<sup>[1-7]</sup>。其目的是帮助医联体或分级诊疗模式,联袂基层医生更好地实践强基层广覆盖的同质化医疗工作。由于物联网医疗的服务还是需要真实世界专家亲自推进和执行这一工作,但是最受需求的名医又分身乏术,所以很难扩大名医效应,难以更好地服务患者,造福社会。现在,随着元宇宙概念和技术的发展<sup>[8-9]</sup>,给医学创造了柳暗花明又一村的机会,我们可以通过虚实互动平台和元宇宙八大特征,建立元宇宙医院,在其中实践“物联(物联网)健康新契机,直面(元宇宙面见)元医(元宇宙医生)零距离,虚实互动加质控,人机融合无人敌”的元宇宙医疗模式。通过创立“患者为中心,元医为重点,专病为抓手,质控为保障”的元宇宙医院管理模式,更好地“服务患者,造福社会”。虽然目前还没有公认的元宇宙医院建设经验,但是从需求背景、以往基础、元宇宙医生和管理几个角度探讨和实践,定能起到抛砖引玉的作用。

## 1 需求背景

改革开放以来,在经济迅速发展、工业化和城镇化飞速发展的同时,也带来了人口老龄化、疾病谱变化、生态环境及生活方式变化等一系列新的问题。健康服务供给与需求不断增长之间的矛盾依然突出,需要从国家战略层面解决健康相关的重大问题和长远问题。

“健康中国 2030”规划纲要为我们描绘了未来的健康愿景<sup>[10]</sup>。一是把健康摆在优先发展的战略地位,将促进健康的理念融入公共政策制定和实施的全过程,加快形成利于健康的生活方式、生态环境和经济社会发展模式,协调实现健康与经济社会良性发展。二是改革创新,坚持政府主导和发挥市场机制作用,加快关键环节的改革步伐,冲破思想观念束缚,清除体制障碍,发挥科技创新和信息化的引领支撑作用,形成具有中国特色、促进全民健康的制度体系。三是科学发展,把握健康领域发展规律,坚持预防为主、防治结合、中西医并重,构建整合型医疗卫生服务体系,推动健康服务从规模扩张的粗放型发展转变到质量效益提升的绿色集约式发展。四是公平公正,以农村和基层为重点,推动健康领域基本公共服务均等化,维护基本医疗卫生服务的公益性,逐步缩小城乡、地区、人群间基本健康

服务和健康水平的差异。

“健康中国 2030”规划纲要<sup>[10]</sup>明确地制定了“共建共享、全民健康”的战略主题和要达到的战略目标。(1)人民健康水平持续提升,身体素质明显增强,人均预期寿命达到 79.0 岁。(2)有效控制主要健康危险因素,大幅度提高全民健康素养和健康生活方式,形成有利于健康的生产生活环境,有效保障食品药品安全。(3)大幅度提升健康服务能力,全面建立优质高效的整合型医疗卫生服务体系、全民健身公共服务体系、健康保障体系,健康科技创新整体实力位居世界前列,明显提高健康服务质量和水平。(4)健康产业规模显著扩大,建立体系完整、结构优化的健康产业体系,形成一批具有较强创新能力和国际竞争力的大型企业。(5)促进健康制度体系更加完善,政策法规法规体系更加健全,健康领域治理体系和治理能力基本实现现代化。

## 2 构建元宇宙医院的技术基础

2.1 物联网医学 为达到“健康中国 2030”规划要求,亟需应用物联网(Internet of Things, IoT)技术辅助医疗和大健康。1999 年,麻省理工学院 Ashton 教授提出物联网概念<sup>[11]</sup>,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,白春学教授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(ATS NEWS | Vol.35 No.7/8)名人录为此专题报道。其后主编由人民卫生出版社出版的《实用物联网医学》<sup>[1]</sup>和《物联网医学分级诊疗手册》<sup>[2]</sup>,科学出版社出版的《物联网医学》<sup>[3]</sup>,与 Christoph Thuemmler 教授共同主编 Springer 出版社出版的 *Health 4.0: how virtualization and big data are revolutionizing healthcare*<sup>[4]</sup>。现在已经明确物联网医学是 1 个可以通过互联网相互连接的物理事物网络<sup>[1-7]</sup>,全面涵盖感知、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。由于不同对象的嵌入式设备增加,物联网医学的临床应用将变得越来越普遍,将能够集成虚拟世界(信息)和现实世界(对象),创造 1 个巨大的医疗保健市场,服务患者和造福社会。

中国的物联网医学研究是全球开展最早,并已经将人工智能用于辅助肺癌早期诊断。建立用于多模态深度学习模型训练和测试的数据库,搭建基于 GPU 并行处理,与现有电子病历以及影像归档和通

信系统(PACS)连接的云计算系统,研发利于大数据驱动和管理医疗和大健康技术<sup>[1-3]</sup>。白春学团队针对慢阻肺逐渐高发的趋势和给患者和国家医保带来的极大负担,制定了全球首个慢阻肺急性加重诊治专家共识,提出应用物联网技术辅助管理患者,实现病情缓解和提高生存质量,并预防急性加重<sup>[12]</sup>,最近宋元林团队<sup>[13]</sup>的研究表明,基于物联网的无创家庭通气显著改善了高碳酸血症性慢性阻塞性肺病患者的生活质量并延迟了再入院时间。在新冠期间,白春学团队设计了 nCapp 新冠智能系统<sup>[14]</sup>,获取相关临床信息和 CT 影像,助力发现疑似和可疑病例。此外,nCapp 还可辅助临床医生早发现、早诊断、早隔离和早治疗呼吸道病毒性传染病,利于对病毒性肺炎和其传染性做出提前预警,并可借助胸部随访配准技术,实现对肺炎进展和分期的精准评估。基于此,白春学教授被邀请为第一作者制定 ATS 和欧洲呼吸学会(ERS)(世界第 1、2 名呼吸学会)新冠联合指南《关于 COVID-19 管理最新指南》<sup>[15]</sup>,进一步扩大了影响。

美国《创新战略(2011)》<sup>[16]</sup>将卫生医疗保健领域的信息技术作为创新的六大优先领域之一。通过大规模智能手机实时检测人群周围环境空气污染,结合患者电子日期的大数据分析,可以提前预测哮喘患者急性发作,并做好疾病的一级及二级预防工作<sup>[17]</sup>。英特尔公司目前正在研制用于家庭护理的无线传感器网络系统,该系统是美国应对老龄化的社会技术项目之一。通过将传感器嵌入到鞋、家具以及家用电器中,助力老年人和残障人士独立生活,并由医务人员或社会工作者在必要时给予帮助。在美国国防高级研究计划局支持下,麻省理工学院从事了极低功耗的无线传感器网络方面的研究,奥本大学则做了大量关于自组织传感器网络方面的研究<sup>[18]</sup>,并完成了一些实验系统的研制。罗切斯特大学的科学家使用无线传感器创建了 1 个智能医疗房间<sup>[19]</sup>,使用智能微尘测量居住者的重要征兆(血压、脉搏和呼吸)、睡觉姿势以及 24 h 的活动状况。

欧盟资助的 IST FP5 项目(AMON)<sup>[20]</sup>,是由多家研究机构共同开发的具有保健和报警功能的腕式远程医疗监护系统,可连续采集并评估多个关键生理参数,智能辅助及时发现紧急情况,并利用蜂窝网连接到医学中心管理。意法半导体与 Mayo 医疗中心(Mayo Clinic)正在合作开发创新的慢性心血管疾病远程监测平台<sup>[21]</sup>,能在不影响个人生活方式状态下监测个人的特定临床信息和生理参数,并提供治疗选择。西班牙马拉加大学和阿尔梅里亚大学共

同提出了 1 个关于血氧饱和度(SpO<sub>2</sub>)传感器的简单的、低成本的无线医疗监测系统<sup>[22]</sup>,基于 1 个安装在 PC 或掌上电脑(PDA)上的软件,允许同时监测不同患者的 SpO<sub>2</sub> 信号和脉搏率。

日本基于对物联网应用有着良好的网络和技术基础,也正在加大对医疗信息化方面的投入。东芝公司研制的由腕表型可穿戴式传感器模块和 PDA 组成的系统<sup>[23]</sup>,可用于监测使用者的健康状况、运动情况和行为活动,同时提醒和指导使用者每天进行健康饮食和适当锻炼,这将为预防生活方式相关的疾病起到非常重要的作用。通过软件编程实现了根据手腕的运动、脉搏率和皮肤电反应值,可以判断使用者的运动情况和是否开始吃饭,准确率能达到 90%。而通过最先进的纳米微雕技术,如通过纳米孔技术实现的三代测序仪<sup>[24]</sup>,通过电压即时传感技术取代了传统需要通过化学分子反应及免疫荧光发光技术读取的复杂过程,大大提高了基因测序的便携性、即时性和可及性。类似的原理,我们也可以将庞大的人体 CT 扫描机,改装成便携式的移动方舟,结合精准、高速的人工智能分析系统,实现大规模人群的心肺疾病的联合筛查<sup>[25]</sup>。

**2.2 元宇宙医学基础** 虽然物联网辅助分级诊疗和医联体医疗可辅助基层医生提高水平<sup>[1-7]</sup>,但是由于大医院的专家很少能够常住基层医院,导致无法达到强基层广覆盖的效果。现在,随着元宇宙医学的发展,使得我们有机会通过虚实互动的云加端诊疗新模式,做到以“患者为中心,元医(及其化身数字人)为重点,专病为抓手,质控为保障”的元宇宙医疗<sup>[8-9]</sup>。使患者能够“云联知名专家,端享现代医疗”。由富有临床经验的“元”专家与其分身随时随地指导基层医生(“端”医生)为患者高质量地解决问题,同时提高他们的医疗水平,这种新型诊疗新模式可以集合物联网和元宇宙医疗技术之大成,赋能实现“名医治未病,元医惠众生”的愿景(图 1)。

元医学诊治流程与真实世界的不同之处是一部分工作由虚拟(或化身)医生、药师和护士代替。体现出“患者为中心,元医为重点”,“专病为抓手,质控为保障”的强基层广覆盖的个体化高水平诊疗模式。自然人和虚拟人的角色,应该根据患者需要与自然人和虚拟人所能扮演的角色能够达到与真实世界要求的可能性,特别是保证患者安全为前提,又方便和提高临床质量来决定。

### 3 元宇宙医生的培养和定制

建设元宇宙医院,最重要的是培养和定制元宇



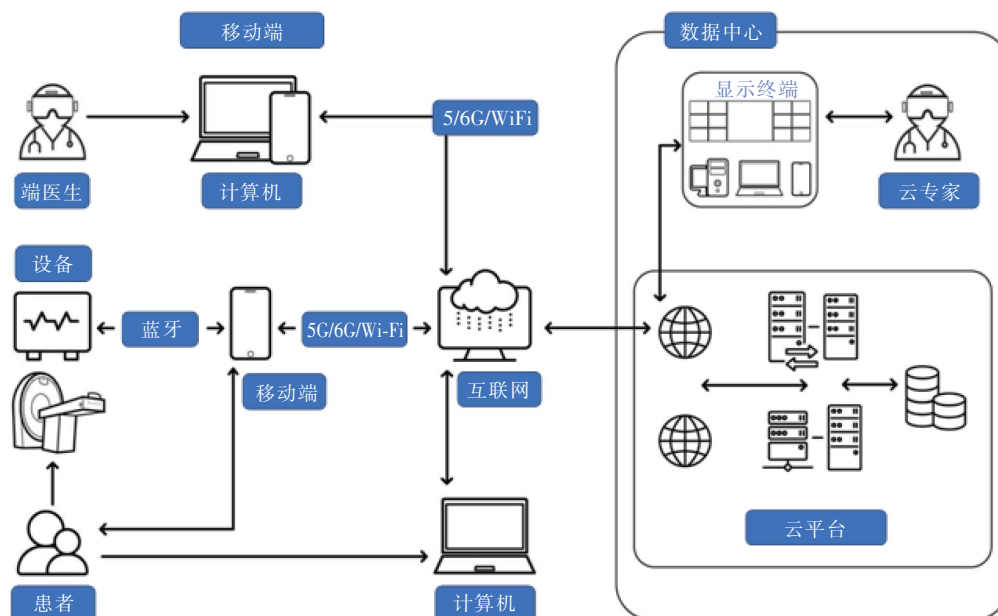


图 1 “云加端”元宇宙诊疗新模式

宙医生<sup>[9,26]</sup>。为了做好元宇宙医生的定制和生成,先要了解元宇宙医疗人才培养和使用特殊性。这可能比阿尔法围棋(AlphaGo)的培养和使用更加复杂,AlphaGo 只是 1 款围棋人工智能程序,其主要工作原理是深度学习。而要做好元宇宙医生的定制和生成还必须叠加元宇宙医学数智化(物联网三大基础流程、十大基本功能和数字医疗)特性和八大特征(Roblox 八大特征)<sup>[9,26]</sup>,培养和使用元宇宙医学(以下简称“元”医学)的“元”专家、“元”药师和“元”护士。但是,不要期望可以很快就能培养出多个“元”专家,“元”大医,而是应该以专病为抓手,选择在这一专病方面,在国内外具有较大影响力的专家,作为元宇宙医学专家的模板,再据其做出虚拟数字人,包括针对专病的虚拟专家或分身,虚拟医生助理和虚拟的护士。

**3.1 元宇宙医生定义** 能够应用 AR/VR 等虚实互动技术,赋能其本人应用物联网技术更好地服务患者的医生,即是元宇宙医生(简称“元”医生)。旨在达到“物联(物联网联接)健康新契机,元面(元宇宙面见)名家零距离,虚实互动加质控,人机融合无人敌”医疗和大健康效果。

**3.2 “元”医生功能** 如何明确定义“元”医生功能?需要应用元宇宙的 8 个关键特征(身份、朋友、沉浸感、便捷、多样性、随地、经济和文明)来改革目前的医疗模式,使其成为环境、社会、心理、工程、生物医学模式<sup>[8-9]</sup>。医学模式是对人类健康与疾病的特点和

本质的哲学概括,是在不同社会经济发展时期和医学科学发展阶段,认识 and 解决医学与健康问题的思考。元宇宙医学的诞生恰逢时机,其八大特征有助于赋能医疗和大健康(表 1)<sup>[8,27]</sup>。

在医疗和大健康工作中,这是物联网医学发展的重大机会,可以将其融合到 AR/VR 平台上。通过“虚实联动—人机融合”,有效地增强参与者(医生、患者)、真实环境(设备)和虚拟环境(虚拟医生、患者和设备)三者之间的无缝融合,自然逼真地将虚拟世界拉入到真实世界,达到人机联动的医疗大健康服务的效果<sup>[8]</sup>。实现“物联健康新契机、元面名家零距离、虚实联动加质控、人机融合无人敌”的医疗大健康服务,促进“健康中国 2030”规划目标的实现。

**3.3 选择真实世界名医作为模板** 如何选择真实世界名医作为模板?需要该专家在某一专病具有两方面基础:元宇宙医学专家(“元”专家)一般基础和“元”专家特殊要求<sup>[8-9,26]</sup>。

(1)“元”专家一般基础:元宇宙医学专家是从物联网医学的“云”专家迭代发展而来,可简称为“元”专家。因此,需要对其有更高的要求。例如首先需要是从从事该专病临床工作 20 年以上,平均每年诊治该专病超过千例次,积累了丰富的临床经验<sup>[9]</sup>。不但了解该专病定义和发病机制,初评和研判方法,而且熟悉相关的评估技术,如影像学、功能学和病原学等检查,便于为患者提出精确诊断意见,选

表 1 元宇宙特征功能及其医学拓展的意义

| 特征                   | 元宇宙功能                                                                                                        | 元宇宙医学功能                                                                                                                   |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Friends<br>(朋友)      | 用户可以通过 Roblox 与朋友互动，包括现实世界中的朋友与在 Roblox 上结识的朋友。                                                              | 便于结识医疗有关的朋友,方便挂号、看病就诊,便于在元门诊和元病房与真人或元医生进行交流、互动和沟通,并保护隐私。                                                                  |
| Immersive<br>(沉浸感)   | Roblox 上的作品有 3D 沉浸式体验，随着技术不断升级,这些作品将变得越来越有吸引力,并且与现实世界难以区分。                                                   | 便于元医生健康教育、专业培训和开展科普教育,增加吸引力，提高带教学生和培训学员的学习效率和依从性。                                                                         |
| Low friction<br>(便捷) | 可以迅速便捷地注册账户,用户可以免费享受平台上的作品,开发人员也可以轻松地构建作品,然后将作品发布到 Roblox 云，以便 Roblox 的所有用户都可以访问。                            | 便于医疗工作的开展,包括建立绿色通道、急救、院前处理、预约、会诊、远程医疗,提高抢救和诊疗效率;也方便分级诊疗和手术机器人临床实践。                                                        |
| Variety<br>(多样性)     | Roblox 是由开发者和创作者构建的庞大且不断扩展的世界。此外还有数百万个创作者构建的虚拟物品,用户可以用它们来个性化装扮自己的数字化身。                                       | 可以用于医疗、保健、科普教育、专业教育、培训和研究。可通过 VR/AR/XR 与 AI 技术、数字孪生技术结合,提高临床研究效率,同时提高临床研究的安全性,能够“在计算机模型上犯错误而不是在人身”上。                      |
| Anywhere<br>(随地)     | Roblox 客户端可在 iOS、Android、PC、Mac 和 Xbox 多平台运行,并支持使用 Oculus Rift、HTC Vive 和 Valve Index 头戴式显示器在 PC 机上进行 VR 体验。 | 不受地点和时间限制，应用终端随时随地进行医患互动,适合急救、远程医疗、教育培训、机器人手术等,产生强基层和广覆盖效果，克服目前远程医疗需独立空间、装置软硬件和配备辅助性专业技术人员等问题。                            |
| Economy<br>(经济)      | 体现出元宇宙经济的特殊性。元宇宙经济要素包括数字创造、数字资产、数字市场、数字货币、数字消费,其特征明显区别于传统经济，表现为计划和市场的统一、生产和消费的统一、监管和自由的统一、行为和信用的统一。          | 虽然元医学没有自己的经济系统，但是以后可以讨论是否应用 Robux 或者非同质化代币 (non-fungible token,NFT)。后者是用于表示数字资产(包括 jpg 和视频剪辑形式)的唯一加密货币令牌,以便助力医生服务患者,造福社会。 |
| Civility<br>(文明)     | Roblox 平台集成了多个系统,以促进文明并确保用户安全。这些系统旨在执行现实世界的法律,并达到和超出了最低监管要求。                                                 | 可借鉴用于元医学,接受监管并建立自己的文明体系,助力医疗、教学、科研和大健康;可以赋能去中心化和数据共享,解决目前的中心化、信息孤岛问题。                                                     |

择最佳治疗方案。同时,可针对不同患者的特征,给予个体化教育、治疗、康复和二、三级预防建议。为达到上述要求,需要熟练掌握物联网医学和(或)元宇宙医学的理论,并具有相应的实践能力,能够以“云”专家身份指导元专家工作。并具有较高学术水平,能应用物联网和元宇宙技术解决该专病医学问题中亟需解决的难题,特别是对标 5P 医学远程监测患者,赋能全时空家庭管理。此外,还需具有业界公认的学术引领能力,参加相关的国内外共识指南制定,在数百家(甚至其他国家)医院,建立相应的专病诊治分中心或示范基地,助力实现“名医治未病,元医惠众生”愿景,产生强基层广覆盖的效果<sup>[8-9]</sup>。

(2)“元”专家特殊要求:虽然元宇宙是新的概念,但是可赋能“元”专家面对这些挑战,使其迅速掌握陈述性知识和程序性知识,并加速二者之间的融会贯通。但是要想实现这一目标,还需要积极努力学习并掌握下述知识和技术<sup>[9]</sup>。①云计算技术:需要掌握存储和处理大数据的基础知识,帮助“元”专家进行元宇宙医疗数据的存储、共享和分析。②大数据分析技术:能熟练辅助“元”专家处理和分析元

宇宙医疗大数据,从中提取有用的信息,赋能临床工作。③计算机视觉技术:某些专病的5P 医疗需要“元”专家能通过图像识别患者的症状或体征,因此需要掌握计算机视觉技术,以助其进行监测患者病情、辅助“元”专家做好诊疗工作。④机器人技术:“元”专家可以应用机器人对患者进行交流和照护,因此需掌握相应的机器人知识,以便为患者提供更加贴心的服务。⑤元宇宙虚实互动技术:需要“元”专家通过虚实互动技术培训,为患者提供更加直观和有沉浸感的医疗体验,协助实现“名医治未病,元医惠众生”的愿景。

(3)“元”专家的最理想要求:需要具备 2 方面条件,一是国内外的学术影响力,二是医疗上解决实际问题的能力。学术影响力我们可以定义为“国际大会有声音,国际杂志有影响,国际学会有位置,国际社会有认可”。临床实践能力的影响可以分为 4 类,“好医遵循证,工匠技更精,名医治未病,元医惠众生”<sup>[8,20]</sup>,生产“元”专家虚拟数字人。

未来的元宇宙医生将成为医学领域的先锋,充分利用元宇宙技术和智能化系统。国际元宇宙医学

协会和联盟计划启动“好医遵循证,工匠技更精,名医治未病,元医惠众生”的元宇宙医生系统工程<sup>[9]</sup>。可以赋能提高陈述性知识的成长速度,提高程序性知识的融会贯通能力,助力更多医生做好医生,好工匠、好名医和好大医。我们可以应用物联网云加端,边缘云、雾计算技术辅助和提高元宇宙医学平台的服务水平,大幅度减轻医生为达到“四好能力”

的负担。这样的元宇宙医生不仅具备丰富的临床经验和深厚的医学知识,还能充分利用先进技术提高工作效率。他们将成为医学领域的领军人才,推动医疗服务向更高水平迈进,为社会的健康和福祉作出巨大贡献。最终达到“元联健康新契机,直面名家零距离,虚实联动加质控,人机融合全无敌”的愿景(图2)<sup>[9,27]</sup>。



图 2 元宇宙医学赋能元医培养好医生

3.4 “元”专家定制生产 选择“元”专家模板的最终目的,是生产如同 AlphaGo 一样能够解决医疗问题的“医学数字人”(在医生之中即是“元”专家的分身)。数字人是元宇宙的基础交互单元,将为元宇宙和物理世界交互提供基础的技术支持。其中,动作捕捉和 AI 驱动技术,可让数字人具备人的行为;自然语言处理(NLP)、语音合成和知识图谱等 AI 技术可赋予数字人智能交互能力<sup>[9,26]</sup>。数字人包含人物形象、语音生成模块、动画生成模块、音视频合成显示模块、交互模块等五大通用模块。数字人的本质是 1 个模型或数据库,可在云端计算机或服务器中以数字方式对个人进行数字描述,当有信息更改时,记录也会相应更改,信息同步依赖于互联网、4G、5G、6G、Wi-Fi 等技术通信。“元”专家模板的生产可以根据《元宇宙医学虚拟数字人的专家共识》<sup>[26]</sup>中定位 L0 到 L3 的级别。当然元宇宙医学专家、元宇宙医生助理和元宇宙医疗护士的生产各有不同,应该根据权威机构的要求和功能来生产。

医疗数字人将有助于克服中国面临的三大瓶颈:培养高水平医疗专业人才的困难、手术术前评估的挑战以及药物开发的复杂性。在新药和医疗器械的转化医学研究中,虚拟人体作为病理学研究和药理学研究的基础。它们实现了药物的虚拟临床试验,模拟不同患者群体的剂量,预测副作用,并加速

新药的获批和推广。此外,它们为各种医疗器械的开发提供了新的实验概念,如多模态医学成像、手术机器人和微创精准手术。未来,数字个体将在元宇宙医院中发挥重要作用,但仍面临挑战。以更个性化的方式构建“虚拟生理人体”需要先进的建模技术和对新技术的探索。此外,在元宇宙环境中,深入考虑隐私、安全、管理和投资等问题至关重要<sup>[26]</sup>。

## 4 元宇宙医院的管理

4.1 管理目标 在理解了元宇宙医学是 1 个数字技术和医学的综合组装体平台概念后,制定的管理模式和策略,就需要将物联网数字医疗融入虚实互动的元宇宙综合组装体平台之中,体现出物联网的全面感知、可靠传输和智能处理的三大基础流程与十大基本功能的优势,再通过元宇宙医学的自身特性和八大特征做到“其他医疗模式不会做的,其他医疗模式做不好的,对百姓医疗和大健康最有利的”医疗和大健康工作<sup>[18-9,26]</sup>。

4.2 以患者为中心 欧洲在 19 世纪 80 年代末,由于人口老龄化日益加重,越来越多老人被收入专科医院病房。很多老年患者,因多种合并症反复入院。并因此突然发现“专家为中心、医院为重点”的医疗体系似乎不再适用。因为人们的需求发生了转变,慢性病及多种共患病的发生率升高,同时服用



多种药物的概率也明显增多。以“专家为中心,医院为重点”的策略,已不再合适,越来越迫切地需要“以患者为中心”的医疗模式<sup>[4]</sup>。无独有偶,国家卫生部(卫健委前身)也于 2005 年开展了以患者为中心,提高医疗服务质量为主题的医院管理年活动。目的也是探索建立医院科学管理的长效机制,不断提高医疗服务质量和水平,使其更加贴近群众、贴近社会。在活动期间,每年成立专家组赴各地督导检查,特别是全国有名的三甲医院,并在活动中重新梳理了规章制度。医务人员则重新认识了“三基三严”、“三查七对”等老话题的意义,对提高医疗质量、确保医疗安全、提高医疗服务水平有着深刻影响。

**4.3 以元医为模板** 如上所述,以“专家为中心,医院为重点”的策略无法满足大众对医疗和大健康的需求,因为特别有名的专家(名医)和大医院是屈指可数的,是没办法满足所有患者需求的<sup>[9]</sup>。此外,随着生活水平的提高,人们对医院的环境也不再满意。为此,最好的解决方案是患者居家即可接受名医诊治,如此可以解决占门诊量 80% 的慢性疾病管理的问题。这就需要元宇宙赋能,以有影响力的名医为模板,建立虚拟数字人以拓展其服务效率<sup>[9, 20]</sup>。但是,世界上没有任何 1 位名医的技术永远是全球,或者是国内最好的,更不是永生的。只有个别名医可在某一专病(如肺结节、急性呼吸窘迫综合征(ARDS)、阻塞性睡眠呼吸暂停(OSA)、冠心病、糖尿病或某种肿瘤等)或者亚专病(如哮喘是一专病,其急性发作可称为亚专病)上独占鳌头。所以只有根据名医的程序化知识研发名医的虚拟数字人,不断更新(融合名医的程序化知识),才能迭代发展成为永生的名医,也可成为诊断和手术机器人虚拟数字人或原型(图 3)。进而彰显大医水平。同时也可为所在医院迭代培养助手和医疗团队的虚拟数字人奠定基础。



图 3 元宇宙时代手术

**4.4 以专病为抓手** 如何建立元医院?是建立综合性元医院、还是专科医院?均不是,而是需要从基于名医最擅长且被广泛公认的专病工作循序渐进做起,迭代发展成元医院<sup>[9]</sup>。因为元医院需要具有全球最有名或者比较有名的专家作为虚拟数字人的模板,实践虚实互动的医疗解决其熟悉的疾病或大健康问题。然而,任何医院都不可能具有这个级别的所有名医资源,所以只有从专病入手,才能找到该医院所能有的,比较知名的,可作为模板的名医。这对于其本人,也是 1 个难得机会,可以通过元宇宙技术体现其独特的“云”专家到“元”专家的价值,便于培养和带动“端”医生(一线医生和基层医生)做好强基层,广覆盖的医疗和大健康工作,实现“名医治未病,元医惠众生”愿景。

**4.5 以质控为保障** 应用基于物联网的元宇宙质控指标和质控平台<sup>[1-3]</sup>,可以保证元宇宙医疗的安全进行,并保证患者的利益。这一平台可以赋能解决如下问题。

(1)预测可能引起的医疗差错:预测和定义可能引起的不安全风险,以利于应用物联网和元宇宙技术,避免如下错误。①可观察到的疏忽:例如,某医生在操作呼吸机时不小心按错了 1 个按钮,这种行为是可被操作医生本人或其他人察觉到的。②不能观察到的疏忽:发生后是不能被察觉到的,常见于依靠记忆所产生的错误中。例如,夜班护士因为记错给药时间而使患者错过最佳的药物治疗时间。③错误:不属于前两者类型的错误。

(2)制定质量控制指标:为了解决上述的问题,需要制定相应的质量控制指标,也就是标准。依据标准来规范临床工作有助于避免上述差错,需要根据共识指南采集病史、进行相关检查,再提出规范的诊断和治疗意见。经过多年的临床实践,我们的团队在《物联网医学分级诊疗手册》<sup>[2]</sup>中提出了很多疾病的临床质量控制指标,与诊断和治疗疾病的 5A 流程融合在一起,形成了临床工作和质量相融合的工具。例如,管理专病融合质控指标的元宇宙 5A 小程序(MMapp 5A),就可使“复杂问题简单化,简单问题数字化,数字问题程序化,程序问题质控化”(图 4)。

(3)及时发现和纠正医疗差错:通过基于物联网的元宇宙医疗平台可实现自动提醒,避免差错、警惕差错和拒绝差错的系统质控方案。这也是元医学平台应该做的,最能彰显其他医疗模式不会做或做不好的优势,这也是最智慧的、最利于强基层广覆盖地提高医疗水平的方法。

4.6 虚拟数字人应用与管理 符合“元”专家模板条件的专家,可以专家模版申请著作权,生产“元”专家虚拟数字人<sup>[9, 26]</sup>。此外,对元宇宙医学自然人和虚拟人角色的培养和使用也各有不同。在目前还没有专家共识的条件下,应该根据临床需要与自然人和虚拟人所能扮演的角色,是否能达到真实世界要求的可能性而定。其中首先要保证医疗安全,然后又能“做他人不会做,做他人做不好,做对患者最有利”的“三做”医疗大健康工作。

原则一:以患者安全为主。这两个角色的使用和调用都以患者的安全为第一位。如果虚拟人的使用会影响到患者的安全,就不能使用,而只能使用自然人。原则二:解决临床问题的“三做”水平。如果虚拟人解决临床问题的水平能高于 95% 以上的自然人医生水平,那么就应用虚拟人。否则,只能使用

自然人医生。二者之间既有矛盾又可以相辅相成。比如说我们元宇宙医学专家虚拟人,如果选择的专家模板是全球有影响力的,而且按照这一模板做出的虚拟数字人解决临床问题的能力超出 95% 自然人医生的水平,那么元宇宙虚拟医学数字人的应用前景将非常广阔,将产生医疗 AlphaGo 效果。

在没有达到这一标准之前,我们只能是迭代发展。先采用自然人,当然也是要超过一般医生水平的自然人,比如说在全球或者是全国影响力都比其他医生影响大的人来做自然人专家。按照其模型做好了虚拟数字人之后,预实践中也确实超过了 95% 其他医生能力的时候,即可考虑进行科学的随机双盲临床研究。在其成功后,才可广泛应用于临床,助力实现我提出的“名医治未病、元医惠众生”愿景。



图 4 元宇宙 5A 小程序 (MMapp 5A)

## 5 展 望

目前,尽管科学已取得了许多重大进展,但是物联网医学<sup>[1-7]</sup>,特别是最近提出的元宇宙医学<sup>[8-9]</sup>在本质上还是一门试验性科学平台。其目的是赋能知识自动化和数字人医生的元宇宙医疗模式大范围地快速进行试验,把医学的“小数据”变成“大数据”,再凝练成“智数据”,旨在实现低成本、高效益、广智慧的医疗模式。针对平行的医疗技术,现存的医院管理与服务体系也不断进行着相应的变革,究其关键是引入数字人医生的理念和方法,从而实现医疗服务的知识自动化。为达到这一目的,医院本身也必须虚实一体,需要将目前的医院信息系统进一步数字化、平行化和智慧化。此外,医院之间也需

要形成 1 种新型的合作关系,在“孤岛”和保护隐私的前提下,实现共同提高、共享服务,构成智慧医院体系,走向真正集预防、预测、个体、参与和精准于一体的 5P 医学目标的智能健康与医疗。虽然目前没有公认的元宇宙医学建设经验,但是从需求背景、以往基础、元宇宙医生和管理几个角度探讨,定能起到抛砖引玉的作用,实现“名医治未病,元医惠众生”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 宋振举:撰写论文;顾建英:修改论文;白春学:论文选题、修改。

## 参考文献

- [1] 白春学. 实用物联网医学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2014.
- [2] 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.
- [3] 白春学, 赵建龙. 物联网医学[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [4] THEUMMLER C, BAI C X. Health 4.0: how virtualization and big data are revolutionizing healthcare[M]. Switzerland: Springer Cham, 2017.
- [5] 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.
- [6] BAI C X. Letter from China[J]. *Respirology*, 2018, 23(7): 718–719.
- [7] YANG D W, LI K C, MINGWEI CHUA D, et al. Application of Internet of Things in chronic respiratory disease prevention, diagnosis, treatment and management[J]. *Clin eHealth*, 2022, 5: 10–16.
- [8] YANG D W, ZHOU J, CHEN R C, et al. Expert consensus on the metaverse in medicine[J]. *Clin eHealth*, 2022, 5:1–9.
- [9] 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.
- [10] 健康中国行动推进委员会. 健康中国行动 (2019-2030 年) [EB/OL]. (2019-07-15) [2024-01-31]. [https://www.gov.cn/xinwen/2019-07/15/content\\_5409694.htm#:~:text=%E5%88%B02030%E5%B9%B4%E5%BC%8C%E5%85%A8,%E7%BA%B2%E8%A6%81%E3%80%8B%E6%9C%89%E5%85%B3%E7%9B%AE%E6%A0%87%E3%80%82](https://www.gov.cn/xinwen/2019-07/15/content_5409694.htm#:~:text=%E5%88%B02030%E5%B9%B4%E5%BC%8C%E5%85%A8,%E7%BA%B2%E8%A6%81%E3%80%8B%E6%9C%89%E5%85%B3%E7%9B%AE%E6%A0%87%E3%80%82).
- [11] KEVIN A. That ‘Internet of Things’ thing [J]. *J Radio Freq Identif*, 2009, 22: 97–114.
- [12] SONG Y L, JIANG J J, WANG X, et al. Prospect and application of Internet of Things technology for prevention of SARIs[J]. *Clin eHealth*, 2020, 3: 1–4.
- [13] CAI B Q, CAI S X, CHEN R C, et al. Expert consensus on acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease in the People’s Republic of China [J]. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2014, 9: 381–395.
- [14] JIANG W P, SONG Y L. Internet of Things-based home noninvasive ventilation in COPD patients with hypercapnic chronic respiratory failure: study protocol for a randomized controlled trial[J]. *Trials*, 2022, 23(1): 393.
- [15] NIEDERMAN M S, RICHELDI L, CHOTIRMALL S H, et al. Rising to the challenge of COVID-19: advice for pulmonary and critical care and an agenda for research[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2020, 201(9): 1019–1022.
- [16] BAI C X, CHOTIRMALL S H, RELLO J, et al. Updated guidance on the management of COVID-19: from an American Thoracic Society/European Respiratory Society coordinated International Task Force (29 July 2020)[J]. *Eur Respir Rev*, 2020, 29(157): 200287.
- [17] National Economic Council, Office of Science and Technology Policy. A strategy for American innovation[EB/OL]. (2015–10) [2024-02-13]. [https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/strategy\\_for\\_american\\_innovation\\_october\\_2015.pdf](https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/strategy_for_american_innovation_october_2015.pdf).
- [18] CHAN Y F Y, WANG P, ROGERS L, et al. The Asthma Mobile Health Study, a large-scale clinical observational study using ResearchKit[J]. *Nat Biotechnol*, 2017, 35(4): 354–362.
- [19] TACHAKRA S, WANG X H, ISTEPANIAN R S H, et al. Mobile e-health: the unwired evolution of telemedicine [J]. *Telemed J E Health*, 2003, 9(3): 247–257.
- [20] HOU W H, AZIZIMANESH A, SEWAKET A, et al. Strain-based room-temperature non-volatile MoTe<sub>2</sub> ferroelectric phase change transistor[J]. *Nat Nanotechnol*, 2019, 14(7): 668–673.
- [21] ANLIKER U, WARD J A, LUKOWICZ P, et al. AMON: a wearable multiparameter medical monitoring and alert system [J]. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, 2004, 8(4): 415–427.
- [21] SIONTIS K C, NOSEWORTHY P A, ATTIA Z I, et al. Artificial intelligence-enhanced electrocardiography in cardiovascular disease management[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2021, 18(7): 465–478.
- [22] CASTILLO-SECILLA J, OLIVARES J, PALOMARES J M, et al. Zigbee pulse oximeter [C]. II Jornadas Andaluzas de Informática, 2011.
- [23] TOSHIBA. Toshiba’s AI offers advice on improving habits toward reducing risk of lifestyle diseases [EB/OL]. (2020–10–15) [2024-02-13]. <https://www.global.toshiba/ww/news/corporate/2020/10/pr1501.html>.
- [24] PENNISI E. Genomics. Pocket DNA sequencers make real-time diagnostics a reality[J]. *Science*, 2016, 351(6275): 800–801.
- [25] 白春学. 肺癌防治策略与预测和诊断技术研究进展及展望 [J]. *国际呼吸杂志*, 2019, 39(9): 641–648.
- [26] 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.
- [27] 白春学. 元宇宙医学之我见[J]. *中国医药导刊*, 2023, 25(1): 1–6.

## 引用本文

宋振举, 顾建英, 白春学. 如何建设元宇宙医院? [J]. *元宇宙医学*, 2024, 1(1): 13–21.

SONG Z J, GU J Y, BAI C X. How to build a meta-hospital? [J]. *Metaverse Med*, 2024, 1(1): 13–21.



# 元宇宙医院的现况与未来

张纪阳<sup>1</sup>, 于佳婕<sup>1</sup>, 周宸彬<sup>1</sup>, 谭彬<sup>2</sup>, 顾建英<sup>1\*</sup>

1. 复旦大学附属中山医院信息与智能发展部, 上海 200032

2. 上海联影智元医疗科技有限公司, 上海 201815



**[摘要]** 本文从价值、社会、文化、技术等多个角度探讨了元医院的需求与实现,从数字孪生和数字原生两类对象集成的角度描述了元医院的基本架构,并试图基于技术发展趋势,以一定的延伸预测,半定量地分析元医院基础设施建设的可行性,也强调了元医院共创体系的形成将是一个长期过程。

**[关键词]** 元医院; 数字孪生; 数字原生

**[中图分类号]** R-1 **[文献标志码]** A

## The current situation and future development of meta-hospitals

ZHANG Jiyang<sup>1</sup>, YU Jiajie<sup>1</sup>, ZHOU Chenbin<sup>1</sup>, TAN Bin<sup>2</sup>, GU Jianying<sup>1\*</sup>

1. Department of Information and Intelligence Development, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

2. Shanghai United Imaging Zhiyuan Medical Technology Co., Ltd, Shanghai 201815, China

**[Abstract]** This paper discusses the needs and implementation of meta-hospitals from the perspectives of value, society, culture, and technology, and describes the basic architecture of meta-hospitals from the perspectives of integrating digital twins and digital natives. Based on the trend of technological development and a certain extension prediction, this paper attempts to semi-quantitatively analyze the feasibility of the infrastructure construction of the meta-hospital, and also emphasizes that the formation of the meta-hospital collaborative development system will be a long-term process.

**[Key Words]** meta-hospital; digital twin; digital native

无论从弗诺·文奇的《真实姓名》还是尼尔·斯蒂芬森的《雪崩》开始追溯,元宇宙(Metaverse)都具有深厚的技术背景,是值得预期的。虽然扎克伯格雄心勃勃的元宇宙“All in”计划至今仍不太成功,但是自 2021 年 7 月以来,元宇宙对科技、产业及很多领域都产生了深远的影响。在元宇宙中,医院能否作为 1 个相对独立的世界演进?元医院能否作为未来智慧医院建设的终极目标?我们是否需要元医院?有生之年我们能否相会于元医院?这些问题需要从价值、社会、文化、技术等多个方面去探讨,本文试图以一定的延伸预测,半定量地分析这些问题,梳理元医院未来发展演进之路。

## 1 元医院的内涵与外延

2021 年,元宇宙风靡科技界,很多专家学者也对元宇宙在医疗中的应用进行探讨<sup>[1-3]</sup>。不少专家归纳总结了虚拟现实(VR)、混合现实(MR)、增强现实(AR)及扩展现实(XR)等技术在手术、远程诊断、医

学教学等场景中的应用,并在元宇宙框架下对之重新阐释<sup>[4-6]</sup>。专家学者们对数字孪生、数字原生的两种技术体系支撑的宇宙时空进行了畅想,将元宇宙医疗引申为“数字化”的高级状态、智慧医疗发展的最终形态、医疗数字化的高度集成模式等<sup>[7]</sup>。医疗元宇宙、元宇宙医学、医疗元宇宙场景,以及专科方向的元宇宙体系等概念也陆续被提出<sup>[8]</sup>。

在医疗信息化领域,在“云大物移智链”等新技术应用的催生下,以数字孪生为代表的虚实融合体系在智慧医院建设中受到重视,院区、医生、患者、设备、耗材、疾病、诊疗过程、健康生态体系等类型的数字孪生项目得到广泛关注,也有不少医院投入建设。数字孪生成为了“未来医院”“数字化转型”“智慧医院”“数智化医院”“高质量发展医院”等建设思潮的宠儿<sup>[8-10]</sup>。由此,本文围绕元宇宙在医疗服务、临床科研、医学教育、医院管理等方面的作用,将元医院定义为:以医疗资源扩容和能力辐射为核心目标,以医院为演进单元,借助数字孪生和数字

**[收稿日期]** 2024-02-25

**[接受日期]** 2024-03-25

**[作者简介]** 张纪阳, 博士, 副教授. E-mail: zhang.jiyang@zs-hospital.sh.cn

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

原生技术实现的虚实融合的医疗空间,内置符合现实医疗逻辑的时空法则与物理规律,以及自行演化的虚拟系统,通过交互手段为医疗生态中的人员提供服务和创作工具,既有符合真实的数据,也有超越现实的展示。

虽然我们对元医院有美好的预期,但人们普遍认为元宇宙医学有点“虚”,对现实应用和“宇宙”成长之路缺乏短期预期。目前,无论是以医工交叉作为支撑的数值仿真、多物理场分析、物理模型、生成式人工智能(AIGC)等数字原生技术,还是以物联网、云计算、大数据、区块链、3D 建模等作为支撑的数字孪生技术,在医院中的应用都没有达到能够张成为“宇宙”的状态。在当前医学、医疗、医院元宇宙应用探索中,场景和技术还难以让人拥有“沉浸式”的感知和“离不开”的需要,主要表现在:(1)虽然 XR 技术在手术规划、导航、模拟等应用中已有多年探索,也有很多示范案例,但是其在精度、安全性、可靠性等方面尚缺乏从理论到实践的保证,不足以吸引患者和医生选择其作为辅助诊疗手段。(2)远程查房、远程门诊、远程会诊、远程操作等应用推广促进传感器、网络基础设施、接入终端、虚拟空间、数据基础等技术水平都有了很大提高。很多医院也从自身业务需要出发,在 5G+、互联网+、区块链+、数据要素 X 等政府主导的新基建项目中,推出了不少示范应用,但是技术应用的成本尚不清楚,平台长期的运维保障缺乏成熟经验,广域协作的医疗模式缺乏政策、管理和医保支付等方面的成熟体系,导致当下数字技术的应用规模和效益仍有限。(3)医学教育中使用数字模型、虚实融合平台和 XR 交互,大大提升了教学的沉浸感<sup>[11]</sup>,能够提供超越现实的辅助认知,但是其投入和运维尚未达到成本可控的规模效应,难以推广和普及。

## 2 元医院建设的价值与意义

元宇宙的兴起和发展虽然是以技术创新引发,但其在医疗领域也有其深厚的价值基础和社会发展需要。我国对医学发展、医疗技术进步和医院管理改革的架构统一于“健康中国”战略,以高质量发展为目标,以“数字中国”建设为支撑,实践具有中国特色的价值医疗<sup>[112-13]</sup>。公立医院高质量发展、DIP/DRG 支付改革、药品耗材的集中带量采购、药品耗材零加成等政策导向,以及重点专科、国家医学中心、国家区域医疗中心、分级诊疗体系、医联体等体系规划,医养结合、互联网+护理、5G+医疗、家庭病房、互联网医院等业态、模式创新,无不体现对数

字化、新信息技术的依赖。元医院是 1 个深度数字化前景下的综合解决方案。

2022 年初,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)成立,并且发布了《元宇宙医学专家共识》<sup>[14]</sup>,随后以白春学教授为代表的专家对健康养老<sup>[15]</sup>、护理<sup>[16]</sup>、医学教育<sup>[11, 17-20]</sup>、放射医学<sup>[21]</sup>、慢病管理<sup>[22]</sup>、介入治疗<sup>[23]</sup>等方向的应用进行了深入探讨,出版了专著《未来已来——我们的元宇宙医学》<sup>[24]</sup>。在这些论述中,白春学教授认为元宇宙医学的发展不仅建立在解决医疗“三低”(高端设备覆盖率低、技术掌握度低和患者认可度低)、“二难”(看名医难、入名院难)、“四差”(预防差、保健差、管理差和康复差)的现实需求基础上,还需要具备深厚的医学发展和医疗技术创新背景。

医疗也面临着新质生产力诞生的强烈需求<sup>[25]</sup>。从卫生健康统计情况,以及一系列国家级的规划和政策文件<sup>[26-29]</sup>来看,医疗的可及性、均衡性、便捷性、质量和服务水平都有很大的提升空间。目前,人口健康老龄化需求猛增,医疗服务与社会需求仍存在较大差距,医疗资源的快速扩容和均衡化发展还有较大压力,在这些问题的解决方案中,信息化被寄予厚望。开辟“宇宙”空间,实现“医疗殖民”,扩充生存空间,改变时间流速,利用数据生产要素,打破时空和模式局限,预期能够成为解决众多问题的统一框架,也是对目前医疗信息化、智慧医院建设的合理延伸。

## 3 元医院的体系和技术架构

2022 年,叶毓睿等<sup>[30]</sup>编写了《元宇宙十大技术:把握数字经济脉搏》,该书汇集了来自不同领域专家、学者和企业对元宇宙的畅想,从宇宙的本源和基本特征出发,将元宇宙归结为数字孪生和数字原生世界的融合,代表了来自现实和超越现实的新世界。从技术现实出发,元医院作为未来医疗世界的承载单元,包括数据驱动的数字孪生世界和模型驱动的数字原生世界(图 1),两者交互融合,融合成 1 个整体的“元医院”。医护、医技、患者和实体机器人等医院的“人员”要素,通过交互技术进入元医院,引入驱动其演进的主观因素。其他物理要素,通过传感器及云网边端融合的体系进入数字孪生世界,驱动模型演化,从而影响元医院的演化。数字原生的世界则可以自主演化,实现超越现实的医疗观察、分析、仿真和体验。





的元宇宙接入,单个网络接入需要 4 Gbps 下行带宽,网络延时不能超过 8 ms,这些指标通过简单地扩充现有网络能力已经不足以解决,而是需要云网边端和应用场景结合进行整体优化。因此,相对 4G 和 5G,6G 和第 7 代 Wi-Fi 的演进可能需要更久。对于存储技术来说,容量不是主要矛盾,数据的持久存在、去中心化存储等问题成为人们进入元宇宙的阻力。书中也提出了区块链存储的解决方案,但是该技术体系的实施还需要整个社会的努力。对于算力来说,一定规模的元宇宙需要在现有算力基础上再提升 1 000 倍,并且需要融合专用计算和通用计算的新架构。

从技术发展现状及其趋势来看,人们可能已经触摸到了元医院的边缘,看到了其演进的可能性。但是目前为止,点上应用并没有能达到开辟宇宙的层次,所以麦肯锡<sup>[31]</sup>用“道阻且长,前景可期”形容元宇宙医疗。

根据《元宇宙十大技术:把握数字经济脉搏》<sup>[30]</sup>中的数据和一些合理假设,我们尝试计算将 1 家

500 万门诊量的三甲医院扩建为具有其 4 倍门诊量的元医院所需要的硬件资源,以分析建设元医院是否可期(表 1 ~ 表 3)。

表 1 500 万门诊量的三甲医院的规模假设

| 规模要素     | 数量规模    |
|----------|---------|
| 门诊       | 500 万人次 |
| 住院       | 20 万人次  |
| 手术       | 15 万人次  |
| 开放床位     | 3 000 张 |
| 医生       | 2 000 人 |
| 护士       | 3 000 人 |
| 职能部门管理人员 | 100 人   |
| 其他人员     | 5 000 人 |
| 医疗收入     | 120 亿元  |
| 信息化投入    | 2 亿元    |

表中数据假设参考了国家卫健委公布的 2022 年卫生健康统计年鉴<sup>[32]</sup>,以及各大医院的预算公开数据设计;信息化投入介于医院年度医疗营收的 1% ~ 2%;其他人员包括工勤、信息、保卫、餐饮等;行政管理人员为专职,不包括医生兼职人员,按照 1/20 计算。

表 2 元医院服务覆盖情况

| 覆盖参数   | 数量              | 说明                                                                                                                  |
|--------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 服务区域   | 半径 3 000 km     | 覆盖全国面积的半径,按照光速传递,网络延迟为 10 ms。                                                                                       |
| 服务人群   | 2 000 万人次/年     | 参考超大城市规模 <sup>[33]</sup> 。                                                                                          |
| 服务交互时间 | 10 min/人次       | 经验假设。                                                                                                               |
| 工作人员范围 | 全国              | 元医院接入(患者和工作人员)不受地域限制,工资成本按照全国平均水平计算。                                                                                |
| 营收估计   | 30 亿元,有效收入 5 亿元 | 按照挂号费和药品费用计算,治疗和操作类费用通过分级诊疗体系线下分担,不计入元医院营收范围。数据参考国家卫健委发布的 2022 年卫生健康统计年鉴 <sup>[32]</sup> ,挂号费 25 元,药品费用 125 元(零加成)。 |

表 3 元医院运行硬件及消耗资源估算

| 资源类型 | 数量                                                                                       | 说明                                                                                                                                                                                                                                           |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 算力   | 相当于 8 000 个 Intel Xeon Gold 5218R 和 4 000 个 NVIDIA GeForce RTX 4090 板卡,并配置 128 张 H100 板卡 | 按照单个 NVIDIA GeForce RTX 4090 板卡可以运行 1 个 7 B 规模的多模态大模型计算,每个服务并发配置 1 个场景、1 个数字人,需要 2 000 张板卡,再加上同等规模的数字原生模型运算需要 2 000 张板卡;基础大模型运算按照 GPT4 基础规模,使用 128 张 H100 板卡;业务支撑需要 4 000 台 Intel Xeon Gold 5218R 规模的 CPU(现有按照 1 000 台计算,双 CPU),用于虚拟机和大数据运算。 |
| 存储   | 约 4.8 PB                                                                                 | 年度增量,每人次诊疗需要存储医学影像(CT/MR,约 500 MB)、交互音视频(8 k,60 fps,10 min 约 2 GB)和病历文本(约 500 kb),按照 1/10 的人次需要存储计算(没有考虑和住院、手术病理数字切片、基因检测等更大体量的数据)。                                                                                                          |
| 网络   | 约 226 Gbps                                                                               | 接入量为 2 000 万人/年,平均分布在 365 天,每天按照 8 h 有效工作时间计算,每位患者服务时间为 10 min,并发数量约为 1 140 人,医患均通过 8k 60 fps 的 XR 终端接入,码流为 100 Mbps,需要带宽 113 Gbps,双向交互,所以总带宽为 226 Gbps。                                                                                     |
| 电力消耗 | 总功率约为 6 019.2 kW,年度用电 5 272.8 万度,电费需要约 2 636.4 万元(按照 0.5 元/度计算)                          | 按照 CPU(5218R 125 W)和 GPU 板卡(RTX4090 450 W,H100 700 W)功率的 2 倍配置(包括散热、服务器其他部件、网络设备和其他消耗),存储功耗按照 5 kW/1 PB 计算,备用 5 年存储,需要 24 PB,需要 120 kW。总体计算如下:2 × (CPU 1000 kW + GPU 1 889.6 kW + 存储 120 kW) = 6019.2 kW。                                    |

续表

| 资源类型     | 数量      | 说明                                                                                                                                                                                                       |
|----------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 基础软件建设费用 | 1.04 亿元 | 按照云平台(含操作系统、数据库、中间件、安全软件等,6 000 万元)、数据平台(2 000 万元)、建模软件(800 万元)、分析软件(800 万元)、AI 平台(800 万元)等估算(按照现有医院招标采购平台经费的 4 倍计算,参考数据来自中国政府采购网 <a href="https://www.ccgp.gov.cn/">https://www.ccgp.gov.cn/</a> )。     |
| 人力资源投入   | 2.4 亿元  | 年度费用,按照 30 万元/人年计算,人数按照线下医生服务能力的 1/10 配置,需要 800 人左右,考虑因素包括 2023 年全国人工智能从业人员平均薪资水平 <sup>[34]</sup> ,全国 IT 人员平均薪资水平 <sup>[35]</sup> ,以及考虑医信交叉人才的紧缺性因素,人员类型包括运维工程师、算法工程师、数据工程师、医疗专家、元医院运行监控管理人员、运营交互的管理人员等。 |
| 模型建设费用   | 1.5 亿元  | 按照 GPT-4 训练规模估算 <sup>[36]</sup> ,板卡性能提升带来的训练时间和费用降低。                                                                                                                                                     |
| 其他服务费用   | 1.2 亿元  | 网络服务费、安全保障、软件运维费、硬件运维保障、运营推广等,按照头部医院信息化年度运维费用规模的 4 倍计算。                                                                                                                                                  |

从这些简单估算中,信息基础设施的投入还是可能实现的,但是软件体系的建设、知识库、数据资源积累、模型资源和数字原生的创作是 1 个长期积累的过程,整个系统的建设和运维投入将远远超过硬件投入。除了信息系统建设外,元医院建设还需要大量具有数字原生创作能力的人才,这部分人员需要是掌握了元医院开发和创作的医生,目前这样的人力资源在全国都十分稀缺。另外,元医院还需要新的医疗服务收费模式,否则按照目前互联网医院诊疗挂号费+药品快递(零加成,对医院不是有效收入)的模式,很难支撑元医院运行。

## 5 元医院的未来展望

2023 年,大模型和生成式人工智能横空出世,通用人工智能和多模态人工智能出现了曙光。同时,在生成模型的加持下,数字人、数字分身、数字员工、数字场景生成变成了大众可及的服务,代码生成也为平台开发提供了平台内部闭环演进的可能性,英伟达还推出了 OpenUSD (universal scene description) 框架,成立了 AOUSD 联盟。元医院的建设从标准规范、技术发展、应用工具等层面来看,似乎并不太遥远。但是,目前元医院中的主体参与人员十分缺乏,这些需要医生专家、人工智能新业态从业人员、社会大众的广泛认知,以及整个社会数字化进程的快速发展。另外,网络技术,包括 6G 技术和第 7 代 Wi-Fi 的演进还需要时间,以区块链技术为支撑的分布式存储、元宇宙信任和安全机制还有较长的路要走。

从落地路径上看,元医院的建设是 1 个迭代演进的过程,实现这种演进,需要行业参与者通力合作。医院和业务运营方,一方面要立足当下,夯实现有的数字化和数智化基础,另一方面也要积极拥抱元宇宙的新技术,从比较容易落地的应用场景入

手,探索新技术的应用,逐步发掘新技术价值,比如基于大模型的智能导诊、医生助手、基于 VR 技术的远程会诊等。对有志于长期发展元医院技术、平台和应用服务的企业,可以基于自身在产业链中的定位和优势,联合上下游的产品和技术合作伙伴,在合适的技术分层上深耕,逐步建立竞争优势。

总之,从探索试点到宇宙生成,元医院还需要走过模型和数字原生要素的规模化生产的道路,从而在此进程中培养人才、生态,集聚元宇宙的能量、土壤、生产力、生产关系基础,导入元医院的运营生态。

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 张纪阳:论文选题、撰写、修改;于佳婕:修改、文献资料整理;周宸彬:修改、文献资料整理;谭彬:技术架构部分的整理和撰写;顾建英:整体架构、撰写思路设计。

## 参考文献

- [1] RITTERBUSCH G D, TEICHMANN M R. Defining the metaverse: a systematic literature review [J]. IEEE Access, 2023, 11: 12368–12377.
- [2] BANSAL G, RAJGOPAL K, CHAMOLA V, et al. Healthcare in metaverse: a survey on current metaverse applications in healthcare[J]. IEEE Access, 2022, 10: 119914–119946.
- [3] PIETRIS J, TAN Y R, CHAN W O. Health care in the metaverse[J]. Med J Aust, 2023, 219(1): 41.
- [4] 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.
- [5] 雷 禹. 智慧医疗背景下医疗元宇宙生态场景构建[J]. 卫生经济研究, 2023, 40(7): 58–62.
- [6] GANAPATHY K. Metaverse and healthcare: a clinician's perspective[J]. Apollo Med, 2022, 19: 256–261.
- [7] 卢绮萍, 付航玮, 张晓帅. 浅谈对元宇宙理念促进中国智慧医疗创新发展的思考 [J]. 中华外科杂志, 2023, 61(5): 353–356.

- [8] 孔祥溢, 姜鸿南, 方 仪, 等. 元宇宙在医学领域的应用现状与前景展望[J]. 医学信息学杂志, 2023, 44(4): 2–11.
- [9] 王飞跃. 数字医生与平行医疗: 从医疗知识自动化到系统化智能医学[J]. 协和医学杂志, 2021, 12(6): 829–833.
- [10] 林江峰, 陈思进, 胡 玲. 汇集个人医疗及健康数据的元宇宙医学站: CN115985447A[P]. 2023–04–18.
- [11] 黄泽平, 张文君, 李思敏, 等. 基于元宇宙的临床医学教育教学应用前景[J]. 中国高等医学教育, 2023(9): 1–4.
- [12] 蒋海泥, 王留明, 杜杏利, 等. 新形势下我国价值导向型医疗服务体系构建[J]. 中国医院, 2018, 22(4): 19–21.
- [13] 刘远立. 实现人人享有基本医疗保健的中国道路[J]. 行政管理改革, 2021(4): 14–22.
- [14] YANG D Z, ZHOU J, CHEN R C, et al. Expert consensus on the metaverse in medicine[J]. Clin eHealth, 2022, 5: 1–9.
- [15] 曾迎春, 曾玲晖. 健康老龄化视域下智慧康养元宇宙的应用现状、挑战与对策[J]. 护理学报, 2023, 30(14): 70–73.
- [16] 陈 晨, 张红梅, 寇 洁, 等. 元宇宙关键技术及其在医疗护理的应用现状 [J]. 中华现代护理杂志, 2023, 29(12): 1672–1676.
- [17] 陈诗翰, 吴俊杰. 医学教育元宇宙的理论构建 [J]. 中国医学教育技术, 2023, 37(4): 390–396.
- [18] 王 岳, 陈 晨, 王亚平, 等. 医学教育元宇宙学习环境架构探讨[J]. 中国数字医学, 2022, 17(9): 45–47.
- [19] 吴 超, 薛 佩, 王佳玉, 等. 虚拟现实技术在外科医学教育实践中的应用与探索 [J]. 中华消化外科杂志, 2023, 22(S1): 78–81.
- [20] 周 翼, 黄振驹, 伍禧雯, 等. 元宇宙在临床医学教育领域的应用[J]. 中国数字医学, 2023, 18(4): 43–47.
- [21] 沈陆恒, 刘曹锐, 杨博文, 等. 元宇宙对放射医学领域的影响[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2022, 42(11): 903–908.
- [22] 孙梦婷, 杨达伟, 谢林杉, 等. 元宇宙医学在慢性疾病健康管理中应用的研究进展 [J]. 复旦学报 (医学版), 2023, 50(2): 292–295.
- [23] 徐文博, 于 洋, 王 超. 介入治疗与教学的元宇宙: 前生、今世与未来[J]. 中国医学教育技术, 2023, 37(4): 397–401.
- [24] 白春学. 未来已来: 我们的元宇宙医学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2023.
- [25] 本报编辑部. 向新质生产力要增长新动能 [N]. 经济日报, 2024–01–29(1).
- [26] 国家卫生健康委, 国家中医药局, 国家疾控局. 关于印发“十四五”全民健康信息化规划的通知[EB/OL]. (2022–11–07) [2024–03–01]. <http://www.nhc.gov.cn/cms-search/xgk/getManuscriptXxgk.htm?id=49eb570ca79a42f688f9efac42e3c0f1>.
- [27] 国家卫生健康委规划发展与信息化司. 实施健康中国行动开启健康中国建设新篇章 [J]. 中国健康教育, 2020, 36(11): 971–972.
- [28] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于印发《“十四五”优质高效医疗卫生服务体系建设实施方案》的通知[EB/OL]. (2021–07–01) [2024–03–01]. [https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202107/t20210701\\_1285213.html](https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202107/t20210701_1285213.html).
- [29] 国家卫生健康委, 教育部, 科技部, 等. 关于印发“十四五”健康老龄化规划的通知[EB/OL]. (2022–03–01) [2024–03–01]. <http://www.nhc.gov.cn/fljks/pqt/202203/c51403dce9f24f5882abe13962732919.shtml>.
- [30] 叶毓睿, 李安民, 李 晖, 等. 元宇宙十大技术 [M]. 北京: 中译出版社, 2022.
- [31] 张 琨, 陈 兢, 韩文琪, 等. 道阻且长, 前景可期: 展望元宇宙医疗 [EB/OL]. (2022–04) [2024–03–01]. [https://www.zhiyanbao.cn/index/partFile/1/mckinsey/2022-04/1\\_40963.pdf](https://www.zhiyanbao.cn/index/partFile/1/mckinsey/2022-04/1_40963.pdf).
- [32] 国务院. 国务院关于调整城市规模划分标准的通知[EB/OL]. (2014–11–20) [2024–03–01]. [https://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/20/content\\_9225.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/20/content_9225.htm).
- [33] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 2022 中国卫生健康统计年鉴 [EB/OL]. (2023–05–17) [2024–03–01]. <http://www.nhc.gov.cn/mohwsbwstjxxzx/tjtjnj/202305/6ef68aac6bd14c1eb9375e01a0faa1fb.shtml>.
- [34] 脉脉高聘人才智库. AI 行业专题报告: 2023 人工智能人才洞察报告[EB/OL]. (2023–11–06) [2024–03–01]. [https://www.sohu.com/a/739940725\\_121834026](https://www.sohu.com/a/739940725_121834026).
- [35] 麦可思研究院. 2023 年中国本科生就业报告 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2023.
- [36] WONG G. GPT-4 architecture, infrastructure, training dataset, costs, vision, MoE [EB/OL]. (2014–11–20) [2024–03–01]. <https://files.catbox.moe/re56cr.pdf>.

## 引用本文

张纪阳, 于佳婕, 周宸彬, 等. 元宇宙医院的现况与未来[J]. 元宇宙医学, 2024, 1(1): 22–27.

ZHANG J Y, YU J J, ZHOU C B, et al. The current situation and future development of meta-hospitals [J]. Metaverse Med, 2024, 1(1): 22–27.



# 人工智能的发展及其在元宇宙医学中的应用前景

高承实\*

河南元宇宙数字科技有限公司, 郑州 450004



**[摘要]** 本文回顾了人工智能的发展历程,论述了人工智能的核心应用技术,阐述了大语言模型的发展历程,梳理总结了大语言模型存在的局限和不足,给出了对通用人工智能发展的研判。总结了人工智能在当前医疗领域的表现实力和典型应用场景,分析其应用存在的不足,在此基础上提出了医学人工智能的概念及其分类,从医学服务人类的维度和医学自身发展的维度,提出医学人工智能的发展目标,并给出了两类不同的医学人工智能的构建方法和构建路径。

**[关键词]** 人工智能;大模型;元宇宙医学;医学人工智能

**[中图分类号]** R-1/TP399 **[文献标志码]** A

## The development of artificial intelligence and its application in metaverse in medicine

GAO Chengshi\*

Henan Metaverse Digital Technology Co., Ltd., Zhengzhou 450004, Henan, China

**[Abstract]** This article reviews the development history and core technologies used in artificial intelligence (AI), reviews the development history of large language models, summarizes the limitations and deficiencies of large language models, and identifies prospects for the development of general AI. This paper summarizes the performance strength and typical application scenarios of AI in the current medical field, analyzes the shortcomings of its application, and proposes the concept and classification of medical AI. On this basis, from the perspectives of medicine serving human beings and medicine's own development, this commentary defines the development goals of medical AI, and gives two different construction methods and paths for medical AI.

**[Key Words]** artificial intelligence; large model; metaverse in medicine; medical artificial intelligence

元宇宙医学是所有数字技术及其组合在医学领域的应用<sup>[1]</sup>。在构建元宇宙医学的所有技术之中,人工智能无疑是元宇宙进化的工具和方法论<sup>[2]</sup>,也是元宇宙医学平台作用发挥的最主要内在驱动力。因为未来无论是健康和疾病的诊疗,还是医学科研的开展,都需要在元宇宙的数字世界中,依托人工智能才能更加高效地开展。人工智能和其他数字技术、医学技术的结合,还可以在医学的更多领域更多环节发挥更加重要的作用。

### 1 人工智能的发展历程和核心技术

业内专家一致认为,人工智能是集合了计算机科学、逻辑学、生物学、心理学和哲学等众多学科的一门综合性技术,在语音识别、图像处理、自然语言处理、定理自动证明和智能机器人等多个领域取得了显著的应用效果<sup>[3]</sup>。

**1.1 人工智能的发展历程** 人工智能从诞生至今已有 70 多年历史,其发展可以划分为以下几个阶

段(图 1)<sup>[4]</sup>。

在人工智能正式诞生之前,1943 年心理学家 W.S. McCulloch 和数理逻辑学家 W. Pitts 提出来了人工神经元模型,由此开启了人工神经网络研究时代。1956 年,达特茅斯会议提出了人工智能概念,这标志着人工智能的诞生。20 世纪 60 年代,联结主义和顺从主义等主要类型不再被使用,智能技术发展陷入低迷。20 世纪 70 ~ 80 年代,反向传播神经网络被广泛认识。在此基础上,随着计算机硬件性能的迅速提升,人工神经网络算法研究获得快速发展,但互联网在上个世纪 90 年代的发展压制了人工智能的发展势头。21 世纪 10 年代,随着移动互联网的发展,更多人工智能应用场景被创造出来。2012 年,深度学习的概念被提出,人工智能开始取得突破性进展,尤其在语音和视觉识别方面<sup>[5]</sup>。

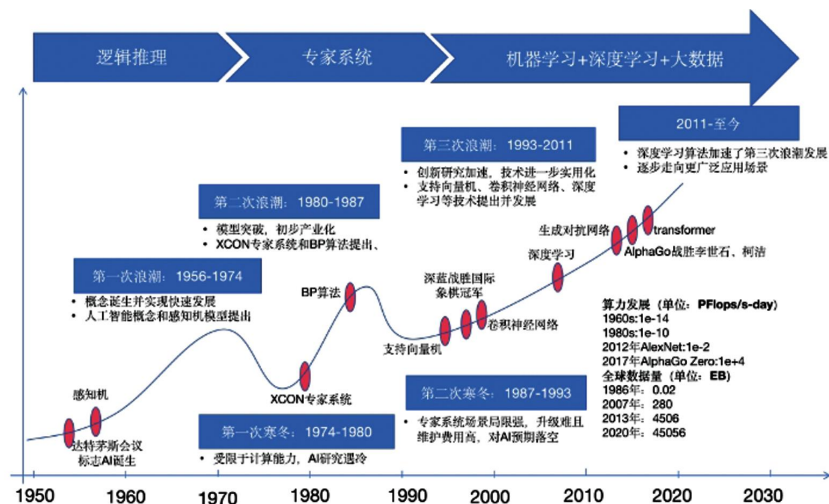
**1.2 人工智能的核心应用技术** 人工智能通过算法来分析数据、生成模型,并采用有效方式对结果进行描述。大数据、算法是人工智能的技术基础,此

**[收稿日期]** 2024-03-16

**[接受日期]** 2024-03-25

**[作者简介]** 高承实, 博士, 副教授。

\* 通信作者 (Corresponding author). Tel: 13838001036, E-mail: 13838001036@163.com

图 1 人工智能发展历程<sup>[4]</sup>

外,还有如下几种驱动人工智能发展的关键技术。

**1.2.1 计算机视觉** 人类 91%的信息通过双眼获得,由此可见,视觉在人类信息获取方面的重要性。计算机视觉的研究目的,就是让计算机能够像人一样通过视觉来认识和理解世界。图 2 总结了计算机视觉技术在各个领域的应用。计算机视觉研究的主要内容包括图像识别、目标跟踪和语义分割,这些应用在 VR、AR 等领域有着重要的价值。计算机视觉领域最主要的应用有图像识别、目标跟踪和语义分割。这些应用在 VR、AR 等领域有着重要的价值。

**1.2.2 机器学习** 机器学习是通过对数据的学习,达到提升自身性能的目的。按照学习方式,可以把机器学习分为监督学习、无监督学习、半监督学习和强化学习(图 3)<sup>[5]</sup>。机器学习需要解决的问题主要有预测、聚类、分类和降维,通过这些问题的解决,提升机

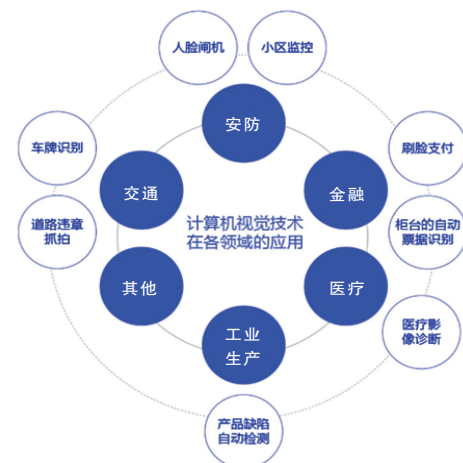


图 2 计算机视觉技术在各领域的应用

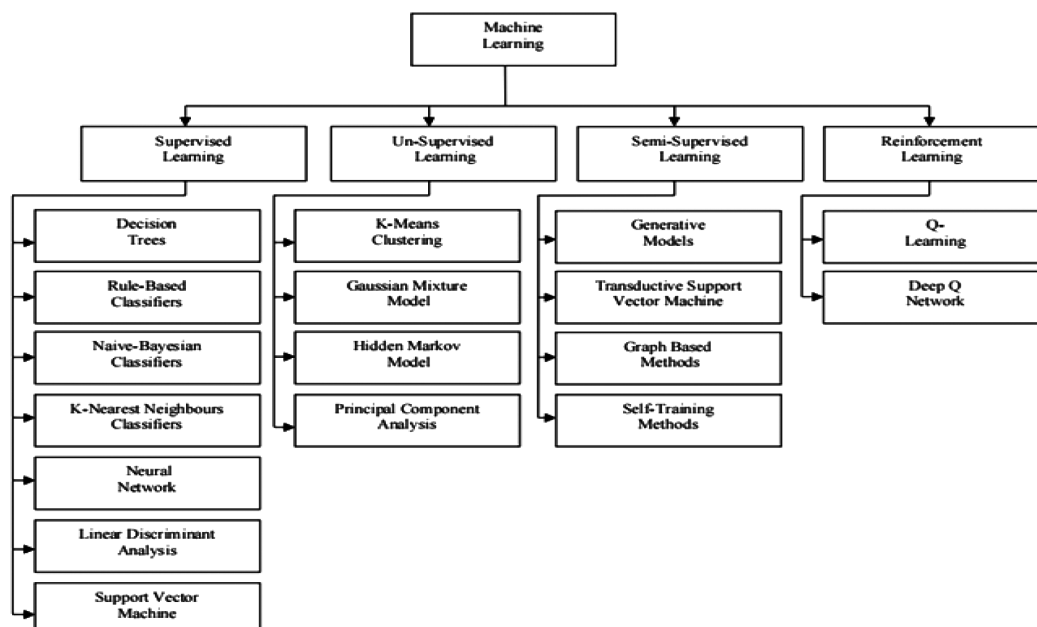


图 3 机器学习的经典算法

器自身性能。

监督学习是通过已知类别的样本调整分类器参数,使其达到所要求性能的过程,也称为监督训练或有教师学习。监督学习的主要方法有分类和回归两类算法。监督学习需要大量的数据进行训练,像音频、视频、图片等非格式化数据,则需要对其进行数据标注。而大量质量不满足要求的数据,则需要进行数据清洗,使之满足要求。

无监督学习不预先指定数据分类和目标值,目的是从未标记的数据中发现隐藏的结构或推断具有输入数据的概率密度模型。无监督学习有聚类和密度估计等算法。当年大败世界顶级围棋高手李世石的 AlphaGo Zero,就是通过无监督学习训练出来的。

半监督学习模式下,输入数据部分被标识分类,主要用来预测分析。算法模块先要学习数据的内在结构以合理组织数据,是对常用监督式学习算法的扩展。

强化学习模式则是将输入数据直接反馈到模型,模型作出动态修正调整,常见的应用场景包括动态系统、机器人控制等。

机器学习从模式识别和人工智能领域发展而来,研究主要集中在自然语言处理、计算机视觉、模式识别、认知计算和知识表示等领域。

**1.2.3 自然语言处理** 自然语言处理是要让计算机能够识别和理解人类文本语言,因此也被称为计算语言学。基于以往研究,自然语言处理被分为 7 个主要研究方向,分别为语法语义分析、信息抽取、文本挖掘、信息检索、机器翻译、问答系统和对话系统。

句法语义分析是指对文本进行词性、词义、句法、语义角色和多词义分析。信息抽取是从文本中抽取时间、地点和人物等关键信息,分析文本中句子的因果关系。文本挖掘是通过给文档增加自动索引,基于关键词或其他信息从文档中检索出需要信息的过程。机器翻译是将 1 种语言输入的文本通过机器转换为另 1 种语言对应文本的过程,根据媒介的不同,机器翻译又可以分为文本翻译、图形翻译、手语翻译等不同类别。问答系统需要针对 1 个用文字表达的问题给出对应的答案,这个过程先要对问题文本进行语义分析,然后在已有资料库中匹配对应答案,之后还要联系用户问题的上下文环境,才能给出对应的回复。

**1.2.4 语音识别** 语音识别是将人类的语音输入转换为机器可以理解和处理的语言的过程,或者将其转换为另外的自然语言。语音识别系统要先对输入的语音信号进行处理,抽取特征值,提取对应的

特征参数。之后再将抽取的特征值和特征参数与已有数据库中的特征值和特征参数匹配,才能最后输出识别出的内容。噪声处理、鲁棒性和语音模型是语音识别的难点。因为语音在输入时总会被各种噪声所环绕,噪声处理是准确进行语音识别的重要一环。

## 2 大模型发展和通用人工智能的兴起

人工智能最近的几次高峰分别是 1997 年 IBM 的“深蓝”打败了世界国际象棋冠军卡斯帕罗夫,2016 年 3 月 DeepMind 开发的 AlphaGo 击败了韩国围棋世界冠军李世石和中国选手柯洁,以及由 ChatGPT 3.0 的横空出世而引发的全世界大语言模型热。

在大语言模型(large language models, LLMs)领域,2018 年谷歌推出的 BERT,模型参数量就已经达到 3 亿;但紧接着,2019 年 2 月,OpenAI 就推出了 GPT-2,其模型参数达到了 15 亿;2020 年 6 月,OpenAI 继续推出 GPT-3,其模型参数从数十亿迅速增加到了惊人的 1 750 亿,这也使得亿级参数成为 LLMs 的最低配置。而且模型参数在目前仍然保持着快速上升的趋势。此外需要说明的是,GPT-3 在多个自然语言处理任务上表现良好,在生成任务方面表现尤为突出。

**2.1 大模型发展历程** 在参数规模上,预训练模型、大规模预训练模型和超大规模预训练模型是大模型发展的 3 个重要阶段。在这个发展过程中,参数规模平均每年较上一年增长 10 倍,实现了从亿级到百万亿级的突破。目前千亿级参数是市场的主流。

在技术架构上,大模型形成了 2 条主要的技术路线(GPT 和 BERT),其中 GPT 的 Transformer 架构是当前的主流算法架构,而 BERT 路线最有名的落地项目是谷歌的 AlphaGo。

在模态支持上,大模型可分为自然语言处理大模型、计算机视觉大模型、科学计算大模型等不同领域的应用。大模型支持的模态更加多样,从支持文本、图片、图像、语音单一模态下的单一任务,逐渐发展为支持多种模态下的多种任务<sup>[9]</sup>。

大模型成为当前发展最快的科技领域,仅仅 2024 年 2 月,大模型领域就曝出了很多新闻。OpenAI 在中国春节期间正式发布了文本视频生成模型 Sora,同时谷歌宣布推出 Gemini 1.5,通过新的专家混合(MoE)架构使 Gemini 1.5 的训练和服务更加高效,可以支持 100 万上下文。在语音生成领域,受自然语言处理、计算机视觉的大模型知识涌现的启发,亚马逊正式推出了 BASE TTS,将 TTS 模型的



参数规模提升到了前所未有的 10 亿级别,实现了多语言、多发言人的能力<sup>[7]</sup>。

**2.2 大模型的局限性** 大模型是当今最为成功的人工智能应用,而且也是很多人认为通向通用人工智能的路径。但其仍存在相当大的局限性。

**2.2.1 大模型幻觉** 大模型虽然功能强大,但仍有可能出现不准确或虚假的反应,即“幻觉”。这些反馈可能与事实不符,在某些情况下甚至是完全虚假和编造的。对医疗保健、商业运营等关键行业,这个缺陷会产生严重影响。而且没有人能预测,大模型何时会产生幻觉。

**2.2.2 有限的可控性** LLMs 功能强大,非专家也能使用,但缺乏可控性。可控性指的是 1 个系统在特定的输入下,能够被引导的能力。尽管 LLMs 在大量数据的基础上进行了训练,并能生成各种响应,但具体结果并不总是可以预测的。因为语言模型本质上是复杂的概率计算机器,它们在语言标记之间建立关系,并计算出每个标记在响应给定提示时的下一个出现概率。这些模型会反复选择其中 1 个最有可能出现的词组,直到输出完成为止。尽管业界探索出了一些管控输出的方法,比如监督微调、预训练数据编辑、输入过滤器、输出过滤器,但控制大模型输出质量仍然具有极大的挑战性。

**2.2.3 缺乏可靠性** 大模型是在大量文本数据的基础上训练而成的,能够以类似人类的方式理解和响应自然语言。然而,LLMs 所用的训练数据通常来自特定的时期,可能无法准确反映世界现状或最新发展。更新大模型的知识非常复杂,需要对模型进行重新训练,成本极高。为了深入学习,大模型既要学习推理能力,又要学习所训练知识的关联记忆。联想记忆停留在训练的时间段内,没有简单的覆盖机制来更新它。即使配对的搜索引擎可以更新最新信息,但也无法保证模型不会提供过时的信息。

**2.2.4 缺乏可解释性和可说明性** 大模型像 1 个黑盒子,缺乏可解释性,它们得出结果的过程并不为人类所理解,我们也很难预测背后的原因。这种透明度的缺乏会带来信任问题,导致诊断偏差或错误。

**2.2.5 难以概括和理解语境** 虽然语言学习者擅长生成连贯的文本,但他们在新任务的概括和语境理解方面仍有困难。大模型缺乏现实世界的知识,在常识推理方面面临较大的难度,因此在实际的可用性方面会受到较大的限制。

**2.3 通用人工智能的兴起** 近年来,“1 个大规模预训练模型适用于多个下游任务”的模式正在取代传统的“特定任务特定模型”的人工智能应用构建模式。

LLMs 基于海量算力和大规模计算系统,为用户的不同需求训练大模型,以满足不同的人工智能应用需求。在这种背景之下,不同的专家从各自的视角出发,给出了通用人工智能的实现可能,甚至有人还给出了具体的通用人工智能的实现时间节点<sup>[8]</sup>。

对通用人工智能的可实现问题,我们持保留态度。北京航空航天大学刘伟教授<sup>[9]</sup>从哲学层面深刻地指出了当前人工智能存在的问题。即从数据的角度看,小样本小数据解决大问题,才是智能的表现;从推理逻辑的角度看,把智能仅看成计算或逻辑是 1 种误区;从表征的角度看,人工智能把人类的理性表征与感性表征进行了剥离;从意识的角度看,智能不是语言就能够实现的,智能还需要加入思维;此外,价值不同于事实,它不是假设,也不是统计概率。因此,智能是 1 个人机环境的交互共同体,包括计算和算计两部分,人负责解决的问题是做正确的事,机器要解决的问题是正确地做事,而环境要解决的问题则是提供做事的平台。因此,智能是计算与算计(智算)的叠加和纠缠。

### 3 人工智能在元宇宙医学中的应用

利用大模型解决医学问题是医学人工智能研究计划的一部分,这一分支最早可以追溯到 1959 年 Ledley 和 Lusted<sup>[10]</sup>的经典著作。此后的几十年里,专家们在辅助医生诊疗方面探索了不同的算法,包括决策理论、基于规则的专家系统、语义图、监督学习和深度神经网络模型,目前已经发展到利用自然语言处理系统解决医学问题,部署的模型可以在特定的医学语料库或基础模型上进行训练,然后通过专门的微调技术来适配医学数据。

**3.1 当前人工智能在医学领域的典型应用场景** 目前已公开发布的重要的 LLMs 参数数量差异极大,但在医学任务上的测试(以 PubMedQA 为例)普遍取得了不错的成绩。指令提示微调以及增加大模型参数量,能够显著提升 LLMs 的理解力、知识召回和推理能力,是 LLMs 在临床领域发挥其潜力的关键。

LLMs 已经基本攻破了人工智能的图灵测试,因此,通过 LLMs 实现问诊,有可能获得比医生亲自问诊更好的效果。在通用 LLMs 取得巨大成功的背景下,其在医学领域的应用也获得了越来越多的关注。将通用 LLMs 应用于医学,便出现了医学 LLMs,例如 PaLM、MedPaLM 和 MedPaLM-2。其在美国医学执业资格考试中取得了 86.5 分的高分,而人类专家也才获得 87.0 分<sup>[11]</sup>。在 LLaMA 的基础上,ChatDoctor、MedAlpaca 等医学 LLMs 被陆续推出,在临床医学中

具有多处应用(以 ChatGPT 为例)<sup>[12]</sup>。

文献<sup>[13]</sup>总结了 ChatGPT 在临床医学中的典型应用场景。主要有问诊、临床病史采集及文本撰写;临床辅助决策;医患沟通、患者教育及心理支持;临床研究开展等。

**3.2 当前人工智能在医学领域应用存在的不足** 当前人工智能在医学领域的应用,基本都是以 LLMs 为主,其他人工智能方法的应用报道还比较少。但大语言模型的一些局限,导致基于 LLMs 的人工智能应用也面临着非常大的不足。

**3.2.1 数据可及性差且质量低** LLMs 必须要通过海量数据和大样本的训练,才能够提高模型性能。纵观大模型取得巨大成就的领域,都是拥有大量数据集,并且可以应用复杂和精确算法的领域。但是人工智能在医学领域,却始终面临着数据可及性低、数据质量差的问题。

首先,临床数据涉及多个参与方,无法保证多个参与方在数据质量方面整齐划一,数据质量天然存在差异。其次,医生记录方式、使用的术语不同,数据录入方式也不同,导致数据质量不一。这些都会使得模型表现不佳,或者无法准确预测结果。再次,临床数据标准化程度较低,不同医疗机构的数据标准和数据结构存在差异,由此带来数据整合既复杂又困难,这也限制了大模型在不同数据集和不同机构之间的迁移和应用。此外,医疗数据涉及大量的患者病史和治疗方案等敏感信息,由此导致数据共享受到诸多限制。最后,大模型性能提升以及与时俱进无疑需要持续的数据更新迭代,但数据的持续更迭自然需要获得数据的持续使用权,这又进一步提高了数据可及性的难度。

**3.2.2 模型应用表现差,缺乏可解释性** 医学领域诊疗的精度和准确性,无论是对医生还是对患者,都是至关重要的。然而,LLMs 在医疗数据收集过程中肯定存在样本偏差、注释错误,以及模型自身可能存在的偏见,使得大模型在生成结果时会产生不准确或有偏倚的信息。由这种不准确或有偏倚的信息生成的医学建议或医学决策,如果直接用于医疗,将会具有相当大的风险。

AI 模型过拟合同样会导致其预测结果不尽人意。在医疗保健领域,医生和患者都需要理解模型的推理过程,并对生成结果的依据有所了解。但大模型的黑盒逻辑,使得无论是医生、患者,甚至是人工智能专家都难以对其生成结果的逻辑和依据做出相应的理解。这显著降低了模型生成结果的可信度,并影响其在实际应用中的可靠性和可接受性。

**3.2.3 与医疗实际需求和应用场景脱节,落地困难** 从目前实际应用情况来看,LLMs 在通用语言理解方面表现出色。但在面对具有高度复杂性和专业性的医疗问题时,LLMs 的理解仍然非常有限。这就使得将大模型应用于医疗决策和临床指导,变得非常困难。

在医疗实践中,决策和行动往往需要考虑患者的个体差异、病情复杂性、实际可行性等多个因素。因此,如何将大模型整合进医生和医院的工作流程,也是当前人工智能应用于元宇宙医学的一大难点,这方面成功案例还相当匮乏,更多的医学 AI 模型还处于实验阶段。

此外,大模型在医学领域的应用还带来了责任判定和追溯难题。如果大模型做出了错误的建议或决策,那么该由谁来承担相应的责任?是使用大模型的医生,还是研发大模型的机构或人工智能专家?这在相当长的一段时间内将仍然是大模型落地的一大障碍。

## 4 医学人工智能概念的提出和未来发展

当前的人工智能基本都是 IT 界人士针对他们所碰到和想到的问题,而提出的针对特定应用的解决方案,医学领域的特殊性、医学知识和医学逻辑并没有得到充分考虑,因此人工智能在医学领域的应用还处于比较浅的层次上。当前医学领域的人工智能应用,基本上都是基于当前医疗模式和医学范式而实现的人工智能赋能,更多的人工智能应用或者是基于大模型实现的通用医学人工智能,其场景覆盖了医学科研、药物研发、智慧诊疗、医疗设备运维、医院管理等多个环节,或者是人工智能在某一专病诊疗上的应用。但这并不是元宇宙医学所要实现的目标,也不是元宇宙医学运行的应有范式。元宇宙医学一定是针对人体健康和疾病的预防和诊治,建立在充分的医学知识数字化基础之上,以专业的或专用医学人工智能作为其发展和应用的驱动力量,而建立起来的具有新的医疗模式和大健康范式的新医学。

**4.1 医学人工智能的概念和分类** 针对医学和医疗的特殊要求和特殊需求,借鉴工业大数据<sup>[14]</sup>和工业人工智能<sup>[15]</sup>等概念,我们提出医学人工智能的概念。医学人工智能既不同于通用人工智能,也不同于工业人工智能。通用人工智能,包括信息互联网和消费互联网领域所采用的人工智能,也包括当前火热的大模型背后的人工智能,更多是 1 种发散的人工智能。这种人工智能负责对不同数字形态要素的匹配和推荐,但不同的数字要素是否要真正实现



连接,还是要由人来决定。而工业人工智能则是聚焦、精准且结构化的人工智能,要求高度的可控、可靠、可解释,不允许随意发散,其典型应用场景就是工业互联网,更具象的场景比如自动驾驶。

医学人工智能也是 1 个跨领域、跨学科的系统工程,医学场景中的人工智能应用一方面要求高度地聚焦、精准且结构化,尤其是基于人体各种生理数据做出的健康和疾病诊疗,甚至基于此诊疗方案而制订的手术实施方案。这种场景不允许出现大模型所谓的幻觉。但另一方面,医学人工智能也有其开放、发散的一面。因为我们对人体生理,尤其是作为系统和整体的人体生理机制所知还非常有限,同时随着人类老龄化时代的到来,各种健康和疾病因素都在演化,外界的病毒也在演化。面对医学和人体,我们还存在相当多的未知。但这种开放、发散的医学人工智能,其应用必定要被限定在一定的领域和环节之内,比如问诊、辅助医疗、医学科学研究,而不能将其直接应用于健康和疾病诊疗。

基于以上分析,医学人工智能应该包括两大类人工智能,狭义上的医学人工智能是聚焦的人工智能,是可解释、可预测、可信任的人工智能,这一类人工智能主要用于疾病早诊、治疗和预防,以实现无人干预全自动智能诊疗为目标。另一类是基于当前的发散的广义上的人工智能而构建的,这一类人工智能主要用于问诊、医学科研、疑难病症诊断,辅助医生做出医学判断,可以弥补医生个人时间精力有限、知识视野局限等问题,是从专病诊疗向全科诊疗进化和拓展的有力助手和工具。

**4.2 医学人工智能的目标** 当前的人工智能医学应用,主要是通过人工智能技术和方法,实现对医学的赋能,远未实现“名医治未病,元医惠众生”的目标<sup>[9]</sup>。但在海量医学高质量数据的基础上,尤其是通过越来越多、越来越精准的传感器,能够获取到更加精准、维度更加丰富、与人体健康与疾病关联关系更加紧密的数据基础上,医学人工智能通过多种数据挖掘和分析方法,挖掘出可见和不可见的人体生理数据之间以及人体生理数据与外部环境之间的内在关系,就能够从技术上真正实现疾病的早发现早治疗,甚至在未发现疾病的时候,就可以基于不同数据和指标的变化做及早预防。只有这样,才有可能将医学重点从医疗转向大健康和预防,以避免尚未发生的不可见的健康和疾病问题。

从医学发展本身,医学人工智能在海量高质量数据基础上构建出的维度更加多元、内容更加丰富的医学和健康知识,在更多种数据挖掘算法的支持

下,也将使现在被分割成不同细分领域的医学重新成为 1 个关于“人”的整体性科学,使得医学既能深入到人体每个器官和组织,甚至细胞和分子水平的同时,也能从系统和整体层面重新深刻认知人体。在这种状态下,人才不会只有在身体感觉到不舒服的时候才去就医,而是通过其他相关联数据和指标的改变,基于丰富的医学知识库的知识关联和匹配以及各种相关算法的智能计算,预知或预测人体已经出现,或即将出现,甚至有潜在出现可能的各种征兆,真正给人类带来“大”健康。

**4.3 医学人工智能的构建方法** 医学人工智能系统的构建,一方面是要走工业大数据和工业人工智能的路子,基于高质量的人体健康和医疗数据,通过聚焦和收敛的医学人工智能逻辑推理,准确可靠可预测地实现无人干预的人工诊疗,甚至基于该诊疗结果,在必要时直接由医学人工智能以及由医学人工智能控制的手术机器人对病人实施手术。另一方面是基于目前的大模型,通过向大模型输入更多的医学和医疗数据,并将这些医学和医疗数据与其他数据进行广泛关联,从而发现人体健康和疾病背后更多的隐蔽关系,从而推动医学和大健康的发展,辅助并赋能人类健康诊疗。

前一种医学人工智能系统构建面临的最主要问题是数据的数量和质量问题。即使我们已经拥有了很多种医院信息化系统,也有了相应的国际标准,但相关数据的沉淀以及质量,还存在相当大的问题。而这些质量不高,甚至错误的数据,会在极大程度上影响人工智能结果输出的正确性和准确性。另外一方面,还有很多医学知识,尤其是医生的个人经验,还远远没有实现数字化,因此这些知识和经验也就没有办法进入医学人工智能系统。再一个方面,广泛的医学和医疗数据的采集和利用,还涉及到非常麻烦的用户隐私保护问题,无论是技术层面,还是相关的法律法规制度层面,我们都还没有准备好。医学知识和医生个人经验在数字化以后的知识产权保护,也是 1 个尚未得到解决的法律和制度问题。

另外还有基于医学知识生成逻辑构建的专用医学人工智能算法。这一类人工智能算法除了可靠可控可解释的数字要素之间的逻辑关联和数学计算,还必须有医学知识的加持,也必须要有医学知识生成逻辑贯穿始终。否则,这一类人工智能也就还是通用人工智能在医学领域的应用。

后一种医学人工智能系统构建存在的问题,1 个是医学和医疗数据问题,1 个是医学人工智能的算法问题。在医学和医疗数据问题方面,也存在质



量和数量两个层面。高质量的医学和医疗数据极其稀缺,为此需要专业人员花费大量时间精力完成相应医学档案和医学资料的数据清洗和数据标注工作。在医学人工智能算法方面,需要人工智能专家和医学工作者紧密结合,将医学知识和医学逻辑嵌入人工智能系统,而不能让人工智能系统仅仅依托于传统意义上的数学计算、逻辑推理、概率关联。医学知识的嵌入,一方面增加了广义医学人工智能的思考维度,另一方面也增加了广义医学人工智能结果输出的准确性和可用性。

两种医学人工智能的目标不同,构建的基础数据不同,内含的智能构建方式不同。后一种医学人工智能在确认了数据质量、构建方法和构建质量之后,可以在一定程度上转化为前一类医学人工智能。于是,确定型聚焦式的医学人工智能所能应用的范围就会越来越广,能诊疗的疾病也会越来越多,医疗精准度和效率也会越来越高。而随着人类数字化进程的推进,尤其针对人体生理数据获取的各类传感器越来越丰富,后一类人工智能的数据也会越来越丰富,其准确性也会越来越高,再加之元宇宙基础设施建设的推进,后一类医学人工智能也会在医学领域有越来越广泛的应用。

## 5 展 望

人体本身就是 1 个系统,我们对人体的认识也需要 1 个由表及里、由浅入深、由局部到系统的过程。随着医学相关技术的进一步发展,人类对自身的认识已经不知道深化了多少个层级,但随着这一过程的深入,人对人体作为系统性的掌握能力却好像越来越低。每个人的时间、精力又都是受生命长度所局限的,因此如何在精通 1 种或几种专病的同时,深入透彻融会贯通地理解人体构造,对个体医生来讲几乎就是不可能的事情了。但数字技术和元宇宙的发展,尤其是人工智能的发展,使得借助相关技术工具,在实现对人体每个局部更深入透彻了解的基础上,实现对人体作为整体和系统更全面的了解,也就成为元宇宙医学的 1 个努力目标。而在人工智能相关技术的加持下,医学科研的研究目标、研究方式方法,也将会发生颠覆性的改变。

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 高承实:选题、撰稿、论文修改。

## 参考文献

- [1] 高承实. 元宇宙进化逻辑: 用确定性的逻辑诠释不确定的未来[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2023.
- [2] 高承实. 人工智能是元宇宙进化的方法论[J]. 张江科技评论, 2023, (3): 11-13.
- [3] 崔雍浩, 商 聪, 陈镔奇, 等. 人工智能综述: AI 的发展[J]. 无线电通信技术, 2019, 45(3): 225-231.
- [4] 中信建投证券. AI 下半场, 应用落地, 赋能百业[EB/OL]. (2023 -12 -04) [2024 -03 -01]. [https://pdf.dfcfw.com/pdf/H301\\_AP202312051613357209\\_1.pdf](https://pdf.dfcfw.com/pdf/H301_AP202312051613357209_1.pdf).
- [5] 屠恩美, 杨 杰. 半监督学习理论及其研究进展概述[J]. 上海交通大学学报, 2018, 52(10): 1280-1291.
- [6] 罗锦钊, 孙玉龙, 钱增志, 等. 人工智能大模型综述及展望[J]. 无线电工程, 2023, 53(11): 2461-2472.
- [7] 2024 开年, 看一看: 大型语言模型(LLM)在过去一年多的发展! (按月总结)[EB/OL]. (2024-02-22) [2024-03-01]. <https://cloud.tencent.com/developer/article/2390153>.
- [8] ETtoday 新闻云. 黄仁勋: 通用人工智能最快 5 年内问世! 可通过人类测验[EB/OL]. (2024-03-02) [2024-03-01]. <https://www.ettoday.net/news/20240302/2692447.htm>.
- [9] 刘 伟. 人工智能未来发展趋势: 人机环境系统智能[EB/OL]. (2024 -03 -03) [2024 -03 -01]. <https://pan.baidu.com/s/1q2o1BBrMGLldfKytW5Ud4Q?pwd=0303>.
- [10] LEDLEY R S, LUSTED L B. Reasoning foundations of medical diagnosis; symbolic logic, probability, and value theory aid our understanding of how physicians reason[J]. Science, 1959, 130(3366): 9-21.
- [11] SINGHAL K, AZIZI S, TU T, et al. Large language models encode clinical knowledge[J]. Nature, 2023, 620: 172-180.
- [12] 澎湃新闻. ChatGPT 救命: 4 岁男孩 3 年求医 17 位专家无果, 大模型精准揪出病因[EB/OL]. (2023-09-18) [2024-03-01]. [https://www.thepaper.cn/newsDetail\\_forward\\_24645139](https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_24645139).
- [13] 文 森, 钱 力, 胡懋地, 等. 基于大语言模型的问答技术研究进展综述[J/OL]. 数据分析与知识发现, 1-17. (2024-04-15) [2024-03-01]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1478.G2.20231110.1612.002.html>.
- [14] [美]李 杰(Jay Lee). 工业人工智能[M]. 刘宗长, 等, 译. 上海: 上海交通大学出版社, 2019.
- [15] [美]李 杰(Jay Lee). 邱伯华, 译. 工业大数据: 工业 4.0 时代的工业转型与价值创造[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [16] 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.

## 引用本文

高承实. 人工智能的发展及其在元宇宙医学中的应用前景[J]. 元宇宙医学, 2024, 1(1): 28-34.

GAO C S. The development of artificial intelligence and its application in metaverse in medicine [J]. Metaverse Med, 2024, 1(1): 28-34.

DOI: 10.61189/514682hqcmjf

· 专家述评 ·

# 元宇宙医学数智医疗装备的监管政策研究

张宇鸣<sup>1,2</sup>, 张培茗<sup>2</sup>, 赵阳光<sup>1</sup>, 程云章<sup>2\*</sup>

1. 中国信息通信研究院, 北京 100191

2. 上海理工大学, 上海 200093



**[摘要]** 元宇宙医学通过 AR/VR 技术和医疗物联网(IoMT)实现数字化、智能化的医疗服务新模式,突破了传统医疗服务的时空限制,并在医疗教育、手术辅助、慢性疾病管理等方面展现出巨大潜力。同时,元宇宙医学的发展也带来了技术依赖、法律监管不足、专业人才缺乏等挑战,尤其是在数据安全和个人隐私保护方面。本文分析了数智医疗装备的监管要求与挑战,包括终端设备、终端软件和智能软件的监管,并探讨了全球主流市场数字医疗健康产品的监管举措,如美国 FDA、欧盟 MDR 和中国 NMPA 的政策,提出企业面对未来监管挑战的策略建议,强调了合规经营的重要性,并展望了新兴技术对监管发展趋势的影响。

**[关键词]** 元宇宙医学;数智医疗装备;监管政策;数据安全;个人隐私保护

**[中图分类号]** R-0/TP309.2

**[文献标志码]** A

## Regulatory policies research on digital intelligence medical equipment in metaverse in medicine

ZHANG Yuming<sup>1,2</sup>, ZHANG Peiming<sup>2</sup>, ZHAO Yangguang<sup>1</sup>, CHEN Yunzhang<sup>2\*</sup>

1. China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100191, China

2. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

**[Abstract]** Metaverse in medicine forges a novel paradigm of digitized and intelligent healthcare services using AR/VR technology and the Internet of Medical Things (IoMT), transcending the spatial and temporal constraints of conventional medical practice and unveiling significant prospects in medical training, surgical support, and chronic disease management, among others. Concurrently, the ascent of metaverse in medicine poses challenges, including technology dependency, regulatory gaps, and a shortage of skilled professionals, particularly concerning data security and privacy protection. This article scrutinizes the regulatory demands and hurdles associated with digital medical devices, encompassing the oversight of hardware, software applications, and intelligent algorithms, and reviews regulatory strategies for digital health products in leading markets such as the FDA, MDR, and NMPA guidelines. In conclusion, the paper proffers strategic recommendations for businesses to navigate forthcoming regulatory obstacles, underscores the imperative of compliance management, and anticipates the influence of nascent technologies on the trajectory of regulatory evolution.

**[Key Words]** metaverse in medicine; digital intelligence medical equipment; regulatory policy; data security; personal privacy protection

## 1 元宇宙医学的兴起

白春学教授<sup>[1]</sup>最早提出:元宇宙医学为通过 AR 和(或)VR 眼镜实践的物联网医学。这一定义强调了利用增强现实(AR)和虚拟现实(VR)技术,结合医疗物联网(MIoT),在医疗领域中构建一个数字化、智能化的虚拟空间,通过云加端平台实现虚拟与现实的互动,以及国内外名医之间的专病元健康管理模式的联袂工作<sup>[2]</sup>,来促进医疗服务和疾病防治的新模式。

首先,元宇宙医学不仅能够突破物理时空限制,提供更加个性化、互动性强的医疗体验,还能够

在医疗教育、手术辅助、慢性疾病管理等方面发挥重要作用<sup>[2]</sup>。其次,元宇宙医学还包括利用数字孪生技术对患者病情进行模拟分析,以及通过物联网技术收集和分析患者的健康数据,从而实现疾病的早期诊断和个性化治疗方案的设计<sup>[3]</sup>。患者可以在元宇宙医院接受元宇宙医生沉浸式问诊及治疗方案的讲解。此外,元宇宙医学还有助于解决医疗资源分布不均的问题,通过分级诊疗制度和远程医疗服务,使得优质医疗资源能够覆盖更广泛的区域。同时,元宇宙医学还能在健康教育、培训、预防、康复等领域发挥重要作用,提高公众的健康意识和自我管理能力<sup>[4]</sup>。

**[收稿日期]** 2024-03-15

**[接受日期]** 2024-03-25

**[作者简介]** 张宇鸣, 硕士. E-mail: 13901725500@139.com

\* 通信作者 (Corresponding author). Tel: 021-55572161, E-mail: cyz2008@usst.edu.cn

然而,元宇宙医学的发展也面临着技术依赖、法律监管不足、专业人才缺乏等挑战<sup>[3]</sup>。同时,元宇宙医学的发展也引发了对医疗数据安全、个人隐私保护等方面的法律和监管问题的关注<sup>[5]</sup>。

元宇宙医学在物联网医学的基础上融合了虚拟现实、人工智能、大数据等前沿技术,为医疗服务提供了全新的可能性。然而,这种创新性的服务模式高度依赖全新的数智医疗装备,是数字化硬件终端、物联网能力、医学人工智能软件的整合,其合规上市与应用、数据隐私和安全等给监管带来了新的挑战。

## 2 数智医疗装备的发展

医疗装备是指为保障人民群众生命安全和身体健康而开发应用的相关硬件、软件和集成系统的总和<sup>[4]</sup>。而数智医疗装备,通常指的是依托于先进的信息技术,如大数据、云计算、互联网和人工智能等,为医疗、教学、科研、预防、保健等工作提供支持的高科技医疗设备、器械、耗材和医学信息系统等。这些装备能够通过数据的收集、处理和分析,提高医疗服务的质量和效率,实现医疗流程的智能化和数字化,从而推动医疗服务体系的创新和优化。

具体来说,数智医疗装备可以包括但不限于以下几类。(1)智能诊断设备:利用人工智能算法对医学影像、生理信号等数据进行分析,辅助医生进行疾病诊断。(2)远程医疗系统:通过互联网技术实现远程医疗服务,包括远程会诊、远程监护和远程手术等。(3)医疗机器人:包括手术机器人、护理机器人和康复机器人等,能够在医生的控制下执行精确的医疗操作。(4)穿戴式医疗设备:通过各种传感器收集患者的生理数据,实时监控健康状况,并与医疗服务提供者共享信息。(5)电子病历和医疗信息系统:通过云计算和大数据分析技术,实现病历数据的电子化管理和医疗资源的优化配置。

数智医疗装备的发展和应用,不仅能够提升医疗服务的质量和效率,还有助于降低医疗成本,扩大医疗服务的覆盖范围,实现个性化和精准医疗,最终造福广大患者和整个社会<sup>[6]</sup>。随着技术的不断进步和创新,未来的数智医疗装备将更加智能化、个性化,为医疗健康领域带来更多的可能性和机遇<sup>[7]</sup>。

## 3 数智医疗装备产品的合规性要求

元宇宙医学数智医疗装备具备全面感知、可靠传输、智能处理,这一模式涉及到的主要元素包括

终端设备、终端软件、智能软件等,这些组成元素的监管要求与挑战如下。

**3.1 终端设备的监管要求与挑战** 终端设备是元宇宙医学中获取用户健康数据的重要工具。其监管主要面临以下挑战:首先是设备的准确性和可靠性,需要保证设备的测量结果准确,不会产生误导用户的风险;其次是设备的安全性,要防止设备被恶意攻击,导致数据泄露或者设备损坏;最后是设备的使用便捷性,设备需要易于操作,用户能够方便地获取和理解设备的测量结果。

**3.2 终端软件的监管要求与挑战** 终端软件是用户与元宇宙医学平台直接互动的工具,其监管主要面临以下挑战:首先是保证软件的安全性,需防止恶意软件或病毒的攻击,保证用户数据的安全;其次是软件的可用性和稳定性,要求软件能在各种设备和平台上运行流畅,不出现崩溃或者数据丢失,以及用户误操作引发的可用性风险等问题;最后是软件的更新问题,软件需要定期进行更新以修复可能存在的问题,但过于频繁的更新可能会干扰用户的使用。

**3.3 智能软件的监管要求与挑战** 智能软件在元宇宙医学中起到智能分析和辅助决策的作用。其监管主要面临以下挑战:首先是算法的公正性和透明性,需要防止算法的偏见和歧视,保证算法的决策透明和可解释;其次是算法的准确性,算法的推荐或者决策需要准确,不会误导用户或者医生;最后是数据的安全性,算法需要大量的数据进行训练和运行,这就需要保证数据的安全,防止数据的滥用和泄露。

## 4 国内外现行监管框架研究

数智医疗装备代表了医疗器械领域的数字化和智能化融合,与传统的单一医疗器械有显著区别。随着技术的进步,监管机构已经认识到需要对具有辅助诊疗功能的数字医疗健康产品进行更为细致的监管。国内外监管框架逐渐明确,将医疗器械软件(SiMD)和独立医疗器械软件(SaMD)纳入医疗器械的注册和管理范畴。

全球范围内,数字医疗健康产品的监管仍处于发展阶段,其目标是确保产品的安全性、有效性和可靠性,同时保护用户的隐私和数据安全。这一监管体系覆盖了产品的设计、开发、生产、销售、使用和维护等全过程<sup>[7]</sup>。

法规制定是监管体系的基础:各国政府机构,如美国食品药品监督管理局(FDA)、欧洲药品管理



局 (EMA) 和中国的国家药品监督管理局 (NMPA) 等, 都制定了相应法规, 明确了数字医疗 (digital health) 健康产品的定义、分类、审批流程、生产标准和使用要求, 为监管提供了明确的指导<sup>[9]</sup>。

产品审批是监管体系的核心环节: 确保产品在上市前经过严格的安全性、有效性和质量控制评估, 经过主管机构的审批, 只有符合标准的产品和服务才能进入市场。

质量监管是监管体系的重要环节: 确保市场上产品持续符合标准的关键环节。主管机构定期抽查产品, 处理用户投诉, 并对违规产品采取相应措施。

数据保护是监管体系的重要内容: 特别是针对涉及个人健康数据的数字医疗健康产品。主管机构严格审查产品的数据安全性, 产品收集和使用用户个人信息是否符合现行法规要求, 并惩罚违反数据保护规定的行为。

用户教育和权益保护也是监管体系的重要方面: 政府机构通过多种渠道普及正确使用数字医疗健康产品的知识, 并与其他组织合作, 共同维护用户权益。

全球数字医疗健康产品监管体系是 1 个多元化、全方位的体系, 涉及到多个环节和领域。然而, 由于数字医疗健康产品的特殊性和复杂性, 这个体系还面临着很多挑战, 例如如何适应新技术的发展, 如何处理跨国数据流动<sup>[9]</sup>, 如何保护用户的隐私和数据安全等。

面对数字医疗健康产品的特殊性和复杂性, 全球监管体系面临着适应新技术发展、处理跨国数据流动、保护用户隐私和数据安全的挑战。为此, 监管体系需要不断改进和创新, 吸纳新的科学和技术知识, 更新监管工具和方法, 建立国际合作和信息共享机制, 加强用户隐私和数据安全保护。此外, 监管体系还需加强对用户权益的保护, 提供教育资源和服务, 提高用户数字健康素养, 并为用户提供投诉和维权渠道。随着科技的发展, 数字医疗健康产品变得更加复杂和多样, 监管体系需要进一步加强建设和改革, 以适应新挑战和机遇, 更好地保护公众健康和用户权益。

## 5 监管框架的演变趋势

随着数智医疗装备的快速发展, 其核心组成部分——数字医疗健康产品, 越来越多地采用物联网、大数据、人工智能等新一代数字技术。这些技术的融合带来了新的挑战, 现有的监管框架和审查审批原则往往难以适应这些创新产品和未知技术的

特点。为了有效应对这一挑战, 全球各地的监管机构开始探索新的监管策略和方法。

FDA 认识到了这一问题, 并成立了数字医疗卓越创新中心。该中心致力于推动数字医疗健康产品的创新, 同时确保其安全性和有效性。通过与学术界、研究机构、临床医院以及行业专家的紧密合作, 该中心进行前瞻性的研究和探索, 旨在建立更加灵活和高效的监管机制, 以适应数字医疗健康产品的快速发展。

同样, 中国也成立了人工智能医疗器械创新合作平台, 该平台汇集了来自高校、科研机构、医疗机构等领域的专家, 分别成立了各个细分工作组, 共同探讨和解决数智医疗装备监管中的问题。通过这种多方合作的方式, 平台不仅能够确保产品的安全性和有效性, 还能够提高监管效率, 弥补监管滞后的问题。

这些新的监管机构和合作平台的出现, 标志着监管框架的演变趋势。未来的监管将更加注重跨学科合作, 利用专家的集体智慧来评估和管理新技术带来的风险。同时, 监管机构也将更加重视与行业的沟通 and 协作, 确保监管政策能够及时响应技术进步和市场需求的变化。

此外, 监管框架的演变也将体现在对数据的重视上。随着数智医疗装备越来越依赖于数据驱动的决策, 如何确保数据的准确性、完整性和安全性将成为监管工作的重点。监管机构将需要制定更加严格的数据管理规范, 确保患者数据的隐私得到保护, 同时促进数据的合理利用和共享。

总之, 监管框架的演变将是 1 个持续的过程, 需要监管机构不断学习、适应和创新, 以确保数智医疗装备的健康发展, 同时保护患者的安全和权益。通过这种积极的演变, 监管机构将能够更好地支持医疗行业的创新, 推动医疗服务向更高效、更智能的方向发展。

## 6 全球主流市场数字医疗健康产品的监管举措

**6.1 美国 FDA 的监管举措** 美国 FDA 是美国负责食品、药品、生物制品、医疗器械、电子产品辐射安全、化妆品和兽药等产品监管的政府机构。近年来, 随着数字医疗健康产品的快速发展, FDA 也积极采取了一系列的监管举措, 以确保这些产品的安全性和有效性。

(1) 制定政策和指南: FDA 制定了一系列关于数字医疗健康产品的政策和指南, 包括定义和分类、审批流程、质量管理要求、数据安全和隐私保护

等。这些政策和指南为数字医疗健康产品的研发、生产、销售和使用提供了明确的规则和指南<sup>[9]</sup>。

(2)产品审批:在数字医疗健康产品进入市场前,必须经过FDA的审批。FDA会对产品的安全性、有效性、可靠性、操作简便性等进行全面评估,只有通过审批的产品才能在市场上销售和使用。

(3)监督与执法:FDA会定期对市场上的数字医疗健康产品进行监督检查,并对违反法规的行为进行执法。如果发现产品存在质量问题或者不符合法规要求,FDA会采取各种措施,如产品召回、罚款、刑事起诉等。

(4)数据保护:考虑到数字医疗健康产品涉及到大量的个人健康数据,FDA特别强调数据的安全和隐私保护。FDA要求所有的数字医疗健康产品必须符合HIPAA<sup>[10]</sup>(健康保险流通性和责任法案)的要求,保护用户的隐私信息。

(5)促进创新:FDA还设立了一些项目和机制,如数字医疗健康产品创新计划,旨在促进数字医疗健康产品的创新。通过这些项目和机制,FDA会提供技术支持、政策指导和快速审批等服务,帮助企业更好地研发和推广新的数字医疗健康产品<sup>[11]</sup>。

(6)患者参与:FDA高度重视患者的参与,认为患者是数字医疗健康产品的重要使用者,他们的反馈和建议对产品的改进和完善至关重要。因此,FDA设立了患者参与咨询委员会,鼓励患者参与到数字医疗健康产品的审批和监管中来。

总的来说,FDA通过制定政策和指南、产品审批、监督与执法、数据保护、促进创新和患者参与等多种方式,实现了对数字医疗健康产品的有效监管。在未来,随着数字医疗健康产品的不断发展和创新,FDA将会继续加强和改进其监管策略和措施,以保护公众健康和安全。

**6.2 欧盟医疗器械法规(MDR)的监管举措** MDR是欧盟针对医疗器械,包括数字医疗健康产品的一项重要法规<sup>[12]</sup>。自2021年5月26日起,MDR已全面实施。该法规对数字医疗健康产品的监管举措主要体现在以下几个方面。

(1)产品定义和分类:MDR对医疗器械进行了重新定义和分类,包括了更多的数字医疗健康产品。例如,提供健康信息或者用于诊断、预防、监控、治疗或者缓解疾病的软件,都被定义为医疗器械。

(2)严格的审批流程:MDR规定,所有的医疗器械在进入市场前,都必须经过严格的审批流程。这包括进行临床试验,评估产品的安全性和性能,编写技术文件,通过质量管理体系认证等。

(3)增强的追溯能力:MDR引入了医疗器械唯一设备识别(UDI)系统,要求所有的医疗器械都要有唯一的识别码。这将大大增强医疗器械的追溯能力,有助于及时发现和处理问题。

(4)更高的数据保护要求:MDR强调了对患者个人数据的保护。对于涉及到患者个人数据的数字医疗健康产品,不仅要进行严格的数据保护评估,还要符合欧盟的一般数据保护法规(GDPR)<sup>[13]</sup>。

(5)更严格的市场监管:MDR要求欧盟成员国必须对市场上的医疗器械进行定期的抽查和监督,确保产品的持续合规。此外,MDR还要求制造商必须建立和维护1个有效的问题和风险管理体系,以及进行持续的产品后市场监测。

(6)更强的患者权益保护:MDR对患者信息披露和教育提出了更高的要求,要求制造商提供更加详细和易于理解的用户手册,以及更多的教育和培训资源。

欧盟MDR对数字医疗健康产品的监管举措更加严格和全面,旨在确保这些产品的安全性和有效性,保护患者的权益,同时也鼓励医疗器械的创新和发展。

**6.3 NMPA的监管举措** NMPA是中华人民共和国负责药品和医疗器械监管的行政机构,对数字医疗健康产品的监管举措如下。

(1)定义和分类:NMPA已经明确将包括软件在内的数字医疗健康产品定义为医疗器械,并对其进行了具体分类。这为数字医疗健康产品的监管提供了明确的法规依据。

(2)注册审批:NMPA规定,数字医疗健康产品在进入市场前需要申请注册并通过审批。审批过程主要包括产品技术审查、临床效果评价以及质量管理体系审核等环节。

(3)临床试验管理:对于需要临床评价的数字医疗健康产品,NMPA制定了1套严格的临床试验管理制度,要求制造商进行符合规定的临床试验并提交真实、准确的试验数据。

(4)后市场监管:NMPA通过定期抽查、现场检查、上市后验证等方式,对在市场上销售的数字医疗健康产品进行后市场监管,以确保产品的持续合规性。

(5)数据安全和隐私保护:鉴于数字医疗健康产品涉及大量的个人健康数据,NMPA特别强调了数据安全和隐私保护的重要性<sup>[14]</sup>。要求所有的数字医疗健康产品厂商必须严格遵守相关数据保护法规,确保用户数据的安全。



(6)患者权益保护:NMPA 还要求数字医疗健康产品的生产企业,必须提供详尽易懂的产品使用说明,有助于患者正确使用产品并维护其合法权益。

(7)信息公开透明:NMPA 要求数字医疗健康产品的注册、审批、临床试验、不良反应报告等信息应公开透明,以便公众查询、监督。

总的来说,NMPA 通过上述举措对数字医疗健康产品进行全方位的监管,以确保产品的质量安全和保护消费者的合法权益。

## 7 元宇宙医学及数智医疗装备监管缺口与挑战

针对以“数据驱动智慧健康”为核心理念的数智医疗装备<sup>[15]</sup>,不是独立应用于医疗服务,而是与元宇宙医学服务平台协同提供医疗服务,因此监管的边界不清晰,面临的挑战包括伦理问题、准确性验证、隐私和数据保护等<sup>[16]</sup>。为了应对这些挑战,需要医学专家和科技专家深度合作,通过研究和临床试验确保应用的有效性,并确保患者信息安全。

**7.1 遵守数据保护和隐私法规** 首先,需要确保数智医疗装备在元宇宙医学服务平台提供采集、使用及转让患者数据的过程中遵循合法规范的流程<sup>[7]</sup>。这包括但不限于《互联网信息服务深度合成管理规定》等相关法律法规,以及对境内自然人数据处理活动的合规性要求<sup>[18]</sup>。

**7.2 建立和完善监管体系** 根据中国元宇宙产业的发展,监管体系建设已经逐渐完善,主要由国家发改委、中国工信部等政府部门监管,同时也有全国性行业协会如虚拟现实产业联盟等参与。因此,在构建元宇宙医学服务平台时,应与这些监管机构保持密切沟通,确保平台运营符合国家的监管要求。

**7.3 关注安全风险的法律规制** 依据元宇宙现阶段的发展特征,安全风险的规制思路应当遵循法律回应技术的一般立场,即以过程风险预防为核心。这意味着在设计和实施元宇宙医学服务平台时,需要考虑到可能存在的安全风险,并采取相应的预防措施。

**7.4 提前研究制定监管政策** 为了预防可能引起的系统风险,建议提前研究制定针对元宇宙的监管法律和规范。这包括关键数据管控方面的建议,如设立国家“数据银行”来优先收储个人生物特征、医疗健康数据等具有唯一性、不可再生性的数据。

**7.5 探索数字人的身份映射挑战** 在技术层面,实现数字人与现实世界身份的有效映射是构建元宇宙医学服务平台的 1 个重要方面<sup>[17]</sup>。这需要依据《互

联网信息服务管理办法》等相关规定,确保数字人的身份映射既安全又可靠。

综上所述,构建元宇宙医学服务平台的合规路径涉及多个方面,不仅限于数智医疗装备,还涉及医疗信息与电子病历系统、数字虚拟人等。通过以上措施,可以确保元宇宙医学服务平台在提供创新服务的同时,也符合监管要求,保障用户的安全和隐私。

## 8 跨界合作的监管复杂性

针对元宇宙医学“全面感知、可靠传输、智能处理”的模式,我们需要建立完善的监管体系,包括严格的设备和软件认证制度,网络安全三级等保、信息系统安全、数据治理等,因涉及不同的主管部门的管理边界,尤其在数据质量、算法质量等方面更缺乏相关的标准,面临的挑战更大,给跨界合作提供了巨大的空间<sup>[18]</sup>。我们需要建立完善的数据质量评价标准,公正和透明的算法审查机制,以应对这些监管挑战。同时,我们也需要加强用户教育和培训,提高用户的数据保护意识和技术使用能力,以保障元宇宙医学的健康发展。

数据隐私和安全,是元宇宙医学面临的最大的监管挑战。元宇宙医学的实现离不开大量的个人医疗数据,这些数据可能包括患者的病史、基因信息、生理参数等,对于疾病的预防、诊断和治疗都有着重要的意义。然而,这些数据也具有极高的敏感性,如果被不当使用,可能会对患者的隐私和权益造成伤害。因此,如何在保护个人隐私和数据安全的同时,充分利用这些数据,将是元宇宙医学发展的关键问题。但是,如果能应用元宇宙去中心化和数据共享,反而有利于保护患者隐私<sup>[19]</sup>。由于元宇宙医学的服务可能涉及到多个组织和地点,数据的传输和共享将变得更加频繁<sup>[20]</sup>。这为保护数据的完整性和机密性带来了新的挑战。我们需要在元宇宙的环境中建立有效的数据保护机制,如使用加密技术保护数据的传输,使用权限控制和审计机制防止未经授权的数据访问等。

服务质量和标准,是元宇宙医学面临的另 1 个重要监管挑战。由于元宇宙医学是 1 种新的服务模式,目前还缺乏完善的质量标准和监管机制。例如,如何评估元宇宙医学的服务效果?如何保证服务的连续性和稳定性?如何处理服务中的错误和事故?这些都是需要解决的问题。由于元宇宙医学可能涉及到虚拟现实、人工智能、机器学习等多种技术,如何制定和实施相应的技术标准,也是 1 个挑战。例



如,如何定义和评估 AI 的性能? 如何保证 AI 的公平性和道德性? 如何处理 AI 的错误和偏差? 这些都需要我们在监管中给予充分的考虑。

跨界协作和责任划分,是元宇宙医学面临的第 3 个监管挑战。由于元宇宙医学可能涉及到医疗、信息技术、数据分析等多个领域,这需要各个领域的监管机构进行有效的协作,以确保整个服务的安全和质量。然而,这种跨界协作可能会面临很多困难,例如,各个领域的监管标准和方法可能存在冲突,各个监管机构的权力和责任可能存在模糊,这都可能影响到监管的效果。2022 年 2 月 19 日,全球首个元宇宙医学协会暨联盟<sup>[21]</sup>的正式成立,将聚焦对跨界协作推动元宇宙医学的相关技术、应用、监管的研究与交流学习。

此外,随着元宇宙医学服务的复杂化和个性化,责任划分也成为 1 个重要的问题。例如,如果 1 个患者在元宇宙医学服务中受到伤害,应该由谁来负责? 是提供服务的医疗机构,还是开发技术的公司,亦或是管理数据的平台? 这需要我们在规定中明确划分责任,以保护患者的权益。

对于这些挑战,我们需要采取一系列的措施来应对。在数据隐私和安全方面,我们需要制定严格的数据保护规定,确保患者的数据只在必要的情况下被收集和使用,同时,我们也可应用这一平台的去中心化和数据共享去保护患者隐私。这就需要用最先进的技术来保护这些数据的安全。在服务质量和标准方面,我们需要建立完整的服务质量评估体系,以及相应的技术标准和规范,以保证元宇宙医学的服务质量。在跨界协作和责任划分方面,我们需要建立有效的协调机制,以解决各个领域间的冲突和矛盾,同时,我们也需要明确各个参与者的责任,以保护患者的权益。

## 9 新兴技术与监管发展趋势

随着科技的不断进步和社会的不断发展,数字医疗健康产品的监管环境也将发生深刻的变化。下面将从监管发展趋势和新兴技术的影响等方面对未来进行展望。

从监管发展趋势来看,随着数字医疗健康产品的日益普及和影响力的不断扩大,监管机构对其的关注度和监管力度也将进一步加大。未来的监管将更加严格、更加全面、更加精细。监管机构将从产品的研发、生产、销售、使用等全过程进行监管,对任何可能的风险和问题都将进行严格的审查和管理。同时,监管机构也将更加注重与企业的合作和沟

通,通过提供指导和支持,帮助企业更好地满足监管要求,确保产品的安全和有效。

新兴技术的发展将深刻影响数字医疗健康产品的监管。例如,人工智能(AI)技术可以大大提高监管效率和效果。通过 AI 技术,监管机构可以对大量的数据进行快速的分析和处理,对可能的风险和问题进行预测和预警。此外,区块链技术可以提供安全、透明、不可篡改的数据链,使得产品的追溯和监管变得更加方便和可靠。

大数据和云计算技术可以帮助监管机构更好地进行数据管理和分析,对市场动态和风险趋势进行更准确的把握<sup>[22]</sup>。虚拟现实和增强现实技术可以提供更好的培训和教育资源,帮助企业和医疗机构更好地理解并遵守监管要求。

但是,新兴技术的发展也带来了新的挑战。例如,AI 技术的使用可能引发数据隐私和伦理问题,区块链技术的使用可能引发数据安全和法律问题。因此,监管机构也需要不断更新和改进监管方法和手段,以适应新技术的发展。

最后,面对未来的挑战和机遇,数智医疗装备企业需要积极应对和准备。企业需要进一步加强自身的法规研究和合规管理能力,以应对更严格的监管环境。企业需要积极探索和利用新兴技术,以提高自身的竞争力和适应性。同时,企业也需要关注新兴技术可能带来的风险,提前进行风险预防和管理。此外,企业还需要加强与监管机构的沟通和合作,以便更好地理解 and 满足监管要求。

总之,未来的数智医疗装备的监管将更加严格和精细,新兴技术将深刻影响监管的方法和手段。在这个过程中,企业需要积极应对和准备,以应对挑战,抓住机遇,实现自身的长期稳健发展。

## 10 企业面对未来监管挑战的策略建议

在面对越来越严格的数字医疗健康产品监管环境时,企业必须制定并实施明确的策略,建立符合法规要求的业务流程。为了应对这一挑战,企业需要在产品研发、临床试验、注册审批、生产质量管理、后市场监管、数据保护和患者权益保护等环节进行深入的工作。以下内容将详细阐述这些环节的应对策略。

在产品研发阶段,企业必须充分理解并遵守相关的法律法规要求。包括 NMPA 对数字医疗健康产品的定义和分类,以及对产品设计提出的技术要求等。企业应设立专门的法规研究团队,定期关注最新的法规动态,并及时调整产品设计和研发计划。

同时,企业还应与监管机构建立良好的沟通机制,对于不明确或有争议的问题,主动进行咨询和解释。

在临床试验阶段,企业需要根据法规要求制定严格的临床试验方案,并选择合适的临床试验机构,对试验质量进行严格控制,以确保试验数据的真实性和有效性。企业应将临床试验视为产品研发的重要环节,而非仅仅是注册审批的必要步骤。通过临床试验,企业可以获取大量关于产品性能和安全性数据,这对于产品的改进和优化具有极高的价值。

在注册审批阶段,企业需要准备完善的注册资料,包括产品技术文件、临床试验报告、质量管理体系认证等。企业应设立专门的注册团队,负责注册资料的准备和提交,以及与监管机构的沟通和协调。在此过程中,企业需要全面了解注册审批流程,预估可能的风险和问题,并提前制定应对策略。

在生产质量管理阶段,企业需要建立并实行严格的质量管理体系。包括对生产设备和环境的管理、对生产过程的控制、对产品的检验和出厂审查等。企业应有稳定的生产团队,定期进行质量管理培训,并定期对生产过程进行内部审计和改进。

在后市场监管阶段,企业需要建立有效的产品追溯机制,对市场销售的产品进行定期抽查和评价,对患者反馈的问题进行及时处理。企业应设立专门的后市场监管团队,负责产品的监测和分析,以及问题的解决和改进。

在临床应用环节,企业需要严格遵循法规要求,确保产品的正确使用和有效应用。首先,企业需要提供详细的使用指南和操作培训,帮助医疗机构和医生掌握产品的使用方法,确保产品在临床中的正确使用。企业应设立专门的培训团队,负责培训材料的制作和培训活动的组织。其次,企业需要与医疗机构建立良好的合作关系,共同探索和优化产品的临床应用流程。企业应设立专门的医疗事务团队,负责与医疗机构的沟通和协调。再次,企业需要持续关注产品在临床中的使用效果,及时收集使用反馈,对产品进行持续的改进和优化。企业应设立专门的产品改进团队,负责产品的追踪和改进。此外,企业还需要注意产品在临床中可能出现的不良事件,对任何可能的安全风险进行严格的监控和管理。企业应设立专门的风险管理团队,负责不良事件的收集、分析和处理。总的来说,临床应用环节是产品从研发到市场的最后一环,也是最关键的一环。企业需要在这环节做好产品的使用培训、临床合作、产品改进和风险管理等工作,确保产品在

临床中的安全使用和有效应用。

在数据保护环节,企业需要根据数据保护法规,建立严格的数据保护政策和措施<sup>[23]</sup>,对患者的个人健康数据进行保护。企业需要设立专门的数据保护团队,负责数据的收集、存储、使用和删除等环节,防止数据的泄露和滥用。

在患者权益保护环节,企业需要提供详细且易懂的产品使用说明,提供充足的教育和培训资源,解答患者的疑问和担忧。企业需要建立健全的患者投诉和权益保护机制,对患者的反馈和投诉进行及时的响应和处理。在产品的推广和销售中,企业必须遵守公平竞争和诚实信用的原则,绝对不能进行虚假宣传或误导消费者。

在所有这些环节中,企业都需要有严格的内部监控和审计机制,以确保业务流程的合规性。企业需要定期进行内部审计,检查各个环节的合规性和有效性,对发现的问题进行及时的整改。此外,企业还需要建立有效的风险管理机制,以预测和预防可能的合规风险。同时,企业也需要建立良好的企业文化和价值观,强调诚实守信、以患者为中心的原则。企业的所有员工都应具有强烈的合规意识,把合规作为企业运营的基础和前提。企业的高级管理人员更应以身作则,树立良好的合规榜样。

总体而言,应对监管挑战,建立合规的业务流程,需要企业有明确的策略,有完善的流程,有专门的团队,有严格的监控,也需要有良好的企业文化。这是 1 个系统工程,需要企业的全体员工共同努力,持续改进。只有这样,企业才能在严格的监管环境中稳健发展,赢得患者的信任和社会的尊重。

在数字医疗健康产品的监管环境日益严格的当下,企业的合规经营不仅是满足监管要求的必要条件,更是获得市场竞争优势、赢得患者信任和社会尊重的关键。因此,企业应充分认识到合规经营的重要性,将合规经营理念融入企业文化中,将合规要求融入企业的各个业务环节中,从而实现企业的长期稳健发展。

综上,元宇宙医学的发展为我们带来了许多新的机遇,但同时也带来了许多监管挑战。我们需要积极应对这些挑战,以实现元宇宙医学的健康和可持续发展。

**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** 张宇鸣:论文撰写;张培茗:论文修改;赵阳光:论文修改;程云章:论文选题、修改。

## 参考文献

- [1] 白春学. 元宇宙医学之我见 [J]. 中国医药导刊, 2023, 25 (1): 1–6.
- [2] 周翼, 黄振驹, 伍禧雯, 等. 元宇宙在临床医学教育领域的应用[J]. 中国数字医学, 2023, 18(4): 43–47.
- [3] 孙梦婷, 杨达伟, 谢林杉, 等. 元宇宙医学在慢性疾病健康管理中应用的研究进展 [J]. 复旦学报 (医学版), 2023, 50 (2): 292–295.
- [4] 崔爽. 医疗装备领域迎来首个国家层面产业发展规划[N]. 科技日报, 2021–12–29(1).
- [5] 国家药品监督管理局审器中心. 医疗器械软件注册审查指导原则 (2022 年修订版)[EB/OL]. (2022–03–09)[2024–02–26]. <https://www.cmde.org.cn/fflg/zdyz/zdyzwbk/20220309091706965.html>.
- [6] 新华社. 智能医疗装备助力, “十四五” 智慧医疗发展有哪些着力点?[EB/OL]. (2021–12–28)[2024–02–26]. [https://www.gov.cn/zhengce/2021–12/28/content\\_5665025.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2021–12/28/content_5665025.htm).
- [7] 季媛媛. 万物智能互联时代: 元宇宙在医疗场景中应如何落地?[EB/OL]. (2022–06–19)[2024–02–26]. <https://www.21jingji.com/article/20220619/herald/41906271d8042f186498a99a701f9597.html>.
- [8] 张旭浪. 个人数据跨境流动的国际法规制研究[D]. 南昌: 江西财经大学, 2023.
- [9] U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Devices and Radiological Health, et al. Clinical decision support software guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff [EB/OL]. (2022–09–28)[2024–02–26]. <https://www.fda.gov/media/109618/download>.
- [10] ANNAS G J. HIPAA regulations-a new era of medical-record privacy?[J]. N Engl J Med, 2003, 348(15): 1486–1490.
- [11] 马艳彬, 白旭东, 金丹, 等. 美国 FDA 数字健康产品监管研究与启示[J]. 中国医学装备, 2022, 19(9): 181–188.
- [12] VOKINGER K N, GASSER U. Regulating AI in medicine in the United States and Europe [J]. Nat Mach Intell, 2021, 3 (9): 738–739.
- [13] MARELLI L, TESTA G. Scrutinizing the EU general data protection regulation [J]. Science, 2018, 360 (6388): 496–498.
- [14] 鞠鑫. 医疗健康服务手机软件安全建设的探索与实践[J]. 中国卫生信息管理杂志, 2019, 16(6): 703–707.
- [15] ALBAKHIT S, ALKHATIB A A, ALBUSTANJI R N, et al. A survey of IoT healthcare applications [C]//2023 International Conference on Information Technology (ICIT). Amman, Jordan. IEEE, 2023: 79–82.
- [16] 林昀肖. 生成式 AI 赋能医疗数智化应用“AI+医疗”服务模式还面临哪些挑战?[EB/OL]. (2024–01–24)[2024–02–26]. <https://m.21jingji.com/article/20240122/herald/ffd1931dca4df56d8fe2122e7d5e57cc.html>.
- [17] 马长山. 数字公民的身份确认及权利保障 [J]. 法学研究, 2023, 45(4): 21–39.
- [18] 王志勇, 吴骋, 王立鹏, 等. 医疗大数据背景下的数据治理与质量监管[J]. 中国数字医学, 2021, 16(4): 92–96.
- [19] LETAFATI M, OTOUM S. Digital healthcare in the metaverse: insights into privacy and security [EB/OL]. [2024–02–26]. <http://arxiv.org/abs/2308.04438>.
- [20] 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.
- [21] 郭潇雅. 揭开“元宇宙医学”面纱[J]. 中国医院院长, 2022, 18(6): 25–27.
- [22] BAUGUESS S W. The role of big data, machine learning, and AI in assessing risks: a regulatory perspective [EB/OL]. (2017–09–21)[2024–02–26]. <https://www.sec.gov/news/speech/bauguess-big-data-ai>.
- [23] 郭蕊. 综合监管背景下构建医疗服务信息披露的制度框架和政策建议[J]. 中国行政管理, 2020, (5): 133–139.

## 引用本文

张宇鸣, 张培茗, 赵阳光, 等. 元宇宙医学数智医疗装备的监管政策研究[J]. 元宇宙医学, 2024, 1(1): 35–42.

ZHANG Y M, ZHANG P M, ZHAO Y G, et al. Regulatory policies research on digital intelligence medical equipment in metaverse in medicine[J]. Metaverse Med, 2024, 1(1): 35–42.



DOI:10.61189/059703zeipzv

· 综 述 ·

# 医学数字人 GPT 的研究现状及展望

韦 球<sup>1</sup>, 蒋维芃<sup>2</sup>, 杨超勉<sup>1</sup>, 白春学<sup>2\*</sup>

1. 南宁市第一人民医院呼吸与危重症医学科, 南宁 530022

2. 复旦大学附属中山医院呼吸与危重症医学科, 上海 200032



**[摘要]** 当前,医学数字人 GPT 的研究主要集中于其在医疗健康领域中的应用。这种技术能够通过自动解读医疗影像和电子病历,帮助医生更快更准确地做出诊断,提高诊断精度和效率。同时,它还可以提供个性化的健康教育和患者关怀,从而改善患者的体验,并提高患者的满意度和依从性。此外,GPT 能够自动化处理大量的文本数据,显著降低医疗人员的工作量,降低医疗成本。其预诊断和健康管理功能也有助于预防和早期发现疾病,减少后期治疗的成本。在科研方面,GPT 可以识别医疗数据中的异常现象,帮助科研人员发现新的治疗方法或疾病预测模型。它还能根据已有的医学知识自动生成新的假说和实验方案,为科研人员提供实用的建议。此外,GPT 还可以通过推理和逻辑思维,帮助解决医学难题,促进科研的进展。展望未来,医学数字人 GPT 有着广阔的发展前景。随着技术的不断进步和医疗需求的日益增长,GPT 在医疗健康领域的应用将更加广泛和深入。它不仅可以提高医疗服务的质量和效率,还可以推动医学科研的创新和发展。同时,随着人们对隐私和数据安全的关注度不断提高,如何确保敏感医疗数据的安全存储和处理,避免数据泄露的风险,维护患者隐私和数据合规性,也将是医学数字人 GPT 未来发展的重要考虑因素。

**[关键词]** 医学数字人;GPT;自然语言处理;医疗;保健

**[中图分类号]** R-1/TP399 **[文献标志码]** A

## Current status and prospects of digital human GPT in medicine

WEI Qiu<sup>1</sup>, JIANG Weipeng<sup>2</sup>, YANG Chaomian<sup>1</sup>, BAI Chunxue<sup>2\*</sup>

1. Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, The First People's Hospital of Nanning, Nanning 530022, Guangxi, China

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

**[Abstract]** Research on digital human GPT in medicine mainly focuses on its applications in healthcare. This technology can help doctors make diagnoses faster and more accurately by automatically interpreting medical images and electronic medical records, thereby improving diagnostic accuracy and efficiency. At the same time, it can provide personalized health education and patient care, which can improve the patient experience and increase patient satisfaction and compliance. In addition, GPT can automate the processing of large amounts of textual data, significantly reducing the workload of medical staff and reducing medical costs. Its prediagnosis and health management functions can also help detect and prevent diseases early, reducing the cost of later treatment. When applied in scientific research, GPT can identify anomalies in medical data and help researchers discover new treatments or disease prediction models. It can also automatically generate new hypotheses and protocols based on existing medical knowledge, providing practical recommendations for researchers. In addition, GPT can help solve medical problems and promote the progress of scientific research through reasoning and logical thinking. Looking forward to the future, digital human GPT in medicine has broad development prospects. With the continuous advancement of technology and the increasing demand for medical care, the application of GPT in the medical and health fields will be deeper and more extensive. It can not only improve the quality and efficiency of medical services but also promote innovation in and the development of medical research. At the same time, with the increasing demand for

**[收稿日期]** 2024-02-28

**[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), 南宁市公立医院高质量发展项目 (南宁市呼吸系统疾病防治体系建设项目)。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), High-quality Development Projects of Public Hospitals in Nanning (Construction of Respiratory Disease Prevention and Control in Nanning) .

**[作者简介]** 韦 球, 博士, 副主任医师. E-mail: weiqiu2017@163.com

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

privacy and data security, we must understand how we can ensure the safe storage and processing of sensitive medical data, avoid the risk of data leakage, and maintain patient privacy and data compliance to ensure the future development of digital human GPT in medicine.

[Key Words] digital human in medicine; GPT; natural language processing; medical; healthcare

随着科技的不断发展,生成式人工智能技术如 GPT 在医疗领域的应用逐渐受到关注。GPT 是一种基于大规模文本数据进行训练的生成式人工智能技术,具有生成逻辑性和连贯性文本的能力。在医学领域,GPT 被应用于处理和分析大量的医疗文本数据,如病历、科研论文和临床试验报告等。通过对这些数据的深度学习和理解,医学数字人 GPT 能够模拟医生的专业知识和经验,提供医学建议、辅助诊断和治疗方案等。医学数字人 GPT 的研发和应用为医学研究、诊断和治疗带来了革命性的变革。它不仅可以提高医生的诊疗效率和准确性,还可以为患者提供更个性化、精准的医疗服务。同时,医学数字人 GPT 也在医学教育、药物研发和健康管理等领域展现出广阔的应用前景。然而,医学数字人 GPT 的研发和应用仍面临一些挑战和问题,如数据的质量和可用性、隐私保护和伦理问题等。为了解决这些问题,需要我們不断探索新的技术和方法,推动医学数字人 GPT 技术的安全、可靠和广泛应用。

## 1 医学数字人 GPT 研究现状

目前,医学数字人 GPT 的研究正处于蓬勃发展的阶段。随着人工智能技术的不断进步,GPT 在医学领域的应用已经受到广泛关注,并取得了一系列重要成果。一些前沿的研究机构已经成功构建了基于 GPT 的医学数字人模型。这些模型通过对海量的医学文献、临床数据和医学知识进行深度学习和训练,展现了在疾病诊断、治疗方案推荐、药物研发等方面的强大能力。它们能够模拟医生的专业知识和经验,提供准确的医学建议,辅助医生进行临床决策,从而提高诊疗效率和准确性。此外,医学数字人 GPT 在医学教育、健康管理和医学研究等领域也展现出了广阔的应用前景。它们可以作为智能教学助手,为医学实习生和规培生提供实践操作的机会,帮助他们更好地理解 and 掌握医学知识。同时,医学数字人 GPT 还可以根据用户的基因、生理和病理指标等信息,为用户提供个性化的健康建议和预防措施,帮助人们更好地管理自己的健康。然而,医学数字人 GPT 的研究仍面临一些挑战和问题。

1.1 国际医学数字人 GPT 研究现状 随着人工智能技术的不断进步和全球范围内对医疗健康领域的持续关注,GPT 在医学领域的应用逐渐受到国际社会的广泛认可,并取得了一系列重要成果。在国际上,许多知名的医疗机构、研究团队和高校都积极投入到医学数字人 GPT 的研究中<sup>[1-3]</sup>。他们应用大规模医学文本数据、临床数据和医学知识库进行模型训练和优化,致力于构建适应不同语境和医学需求的 GPT 模型。这些模型在疾病诊断、治疗方案推荐、药物研发等方面展现出了强大的能力,为医生提供了准确的辅助决策支持,提高了诊疗效率和准确性<sup>[4-6]</sup>。此外,国际合作与交流也在推动医学数字人 GPT 的研究进程。各国的研究机构通过共享数据、合作研究和经验交流等方式,共同探索 GPT 在医学领域的应用潜力和创新方向。这种跨国合作不仅促进了技术的快速发展,还为解决全球性的医疗健康问题提供了更多可能性。目前,国际社会需要加强合作与协调,共同制定相关标准和规范,推动医学数字人 GPT 的安全、可靠和广泛应用。

1.2 中国医学数字人 GPT 研究现状 随着人工智能技术的不断发展和中国医疗健康需求的增加,医学数字人 GPT 在国内的应用和研究逐渐受到关注。国内已经有一些医疗机构、高校和企业开始投入到医学数字人 GPT 的研究中。他们应用深度学习、自然语言处理(natural language processing, NLP)等技术,构建基于 GPT 的医学数字人模型,通过对海量的医学文献、临床数据和医学知识进行学习和训练,提高模型在医学领域的准确性和应用效果<sup>[7-8]</sup>。在医学领域,GPT 被应用于处理和分析大量的医疗文本数据,包括病历、科研论文等。通过对这些数据的深度学习和理解,医学数字人 GPT 能够模拟医生的专业知识和经验,提供医学建议、辅助诊断和治疗方案等,从而提高医生的诊疗效率和准确性,为患者提供更个性化、精准的医疗服务。此外,国内的研究机构还积极探索医学数字人 GPT 在医学教育、健康管理和医学研究等领域的应用。例如,应用 GPT 构建智能教学系统,为医学学生提供实践操作的机会和个性化的学习体验,用于教学查房;应用 GPT 分析用户的基因、生理和病理生理指标等信息,为其提供个性化的健康建议和预防措施<sup>[9-10]</sup>。

## 2 医学数字人 GPT 应用场景

**2.1 赋能教育与培训** 医学数字人与 GPT 的结合,将极大提升教育与培训的质量和效率,让学习更加个性化、高效。这不仅是技术的进步,更是医学教育的 1 次重要革新<sup>[10-11]</sup>。在教育领域,GPT 还可以作为医学生的学习助手,为他们互动式解答问题、模拟考试场景等。在智能辅助诊断与治疗方面,医学数字人 GPT 能够通过学习和理解大量的病例数据和诊治经验,协助医生更精确地诊断和制定更有效的治疗方案。GPT 可以根据患者的症状描述、检查结果和其他相关信息,为医生提供初步的诊断意见和辅助决策支持。这有助于提高医生的诊断准确率和治疗效果,从而更好地满足患者的需求。

**2.2 辅助医学研究** 通过深度学习和 NLP 技术,GPT 能够迅速分析大量的医学文献和临床数据,为医学研究人员提供准确、全面的信息支持。在医学研究中,数据分析和文献综述是非常重要的环节<sup>[12-13]</sup>。然而,由于医学文献数量庞大、内容复杂,研究人员往往需要花费大量时间和精力进行筛选和整理。而医学数字人 GPT 则能够通过 NLP 技术,自动识别和提取文献中的关键信息,帮助研究人员快速了解研究领域的前沿动态和最新进展。此外,医学数字人 GPT 还可以辅助医学研究人员进行实验设计和分析数据。通过深度学习,GPT 能够预测实验结果和趋势,为研究人员提供有价值的参考意见。同时,GPT 还能够对实验数据进行自动化处理和分析,提高数据处理的准确性和效率<sup>[14-15]</sup>。

**2.3 辅助病情分析与预诊断** 在初级医疗环节,基于 GPT 的模型可以分析病人的症状描述,并给出可能的诊断,以辅助医生进行更准确的判断。这对于在疫情等特殊情况下进行远程医疗服务,或者在医疗资源紧张的地区提供医疗服务,具有重要的价值。

如我们研究的 PNapp 5A 和 OSapp 5A(获得中国医学装备协会第九届临床创新与发明大赛重庆赛区二等奖),这种程序结合了深度学习和 NLP 技术,能够理解并解析复杂的医学文本和数据。在病情分析方面,医学数字人 GPT 可以迅速处理患者的病历、症状描述和检查结果等大量信息。通过深度分析这些数据,GPT 能够提取出关键特征,帮助医生更准确地判断患者的病情。此外,GPT 还能根据已有的医学知识和经验,为医生提供最佳的诊断思路 and 方向,从而辅助医生做出更明智的决策。在预诊断方面,医学数字人 GPT 可以基于患者的初步症

状描述或检查结果,结合医学知识库中的大量数据,给出可能的疾病类型和风险程度<sup>[16-18]</sup>。这种预诊断的能力在疫情等特殊情况下尤为重要,如 nCapp 5A 可以帮助医生快速筛选出高风险患者,优先安排检查和治疗。同时,GPT 还可以根据患者的病情发展趋势,预测可能的并发症和恶化风险,从而提醒医生采取更积极的治疗措施。

**2.4 辅助医学影像诊断** 医学数字人 GPT 在医学影像诊断方面也展现出了应用潜力。由于其结合了深度学习和医学影像处理的能力,使得机器能够辅助医生进行更快速、更准确的影像诊断。通过训练和优化,医学数字人 GPT 能够识别和分析医学影像中的关键特征,如病变位置、形态、大小等,从而帮助医生判断疾病的类型和严重程度<sup>[16,19]</sup>。例如,我们研发的 BAIMGPT 即可赋能诊断肺结节中的早期肺癌。此外,GPT 还能根据已有的医学知识和经验,为医生提供可能的诊断思路 and 方向,进一步辅助医生做出准确的诊断决策。在实际应用中,医学数字人 GPT 可以处理各种类型的医学影像,如 X 光片、CT 扫描、MRI 等。通过自动化处理和分析这些影像数据,GPT 能够减轻医生的工作负担,提高工作效率,同时减少人为因素导致的误诊和漏诊。

**2.5 赋能远程医疗服务** 医学数字人 GPT 可为远程医疗服务赋能。借助这种先进的 NLP 技术,不仅能够实现医生和患者之间的实时交流,还能提供更为精准、高效的医疗服务。首先,医学数字人 GPT 能够模拟医生的专业知识和经验,对患者进行初步的问诊和咨询。患者可以通过文字、语音或视频与数字人 GPT 交互,描述自己的症状和病情,GPT 则能够分析这些信息,给出可能的诊断和建议。其次,医学数字人 GPT 可以辅助医生进行远程诊断和治疗方案的制定<sup>[20]</sup>。医生可以通过 GPT 获取患者的相关病历资料、检查结果和医学影像等信息,进行全面的分析和评估。GPT 还能根据医生的指示和要求,生成个性化的治疗方案和注意事项,为患者提供针对性的远程医疗服务<sup>[9,21]</sup>。此外,医学数字人 GPT 还能用于远程医疗教育和科普宣传。GPT 可以生成易于理解和接受的医学知识和健康建议,帮助患者和公众提高健康意识和自我管理能力。简言之,医学数字人 GPT 可极大地扩展医疗资源的覆盖范围,提高医疗服务的可及性和质量,有望为更多人带来更好的医疗体验和健康保障。

**2.6 辅助诊断与决策支持** 医学数字人 GPT 可以结合深度学习和 NLP 的能力,使得机器能够理解并解析复杂的医学文本和数据,从而为医生提供精准



的诊断和决策支持<sup>[4,7]</sup>。在辅助诊断方面,医学数字人 GPT 可以迅速处理患者的病历、症状描述、检查结果等大量信息,并通过深度分析这些数据,提取出关键特征,帮助医生更准确地判断患者的病情。此外,GPT 还能根据已有的医学知识和经验,为医生提供可能的诊断思路 and 方向,从而辅助医生做出更明智的诊断决策。在决策支持方面,医学数字人 GPT 可以基于患者的病情和诊断结果,结合医学知识库中的大量数据,为医生提供个性化的治疗方案和注意事项。这种决策支持的能力可以帮助医生避免遗漏重要信息或考虑不周的情况,从而提高治疗的效果和安全性。医学数字人 GPT 在辅助诊断与决策支持方面的应用,将极大地提高医疗服务的效率和准确性,为患者带来更好的就医体验。然而,需要注意的是,GPT 的辅助作用并不能完全替代医生的专业判断和经验,医生仍然需要对诊断结果进行综合分析和确认,以确保最终决策的准确性和可靠性。

**2.7 辅助医疗健康管理工作** 医学数字人 GPT 在辅助医疗健康管理工作方面具有重要作用。(1)个性化健康计划。基于患者的健康数据、生活习惯和目标,医学数字人 GPT 能够为患者制定个性化的健康管理计划,包括饮食建议、运动处方、生活习惯调整等,帮助患者改善健康状况,降低患病风险<sup>[22-23]</sup>。(2)健康监测与预警。GPT 可以持续监测患者的健康状况,并根据数据分析结果,及时发现潜在的健康问题。当检测到异常情况时,GPT 能够向患者发出预警信息,提醒患者及时就医或调整健康管理方式<sup>[24-25]</sup>。(3)健康教育。GPT 能够根据患者的需求和兴趣,提供个性化的健康教育内容。帮助患者更好地理解健康知识,提高健康意识,更好地进行自我管理。(4)持续沟通与支持。GPT 可以作为患者的健康伴侣,全时空提供健康咨询和支持。这种持续的沟通和支持有助于增强患者的健康管理信心和能力。

**2.8 辅助电子健康记录(EHR)的解读与生成** 医学数字人 GPT 在辅助 EHR 的解读与生成方面发挥着重要作用。(1)自动化解读:医学数字人 GPT 能够自动解读和分析 EHR 中大量数据,包括健康记录和病史、诊断结果、用药记录等。GPT 能够提取出关键信息,帮助医生更快速地理解患者的病情和治疗过程。(2)结构化生成:GPT 可以根据医生的需求和指示,自动生成结构化的 EHR。其中包括患者的症状、体征和检查结果等信息,方便医生进行查阅和共享。这种结构化的生成方式可以提高 EHR 的一

致性和可读性<sup>[9]</sup>。(3)智能提醒与辅助:在记录过程中,GPT 还能根据已有的医学知识和经验,为医生提供智能提醒和辅助。例如,当医生输入某个症状时,GPT 可以自动显示与该症状相关的疾病、检查项目或治疗建议,帮助医生更全面地考虑和记录患者的病情<sup>[26]</sup>。(4)数据整合与可视化:GPT 还能将 EHR 与其他医疗信息系统进行整合,实现数据的共享和交换。同时,GPT 还可以将复杂的数据以可视化的方式呈现出来,如生成图表、报告等,帮助医生更直观地了解患者的病情和治疗效果<sup>[19]</sup>。医学数字人 GPT 在辅助 EHR 的解读与生成方面的应用,将极大地提高医疗服务的效率和准确性,同时,GPT 的自动化和智能化功能也可以减轻医生的工作负担,提升医疗服务的整体质量。

**2.9 赋能患者关怀和健康教育** 医学数字人 GPT 还能够为患者提供更加个性化、高效和便捷的医疗服务。首先,在患者关怀方面,医学数字人 GPT 可以通过 NLP 技术,与患者进行实时交流,了解患者的需求和病情。GPT 能够根据患者的情绪状态和病情变化,提供及时的关怀和支持,帮助患者缓解焦虑和恐惧情绪,增强治疗信心<sup>[27-28]</sup>。其次,在健康教育方面,医学数字人 GPT 可以根据患者的病情和治疗方案,生成个性化的健康教育材料,包括疾病知识、治疗方案、药物使用说明、饮食和运动建议等,帮助患者更好地理解和管理自己的病情。GPT 还可以根据患者的反馈和需求,不断调整和优化健康教育内容,确保其针对性和有效性。此外,医学数字人 GPT 还可以通过智能语音技术,为视力障碍或阅读困难的患者提供语音健康教育服务<sup>[27]</sup>。这种服务方式可以打破传统文字材料的限制,让患者更加方便地获取健康知识。这种创新的医疗服务模式,有望为更多患者带来更好的医疗体验和健康保障。同时,GPT 的应用也有助于推动医疗行业的数字化转型和智能化升级。

**2.10 辅助跨语言医学交流与翻译** 医学数字人 GPT 在辅助跨语言医学交流与翻译方面展现出强大的潜力<sup>[9-10]</sup>,包括(1)实时翻译:医学数字人 GPT 能够实时将医学术语、病历记录、研究报告等内容从 1 种语言翻译成其他语言。这种即时翻译的能力极大地促进了不同语言背景的医生、研究人员和患者之间的交流。(2)术语准确性:GPT 经过大量医学文献和术语的训练,能够确保在翻译过程中使用准确、专业的医学术语。这对于保持医学信息的准确性和一致性至关重要。(3)文化敏感性:医学数字人 GPT 还具备一定程度的文化敏感性,能够在翻译时

考虑到不同文化背景下的表达方式和理解习惯,利于确保跨语言医学交流的文化恰当性。(4)多模态交流:除了文本翻译外,医学数字人 GPT 还可以辅助图像、视频等多媒体内容的跨语言解读,利于医学知识、手术演示等内容的传播更加直观和高效。(5)教育与研究:GPT 的跨语言翻译功能也极大地促进了医学教育和研究的国际化。医生和研究人员可以更容易地获取和分享全球范围内的医学知识和最新研究成果,这对于推动全球医学领域的合作与进步具有重要意义。

**2.11 辅助医学研究与文献分析** 医学数字人 GPT 在辅助医学研究与文献分析方面拥有巨大的应用潜力。(1)文献筛选与整理:研究人员常常需要花费大量时间进行文献的筛选和整理。GPT 可以帮助研究人员快速筛选出与研究主题相关的文献,并按照研究目的进行分类整理,从而提高文献检索和阅读的效率。(2)内容提炼与总结:医学文献往往篇幅冗长、专业术语众多,不利于非专业领域的研究人员的理解。GPT 可以对文献进行深度分析,提炼出关键信息并进行总结,帮助研究人员更快地掌握文献的核心内容和研究成果。(3)辅助实验设计:GPT 可以根据已有文献和研究目标,为研究人员提供实验设计的思路和建议,从而辅助他们制定出更加科学合理的实验方案。(4)数据分析与挖掘:通过对医学文献和实验数据进行深度挖掘和分析,GPT 可以帮助研究人员发现隐藏在数据中的关联和规律,从而推动医学研究的新发现和新突破。(5)写作与发表辅助:GPT 可以帮助研究人员在写作过程中进行语法检查、句式优化等工作,提高论文的质量和可读性。此外,GPT 还可以为研究人员提供投稿建议和策略,辅助他们更好地将研究成果发表在国际一流的学术期刊上。

### 3 医学数字人 GPT 的限制及原因

**3.1 数据偏差和局限性** 医学数字人 GPT 在数据偏差和局限性方面可能存在一些问题<sup>[1-2, 5]</sup>。(1)训练数据的不完整性:GPT 的训练数据主要来源于已有的医学文献和病例报告等,数据可能存在不完整的情况。例如,某些罕见疾病或新兴疾病的案例可能较少,导致 GPT 在这方面的知识储备有限。(2)数据质量和标注问题:医学数据的质量和标注准确性对 GPT 的性能至关重要。如果训练数据中存在错误、冗余或不一致的标注,GPT 可能会学习到错误的信息,从而影响其判断的准确性。(3)文化和地域差异:医学实践和文化背景密切相关,不同地域和文

化的医学数据可能存在差异。GPT 在训练过程中可能主要基于某一特定文化或地域的数据,导致其与其他文化或地域的应用中存在一定的局限性。(4)技术更新和医学进展:医学领域的知识和技术不断更新,新的研究成果和治疗方法不断涌现。GPT 的训练数据可能无法及时涵盖最新的医学进展,导致其在这方面的信息滞后。(5)隐私和伦理问题:医学数据涉及患者隐私和伦理问题,因此在收集和使用过程中需要严格遵守相关法律法规和伦理规范。这可能导致可用于训练 GPT 的医学数据受到限制,进而影响其性能和应用范围。

**3.2 缺乏临床实践经验** 医学数字人 GPT 缺乏临床实践经验的原因主要有以下几方面<sup>[2-4, 5-8]</sup>。(1)数据来源限制:GPT 主要基于大量的文本数据进行训练,虽然包含了丰富的医学知识和信息,但是往往缺乏真实的临床实践数据。临床实践经验的获取需要直接参与患者的诊疗过程,观察疾病的发展变化,以及了解患者的反馈和治疗效果,这是单纯的文本数据无法提供的。(2)模型本质:GPT 作为一种语言模型,其核心能力在于理解和生成自然语言文本。虽然它可以通过学习医学文献和病例报告等间接获取一定的医学知识,但这些知识往往停留在理论层面,缺乏实际的临床应用和实践验证。(3)技术挑战:将 GPT 应用于临床实践需要解决一系列技术挑战,如数据的准确性和完整性、模型的可靠性和稳定性,以及与现有医疗系统的集成等。这些技术问题的解决需要时间和持续的研究投入。(4)伦理和法规限制:医学领域涉及患者的生命安全和隐私保护等敏感问题,因此 AI 技术在医学领域的应用需要严格遵守相关的伦理和法规要求。这在一定程度上限制了 GPT 等 AI 技术在临床实践中的应用范围和自主性。

**3.3 隐私和安全问题** 医学数字人 GPT 在隐私和安全方面存在的问题<sup>[29-31]</sup>主要包括,(1)数据泄露风险:GPT 的训练需要大量的数据,这些数据往往包含用户的用户信息和敏感信息。如果这些数据在收集、存储和处理过程中没有得到充分的保护,就可能发生数据泄露事件,导致用户的隐私被侵犯。(2)模型漏洞:GPT 作为一种复杂的机器学习模型,可能存在一些未知的漏洞和缺陷。这些漏洞和缺陷可能被恶意攻击者应用,通过输入特定的数据来窃取用户的隐私信息或破坏系统的正常运行。(3)不当使用:医学数字人 GPT 的使用者如果没有经过充分的培训和指导,可能会在使用过程中违反隐私保护原则,例如将患者的隐私信息泄露给无关人员或用



于非法目的。(4)法律和监管缺失:目前,对于医学数字人 GPT 等人工智能技术在隐私和安全方面的监管和法律规范还相对滞后。这可能导致一些不法分子利用法律漏洞进行隐私侵犯和非法活动。

**3.4 无法替代自然人医生的判断和情感支持** 医学数字人 GPT 虽然在医学领域具有广泛的应用潜力,但仍无法完全替代自然人医生的判断和情感支持,主要原因如下<sup>[2-3]</sup>:(1)缺乏临床实践经验。医学数字人 GPT 主要基于大量的医学文献和数据进行训练,但缺乏真实的临床实践经验。自然人医生通过长期的临床实践积累了丰富的经验,能够更准确地判断病情和制定治疗方案。(2)情感支持的缺失。医学不仅仅是科学和技术,还涉及到患者的情感和心理需求。自然人医生能够与患者建立信任和共情,提供情感支持和安慰,这是医学数字人 GPT 无法替代的。(3)伦理和法规限制。医学领域涉及患者的生命安全和隐私保护等敏感问题。虽然医学数字人 GPT 可以处理和分析医学数据,但在涉及伦理决策和法规遵守方面,仍需要自然人医生的参与和判断。(4)技术局限性。尽管 GPT 等人工智能技术取得了显著进展,但仍存在一定的技术局限性。例如,对于复杂病例和罕见疾病的诊断,医学数字人 GPT 可能无法提供准确和可靠的判断。(5)人机协作的重要性。医学数字人 GPT 可以作为自然人医生的辅助工具,提供信息支持和分析建议,但在决策过程中仍需要自然人医生的最终判断和决策。人机协作能够结合人工智能的优势和自然人医生的经验,提高医疗服务的质量和效率。

**3.5 技术更新和维护成本** 医学数字人 GPT 在技术更新和维护成本方面存在的问题主要有,(1)技术更新迅速:人工智能领域的技术发展日新月异,GPT 等 NLP 模型也在不断更新迭代。为了保持医学数字人 GPT 的先进性和竞争力,需要不断进行技术更新和升级,这涉及到研发团队的投入、新技术的引入以及模型的重新训练等,都会产生相应的成本。(2)数据维护成本高:随着医学知识的不断更新和新增病例的出现,需要持续收集、整理和更新医学文献、病例报告等训练数据,以确保 GPT 能够学习到最新的医学知识和经验。同时,数据的存储、管理和保护也需要投入相应的成本。(3)模型优化和调整:在实际应用过程中,医学数字人 GPT 可能会遇到各种挑战和问题,如数据偏差、模型泛化能力不足等。为了解决这些问题,需要对模型进行优化和调整,包括改进算法、调整模型参数等。这些工作都需要专业的研发团队和技术支持,因此会产生相

应的成本。(4)安全和隐私保护:医学数字人 GPT 处理的数据涉及患者的隐私和敏感信息,因此在技术更新和维护过程中需要严格遵守相关的安全和隐私保护要求。这包括加强数据加密、访问控制等安全措施,以及定期进行安全漏洞检测和修复等,都会产生额外的成本。(5)培训和推广:随着医学数字人 GPT 功能的不断扩展和升级,需要对使用者进行持续的培训和推广,以确保他们能够充分了解和掌握新功能的使用方法。这也需要投入一定的人力和物力成本。

## 4 如何克服医学数字人 GPT 的局限性

**4.1 提高数据来源的多样性和权威性** 提高医学数字人 GPT 数据的质量和可用性是解决其局限性问题主要方法<sup>[1-3, 5, 31]</sup>。(1)数据验证与清洗:建立有效的数据验证机制,对采集到的医学数据进行验证和清洗。通过剔除错误、冗余和不完整的数据,确保数据的准确性和完整性。这可以通过使用自动化工具和算法,结合人工审核来实现。(2)数据标准化:制定统一的数据标准,如使用标准诊断编码系统、标准数据格式等。标准化有助于确保数据的一致性和可比性,使得不同来源和格式的数据能够整合和分析。(3)数据扩充与多样性:积极寻找和整合多个数据来源,增加数据的多样性和代表性。这包括医学文献、病例报告、临床试验数据等。通过扩充数据集,可以提高 GPT 模型的泛化能力和适应性。(4)持续学习与更新:建立医学数字人 GPT 的持续学习机制,使其能够不断从新的医学数据和知识中学习和更新。这可以通过定期重新训练模型、引入新的训练数据和技术来实现。(5)数据备份与恢复:建立定期的数据备份机制,并进行数据恢复测试。这可以确保在意外数据损坏或丢失的情况下,能够及时恢复数据,保障数据的可靠性和可用性。(6)用户反馈与迭代改进:鼓励用户在使用医学数字人 GPT 时提供反馈,特别是关于数据质量和可用性的问题。通过收集和分析用户反馈,可以及时发现和修复数据质量问题,并进行迭代改进。(7)数据隐私与安全保护:加强数据隐私和安全保护措施,确保医学数据的机密性和完整性。采用加密技术、访问控制和数据脱敏等手段,防止数据泄露和滥用。

**4.2 提高数据清洗和预处理效率** 提高医学数字人 GPT 数据清洗和预处理效率是确保数据质量和可用性的重要环节。(1)自动化工具和脚本:应用自动化工具和脚本进行数据清洗和预处理,可以显著提高效率。例如,使用 Python 等编程语言编写脚本,



自动化执行数据去重、缺失值填充、异常值检测等常规任务。(2)并行处理和分布式计算:如果处理的数据量非常大,可以考虑使用并行处理和分布式计算技术来加速数据清洗和预处理过程。通过将任务拆分成多个子任务,并同时在多个计算节点上执行,可以显著提高整体处理速度。(3)数据管道和流程自动化:建立数据管道和流程自动化,将数据清洗和预处理步骤整合到 1 个连贯的流程中。这样可以确保数据从原始状态到最终处理状态的转换过程更加高效和可靠,减少手动干预和错误。(4)数据质量监控和校验:在数据清洗和预处理过程中,建立数据质量监控和校验机制。通过设置合适的数据质量指标和校验规则,可以及时发现和处理数据质量问题,避免在后续分析和建模中出现错误。(5)增量处理和更新:对于持续更新的医学数据,采用增量处理和更新的方式,而不是每次都重新处理整个数据集。这样可以节省计算资源和时间,提高数据清洗和预处理的效率。(6)优化算法和模型:针对特定的医学数据清洗和预处理任务,优化算法和模型的选择。例如,选择合适的缺失值填充算法、异常值检测算法等,可以提高处理速度和准确性。(7)使用专用工具和平台:考虑使用专用的数据清洗和预处理工具或平台,这些工具通常提供了丰富的功能和优化算法,可以简化数据清洗和预处理的流程,并提高处理效率。

**4.3 使用标准化术语和编码系统** 医学数字人 GPT 在使用标准化术语和编码系统时,会首先确保数据的准确性和一致性。通过深度学习技术,GPT 能够理解和识别各种医学术语,包括疾病名称、药物名称、手术名称等。同时,GPT 还可以应用编码系统,如 ICD-10、SNOMED-CT 等,对医学概念进行标准化处理,从而实现不同系统之间的数据交换和共享。此外,GPT 还具备 NLP 能力,可以与医生进行自然语言交互,理解医生意图和需求,并提供相应医学知识和建议。医生可以更加便捷地获取准确的医学信息,提高诊疗效率和质量。

**4.4 提高数据标注和验证水平** 医学数字人 GPT 在进行数据标注和验证时,需要采取一系列严谨步骤确保数据的准确性和可靠性<sup>[8, 32]</sup>。首先,在数据标注方面,需应用专业的医学知识和经验,对医学文本进行精确的标注,包括疾病名称、症状、治疗方案等关键信息。同时,还会采用多种标注方法,如实体标注、关系标注等,以捕捉文本中的复杂医学关系。在数据验证方面,我们会采用交叉验证、盲测试等多种方法来评估标注数据的准确性和一致性。

此外,还需应用先进的 NLP 技术,如深度学习模型,对标注数据进行自动验证和纠错,以进一步提高数据的准确性。

**4.5 持续更新和维护** 医学数字人 GPT 的持续更新和维护是 1 个重要的环节,以确保其能够持续提供准确、可靠的医学知识和建议:(1)数据更新。医学领域的知识和技术在不断进步和更新,因此,医学数字人 GPT 需要定期更新其训练数据,以纳入最新的医学研究成果、临床实践指南等。这可以通过与医学数据库、学术出版社等合作,获取最新的医学文献和数据资源。(2)模型优化。随着深度学习技术的不断发展,医学数字人 GPT 的模型也需要不断优化和改进。这可以通过改进模型架构、增加模型深度、调整超参数等方式实现,以提高模型的准确性、泛化能力和效率。(3)用户反馈。用户反馈是医学数字人 GPT 持续更新和维护的重要参考。通过收集用户的反馈和建议,可以及时发现和解决模型存在的问题和不足,从而不断完善和优化医学数字人 GPT 的功能和性能。(4)安全性保障。在更新和维护过程中,需要确保医学数字人 GPT 的安全性和稳定性。这包括对数据的安全性进行保护,防止数据泄露和滥用;对模型的稳定性进行监测和维护,确保模型能够持续、稳定地提供服务。总之,医学数字人 GPT 的持续更新和维护是 1 个综合性的工作,需要多方面的协作和努力。通过不断更新数据、优化模型、收集用户反馈和保障安全性等措施,可以确保医学数字人 GPT 始终能够提供最新、最准确的医学知识和建议。

**4.6 提高数据隐私和安全保护水平** 医学数字人 GPT 在实施数据隐私和安全保护时,会采取一系列严格的技术和管理措施。首先,在数据采集、存储和处理过程中,医学数字人 GPT 会严格遵守相关的隐私政策和法规,如 HIPAA(健康保险移植性和责任法案)等,确保患者的用户信息得到充分的保护。同时,采用加密技术对敏感数据进行加密处理,防止数据在传输和存储过程中被窃取或篡改。其次,医学数字人 GPT 会建立完善的数据访问控制机制,根据用户的角色和权限,对其访问的数据进行严格的限制和监控。只有经过授权的人员才能访问相应的数据,确保数据的机密性和完整性。此外,医学数字人 GPT 还会定期进行安全漏洞扫描和风险评估,及时发现和修复潜在的安全隐患。同时,建立完善的安全日志和监控机制,对系统的使用和操作情况进行实时记录和监控,以便及时发现和处理异常行为和安全隐患。最后,医学数字人 GPT 还会与专业的

安全机构合作,共同应对网络安全威胁和挑战,确保系统的安全性和稳定性。

**4.7 保护隐私和满足伦理要求** 解决医学数字人 GPT 在隐私保护和伦理方面的问题,需要采取一系列综合措施<sup>[29-31]</sup>。(1)立法和监管:制定严格的隐私法律和医疗数据保护法规,明确数据收集、使用、共享和存储的合法性和透明度要求。设立专门的监管机构来监督医学数字人 GPT 的开发和应用,确保其符合伦理规范和法律要求。(2)数据加密和安全存储:采用高级加密技术来保护医疗数据,确保在传输和存储过程中的安全。使用安全的云存储解决方案或本地加密存储存放数据,防止未经授权的访问和数据泄露。(3)访问控制和审计跟踪:实施严格的访问控制策略,只有经过授权的人员才能访问敏感数据。建立详细的审计跟踪系统,记录所有数据的访问、修改和删除操作,以便在必要时进行审查和追责。(4)匿名化和伪名化:在使用医学数据进行 GPT 训练时,应尽量采用匿名化或伪名化技术,去除或替换可以直接识别个体身份的信息。对于无法完全匿名化的数据,应使用脱敏技术来降低隐私泄露的风险。(5)透明度和用户授权:在使用医学数字人 GPT 时,应向用户清晰地说明数据的收集、使用和处理目的,并获得用户的明确授权。鼓励医疗机构和技术提供商建立用户友好的隐私政策和数据使用协议,提高用户对隐私保护的认知。(6)伦理审查和评估:在医学数字人 GPT 研究和应用的各个阶段,应进行全面的伦理审查和评估。建立多学科组成的伦理委员会,对 GPT 的潜在伦理风险进行讨论和决策,确保其应用符合广泛接受的伦理原则。(7)持续教育和培训:加强对医疗从业人员和技术开发者的隐私和伦理教育,提高他们的隐私保护意识和伦理责任感。鼓励行业组织和学术机构定期举办关于医学数字人 GPT 隐私和伦理问题的研讨会和培训活动。(8)建立患者权益保护机制:确保患者有权随时查看、更正和删除自己的医疗数据。提供方便的渠道,使患者能够报告隐私侵犯或伦理违规行为,并及时得到处理和回应。

## 5 应用前景

医学数字人 GPT 的发展前景非常广阔,随着人工智能技术的不断进步和医学领域的需求不断增长,它将在多个方面发挥越来越重要的作用。在医学研究和教育方面,医学数字人 GPT 可以应用其强大的 NLP 能力,帮助研究人员快速获取和分析大量的医学文献和数据,促进医学科研的进一步创新。

它还可以作为 1 种在线教育工具,为医学生和医生提供相关的知识和培训,模拟各种病例情况,提供虚拟患者供实践操作,从而提高医学教育的质量和效率。在临床诊断和治疗方面,医学数字人 GPT 可以通过与患者进行智能对话,了解他们的病情和需求,并给予专业的建议和指导,提高患者的满意度和治疗效果。它还可以分析患者的基因、生理和病理生理指标等信息,为医生提供个性化的诊断和治疗方案,推动精准医疗的发展。另外,在药物研发方面,医学数字人 GPT 也有着广阔的应用前景。它可以分析药物分子结构、药效数据等大量信息,预测药物的疗效和不良反应,提供针对性的药物设计方案,加快新药的研发进程,为人类提供更好的治疗手段。然而,随着医学数字人 GPT 的发展和应用,我们也需要关注一些挑战和问题。例如,如何确保数据的隐私和安全,如何避免算法偏见和错误等问题。因此,在未来的发展中,我们需要继续加强技术研发和监管,推动医学数字人 GPT 的健康发展。医学数字人 GPT 的发展前景非常广阔,它将在医学领域发挥越来越重要的作用,为人类健康事业做出更大的贡献。

**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** 韦球:论文撰写;蒋维芑:论文修改;杨超勉:论文修改;白春学:文章选题。

## 参考文献

- [1] GHASSEMI M, BIRHANE A, BILAL M, et al. ChatGPT one year on: who is using it, how and why? [J]. *Nature*, 2023, 624: 39-41.
- [2] HAUG C J, DRAZEN J M. Artificial intelligence and machine learning in clinical medicine, 2023 [J]. *N Engl J Med*, 2023, 388(13): 1201-1208.
- [3] RAJPURKAR P, CHEN E, BANERJEE O, et al. AI in health and medicine[J]. *Nat Med*, 2022, 28(1): 31-38.
- [4] SINGHAL K, AZIZI S, TU T, et al. Large language models encode clinical knowledge [J]. *Nature*, 2023, 620 (7972): 172-180.
- [5] SCHWALBE N, WAHL B. Artificial intelligence and the future of global health[J]. *Lancet*, 2020, 395(10236): 1579-1586.
- [6] ARONSON J K. When I use a word.. ChatGPT: a differential diagnosis[J]. *BMJ*, 2023, 382: 1862.
- [7] THIRUNAVUKARASU A J, TING D S J, ELANGO VAN K, et al. Large language models in medicine[J]. *Nat Med*, 2023, 29 (8): 1930-1940.
- [8] ESTEVA A, ROBICQUET A, RAMSUNDAR B, et al. A guide to deep learning in healthcare [J]. *Nat Med*, 2019, 25 (1): 24-29.

- [9] AYERS J W, POLIAK A, DREDZE M, et al. Comparing physician and artificial intelligence chatbot responses to patient questions posted to a public social media forum [J]. *JAMA Intern Med*, 2023, 183(6): 589–596.
- [10] JOWSEY T, STOKES-PARISH J, SINGLETON R, et al. Medical education empowered by generative artificial intelligence large language models[J]. *Trends Mol Med*, 2023, 29(12): 971–973.
- [11] BOSCARDIN C K, GIN B, GOLDE P B, et al. ChatGPT and generative artificial intelligence for medical education: potential impact and opportunity[J]. *Acad Med*, 2024, 99(1): 22–27.
- [12] HAMAN M, ŠKOLNÍK M. Using ChatGPT to conduct a literature review[J]. *Account Res*, 2023: 1–3.
- [13] WEI C H, ALLOT A, LAI P T, et al. PubTator 3.0: an AI-powered literature resource for unlocking biomedical knowledge [J]. *Nucleic Acids Res*, 2024: gkae235.
- [14] NOY S, ZHANG W. Experimental evidence on the productivity effects of generative artificial intelligence[J]. *Science*, 2023, 381(6654): 187–192.
- [15] ZHENG Z L, ZHANG O F, BORGS C, et al. ChatGPT chemistry assistant for text mining and the prediction of MOF synthesis[J]. *J Am Chem Soc*, 2023, 145(32): 18048–18062.
- [16] FINK M A, BISCHOFF A, FINK C A, et al. Potential of ChatGPT and GPT-4 for data mining of free-text CT reports on lung cancer[J]. *Radiology*, 2023, 308(3): e231362.
- [17] HAJ M E, BOUTOLEAU-BRETONNIÈRE C, CHAPELET G. ChatGPT's dance with neuropsychological data: a case study in Alzheimer's disease[J]. *Ageing Res Rev*, 2023, 92: 102117.
- [18] KERBAGE A, KASSAB J, EL DAHDAH J, et al. Accuracy of ChatGPT in common gastrointestinal diseases: impact for patients and providers [J]. *Clin Gastroenterol Hepatol*, 2023; S1542–3565(23)00946–1.
- [19] BHAYANA R, KRISHNA S, BLEAKNEY R R. Performance of ChatGPT on a radiology board-style examination: insights into current strengths and limitations [J]. *Radiology*, 2023, 307(5): e230582.
- [20] XUE Z W, ZHANG Y M, GAN W Y, et al. Quality and dependability of ChatGPT and DingXiangYuan forums for remote orthopedic consultations: comparative analysis [J]. *J Med Internet Res*, 2024, 26: e50882.
- [21] GOODMAN R S, PATRINELY J R, STONE C A JR, et al. Accuracy and reliability of chatbot responses to physician questions[J]. *JAMA Netw Open*, 2023, 6(10): e2336483.
- [22] VAISHYA R, MISRA A, VAISH A. ChatGPT: is this version good for healthcare and research?[J]. *Diabetes Metab Syndr*, 2023, 17(4): 102744.
- [23] VARGHESE J, CHAPIRO J. ChatGPT: the transformative influence of generative AI on science and healthcare [J]. *J Hepatol*, 2023: S0168–S8278(23)05039–0.
- [24] HAVER H L, AMBINDER E B, BAHL M, et al. Appropriateness of breast cancer prevention and screening recommendations provided by ChatGPT [J]. *Radiology*, 2023, 307(4): e230424.
- [25] WU X W, ZHANG B. ChatGPT promotes healthcare: current applications and potential challenges[J]. *Int J Surg*, 2024, 110(1): 606–608.
- [26] BERG H T, VAN BAKEL B, VAN DE WOUW L, et al. ChatGPT and generating a differential diagnosis early in an emergency department presentation [J]. *Ann Emerg Med*, 2024, 83(1): 83–86.
- [27] CHENG S W, CHANG C W, CHANG W J, et al. The now and future of ChatGPT and GPT in psychiatry [J]. *Psychiatry Clin Neurosci*, 2023, 77(11): 592–596.
- [28] LUYKX J J, GERRITSE F, HABETS P C, et al. The performance of ChatGPT in generating answers to clinical questions in psychiatry: a two-layer assessment [J]. *World Psychiatry*, 2023, 22(3): 479–480.
- [29] MARKS M, HAUPT C E. AI chatbots, health privacy, and challenges to HIPAA compliance [J]. *JAMA*, 2023, 330(4): 309–310.
- [30] WANG C Y, LIU S R, YANG H, et al. Ethical considerations of using ChatGPT in health care [J]. *J Med Internet Res*, 2023, 25: e48009.
- [31] MINSSEN T, VAYENA E, COHEN I G. The challenges for regulating medical use of ChatGPT and other large language models[J]. *JAMA*, 2023, 330(4): 315–316.
- [32] MENZ B D, KUDERER N M, BACCHI S, et al. Current safeguards, risk mitigation, and transparency measures of large language models against the generation of health disinformation: repeated cross sectional analysis [J]. *BMJ*, 2024, 384: e078538.

## 引用本文

韦 球, 蒋维芃, 杨超勉, 等. 医学数字人 GPT 的研究现状及展望[J]. 元宇宙医学, 2024, 1(1): 43–51.

WEI Q, JIANG W P, YANG C M, et al. Current status and prospects of digital human GPT in medicine [J]. *Metaverse Med*, 2024, 1(1): 43–51.



# 医学 GPT 的研发现状和应用前景

张宇鸣<sup>1</sup>, 白春学<sup>2\*</sup>

1. 中国信息通信研究院, 北京 100191

2. 复旦大学附属中山医院呼吸及危重症医学科, 上海 200032



**[摘要]** 医学 GPT 作为人工智能技术应用于医疗领域的 1 项重要技术, 已经在医疗影像分析、电子病历解读、疾病预测与诊断、健康管理等多个领域开展探索性应用, 并展现出显著的应用潜力。通过深度学习和自然语言处理技术的应用, 医学 GPT 能够处理和分析大量医学文献和临床数据, 从而具备了较强的医学知识和推理能力。研究表明, 医学 GPT 在智能诊断、健康管理、医学图像分析、药物研究与优化以及医学教育与培训等方面均有广泛的应用前景。然而, 尽管技术不断进步, 医学 GPT 的发展仍面临数据质量、隐私保护、安全性、伦理法规等挑战。未来的发展需要在技术创新与伦理法规之间找到平衡点, 以确保医学 GPT 能够健康、稳定地发展, 并为医疗健康领域带来更多的革新和价值。

**[关键词]** 医学 GPT; 自然语言处理; 数据安全

**[中图分类号]** R-1/TP399 **[文献标志码]** A

## Current status and application prospects of medical GPT

ZHANG Yuming<sup>1</sup>, BAI Chunxue<sup>2\*</sup>

1. China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100191, China

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

**[Abstract]** Medical GPT, as a significant application of artificial intelligence technology in the healthcare field, has been explored in various areas, including medical imaging analysis, electronic medical record interpretation, disease prediction and diagnosis, and health management, demonstrating considerable potential for application. By using deep learning and natural language processing technologies, medical GPT can process and analyze vast amounts of medical literature and clinical data, thereby acquiring robust medical knowledge and reasoning capabilities. Current researches indicates that medical GPT has extensive application prospects in areas including intelligent diagnosis, health management, medical image analysis, drug research and optimization, and medical education and training. However, despite continuous technological advancements, the development of medical GPT still faces challenges in terms of data quality, privacy protection, security, and ethical regulations. Future development will require striking a balance between technological innovation and ethical regulations to ensure that medical GPT can evolve stably and healthily, bringing further innovation and value to the healthcare.

**[Key Words]** medical GPT; natural language processing; data security

生成式预训练变换器模型 (generative pre-trained transformer, GPT) 是基于变换器架构设计的预训练生成模型。该模型由美国 OpenAI 研究中心于 2018 年首度推出, 随后经历了多轮学习模式与训练数据集的更新迭代, 从 GPT 发展至 GPT-2、GPT-3, 直至近期的 GPT-4<sup>[1-2]</sup>。在模型规模、性能表

现以及应用范畴上, 均实现了显著的飞跃。GPT 的主要优点体现在其卓越的生成能力与广泛的泛化性能, 能够灵活应对包括机器翻译、问答系统、自动生成摘要以及逻辑推理等多种自然语言处理 (natural language processing, NLP) 任务。在各个研究领域, GPT 得到了广泛关注, 并迅速发展<sup>[3]</sup>。

**[收稿日期]** 2024-03-15

**[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]** 张宇鸣, 硕士. E-mail: 13901725500@139.com

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

国内 GPT 的研究非常活跃<sup>[4]</sup>。百度、阿里巴巴、腾讯等互联网巨头都对其进行了大量的研究和实践,推出了自己的 GPT 模型和应用产品。百度的文心一言、阿里通义和腾讯混元大模型等分别在智能客服、智能写作、机器翻译、智能推荐等多个领域得到了广泛应用。一些创业公司和研究机构也正在积极开展 GPT 技术的研究和应用,推动了 GPT 技术的不断发展和创新。同时,高校和科研机构也在 NLP 领域进行着深入研究,为 GPT 技术发展提供了人才和技术支持。

伴随着 GPT 模型的出色 NLP 和生成能力,人工智能和机器学习技术的快速发展,在医疗健康领域也得到了广泛的关注和应用。因为 GPT 的出现,也为医疗健康领域提供了 1 种高效、准确地处理和分析文本数据的方法,特别有利于减少数据分析和处理所耗费的大量时间和人力<sup>[5]</sup>。在研究方面,医学 GPT 已经在医教研多个领域展现了广泛的应用前景,充分体现 GPT 的创造能力。例如,可用于医学文献的自动摘要和问答系统,帮助医生快速获取相关知识和信息,也可以用于电子健康记录的自动解读和生成;此外,还可以结合医学图像数据,进行疾病的自动诊断和预测。然而,医学 GPT 在应用中也面临着一些挑战,如数据的隐私和安全问题、模型的可解释性等。

## 1 医学 GPT 的研发现状

**1.1 在智能诊断与辅助决策的研究** 医生可以应用 GPT 分析患者的症状、体征、病史等信息,为其提供诊断建议和辅助决策支持。这有助于赋能医生快速、准确地诊断疾病,提高诊疗效率。(1)医学知识问答:可以应用 GPT 作为医学知识问答系统,回答医生或患者关于疾病、药物、治疗方案等方面的问题<sup>[6]</sup>。这有助于赋能医生及时获取最新的医学知识和研究成果,提高其专业水平和诊治能力。(2)风险评估与预测:可以应用 GPT 结合患者的各种生理和病理生理参数、检查结果和遗传因素等,评估患者的疾病风险,并进行预测和赋能二级预防,即早发现、早诊断和早治疗<sup>[7]</sup>。(3)智能诊断:可以应用 GPT 分析患者的症状、体征和病史等信息,辅助医生进行疾病的初步诊断<sup>[8]</sup>。它能够从大量的医学文献和临床数据中学习医学知识,从而提供准确的诊断建议。这有助于赋能医生更加快速、准确地掌握患者的病情,并制定相应的治疗方案<sup>[9]</sup>。(4)辅助决策:GPT 还可以赋能医生为患者提供内外科治疗方案的辅助决策支持<sup>[8]</sup>。它可以根据患者的病情、治疗

史、药物反应等信息,分析不同治疗方案的优缺点,赋能医生为患者提供个性化的诊疗建议、康复计划等<sup>[10]</sup>,赋能其制定更加科学、合理地制定诊治方案,提高治疗效果和患者的满意度。

**1.2 在健康管理及预防领域的研究** 可以应用 GPT 根据用户的基因、生理和病理指标等信息,为用户提供个性化的健康建议和预防措施。这有助于人们更好地管理自己的健康,预防疾病的发生。(1)生成个性化健康计划:可以应用 GPT 根据用户的年龄、性别、健康状况、生活习惯等多维度信息,生成个性化健康管理计划。在其中可包括饮食建议、运动方案、睡眠优化等,用户赋能用户改善生活习惯,预防疾病的发生。(2)健康风险评估:通过分析用户的健康数据和家族病史,GPT 可评估用户患某些疾病的风险,以便帮助用户及时纠正不良的生活习惯,或者进行针对性的体检和筛查,从而实现疾病的早期预防。(3)健康咨询与教育:可以应用 GPT 作为智能健康咨询助手,随时随地为用户提供关于健康问题的解答和建议<sup>[11]</sup>。这种即时的健康咨询服务可帮助用户更好地了解自己的身体状况,学习健康知识,理解相关医学术语、提高自我健康管理的能力<sup>[12]</sup>。(4)远程健康监测:结合可穿戴设备和物联网技术<sup>[12]</sup>,可以应用 GPT 远程监测用户的生理和病理参数和健康状况。当出现异常数据时,可以应用 GPT 及时提醒用户或医生进行干预,防止病情恶化。(5)健康数据整合与分析:GPT 具有强大的数据处理和分析能力,可以帮助科研人员整合和分析大规模的健康数据。这种分析有助于发现健康问题的新趋势和影响因素,为公共卫生政策的制定提供科学依据。

**1.3 在医学图像分析的研究** 医学图像分析是医学研究和临床诊断的重要组成部分,而 GPT 的先进 NLP 和机器学习能力使其能够在这—领域发挥重要作用,特别是在医学图像分析方面的应用和研究。(1)图像识别与分类:可以应用 GPT 训练识别各种医学图像,如 X 线、CT 扫描、MRI 和超声波图像等<sup>[13]</sup>。它能够学习并识别不同的组织结构、异常病变和疾病模式,对图像进行自动分类和标注。这有助于赋能医生快速、准确地诊断疾病,并提高工作效率。(2)病变检测与定位:可以训练 GPT 用于检测医学图像中的病变和异常区域。通过深度学习和图像分析技术,能够应用 GPT 自动识别和定位图像中的肿瘤、斑块、出血等病变,提供相关的定量分析和诊断建议。这有助于赋能医生及时发现和评估潜在的健康问题,制定有效的治疗方案。(3)图像分割与重

建:GPT 可通过学习图像中的像素和特征信息,将图像分割成不同的区域和结构,如器官、血管和病变等。GPT 还可应用生成对抗网络(GAN)等技术进行图像重建和增强,提高图像的质量和分辨率,为医生提供更清晰、更准确的视觉信息<sup>[14]</sup>。(4)多模态图像融合与分析:可以应用 GPT 处理和分析来自不同成像模态的医学图像,如将 X 线、CT 和 MRI 图像融合在一起。通过多模态图像融合,提供更全面、更准确的诊断信息,帮助医生了解病变的位置、性质和严重程度。这有助于制定更精确的治疗计划和手术导航。(5)基于图像的预后预测:可以应用 GPT 结合医学图像和其他临床数据,基于图像进行预后预测。可应用 GPT 通过分析病变的特征、大小和位置等信息,预测患者的疾病进展、治疗效果和生存率等。这有助于赋能医生制定个性化的治疗方案,为用户提供针对性的护理和康复支持。需要注意的是,尽管 GPT 在医学图像分析领域具有广泛的应用潜力,但目前仍处于研究和开发阶段。在实际应用中,还需要进一步验证并改进算法的准确性和可靠性,以满足医学诊断的严格要求。

1.4 在药物研究与优化方面的探索 可以应用 GPT 强大的 NLP 能力,分析药物分子结构、药效数据等信息,预测药物的疗效和不良反应。这有助于加快新药研究,提供有针对性的药物设计方案,并优化现有药物的使用。(1)药物发现与设计:可以应用 GPT 分析大量的化合物和生物活性数据,帮助专家快速筛选和发现具有潜在药理活性的候选药物分子。通过深度学习和 NLP 技术,能够应用 GPT 预测分子的生物活性、药代动力学参数及潜在不良反应,从而加速药物的发现和研究<sup>[15]</sup>。(2)药物作用机制解析:可应用 GPT 辅助解析药物与生物分子之间的相互作用机制。通过分析药物与靶点蛋白的结合模式、信号通路调控等,赋能揭示药物的作用机制,为药物优化提供理论基础<sup>[16]</sup>。(3)临床试验优化:可以应用 TWIN-GPT 分析历史临床试验数据和患者电子病历信息,预测新药在不同人群中的疗效和安全性。这有助于专家制定更加精准和有效的临床试验方案,减少试验成本和时间,提高药物研发的成功率<sup>[17]</sup>。(4)个性化治疗与精准医学:可以应用 GPT 结合患者的基因组学、转录组学等多组学数据,分析患者对特定药物的敏感性和反应,赋能实现个性化治疗,为患者提供更加精准和有效的药物选择和治疗方案<sup>[18]</sup>。(5)药物不良反应预测与风险管理:可以应用 GPT 分析药物的不良事件报告和临床数据,预测药物潜在的不良反应和安全性问题。这有助于

赋能专家及时发现和评估药物的风险,为药物监管和风险管理提供决策支持。GPT 在药物研究与优化领域的应用正在不断拓展和深化,有望为药物研发和治疗提供更加高效、精准和个性化的解决方案,推动医药行业的创新与发展。

1.5 在医学教育与培训的研究 基于 GPT 方便模拟各种病例的特征,可以为医学生和规培生提供便捷的实践操作机会,帮助他们更好地理解和掌握医学<sup>[19]</sup>。同时,GPT 还可以作为教学助手,协助教师准备教案、解答学生疑问,已在医学教育与培训领域展现出巨大潜力。(1)智能教学辅助:GPT 能理解和生成自然语言,可被用作智能教学辅助工具。教师可借助其回答学生的问题,提供相关疾病、药物和治疗方案的信息,并帮助学生理解复杂的医学概念。(2)在线教育资源:可以应用 GPT 创建和更新在线教育资源,如课程材料、教学视频和交互式教程等,为学生提供更加灵活和便捷的学习方式,使他们能够随时随地学习。(3)多语言支持:GPT 具有支持多种语言的功能,可为不同国家和地区的学生提供医学教育和培训支持。这使得医学教育更加普及和包容,利于培养更多的医学人才。(4)模拟病例分析:可以应用 GPT 模拟各种疾病,为学生提供实践机会。通过与 GPT 对话,学生可在模拟环境中进行沉浸式诊断、治疗和护理等操作,赋能提高他们的临床技能和决策能力。(5)自适应学习:GPT 可以根据学生的学习进度和能力,提供个性化的学习资源和交流互动式学习。它可以分析学生的学习表现,识别他们的弱点和需求,并推荐相关的学习材料或练习,赋能他们更好地掌握医学知识<sup>[20]</sup>。随着技术的不断进步和应用场景的增加,GPT 有望为医学教育和培训带来更加深入的革命性变革,并可用于元宇宙教学查房<sup>[21]</sup>。

1.6 在其他医学领域的研究与应用 可以应用 GPT 分析大量的医学论文、实验数据等文献信息,帮助研究人员快速获取相关研究成果和最新进展,有助于促进医学科研进一步创新和发展,推动医学领域的进步。(1)医学文献分析:可以应用 GPT 高效地阅读、理解和分析大量的医学文献,帮助研究人员快速获取相关领域的最新进展和知识。通过 NLP 技术,能够应用 GPT 提取文献中的关键信息,如研究方法、实验结果和结论等,并进行归纳和总结<sup>[22]</sup>。这有助于研究人员快速了解领域内的研究现状和未来趋势,为他们的研究提供有价值的参考<sup>[22]</sup>。(2)疾病预测模型:可以应用 GPT 结合大规模的健康数据和机器学习算法,构建疾病预测模型。通过对用



户的多维度数据进行分析,可应用 GPT 预测用户未来患某种疾病的风险,并提供相应的预防和治疗建议。这种预测模型有助于实现个体化医疗,提高疾病的预防和治疗效果。(3)新药研发与优化:可以将 GPT 应用于新药研发的过程中,帮助专家快速筛选和优化候选药物分子。通过深度学习和 NLP 技术,能应用 GPT 分析化合物的结构和性质,预测其生物活性和药代动力学特征,从而加速新药的研发进程。此外,还可以应用 GPT 结合临床试验数据和患者信息,对新药的疗效和安全性进行评估和优化,提高药物研发的成功率。(4)基因编辑与精准医疗:可以应用 GPT 结合基因编辑技术,为精准医疗提供强大的支持。通过分析用户的基因组数据和其他生物标志物信息,应用 GPT 预测用户对特定治疗方法的反应和敏感性,辅助医生制定更加精准和个性化的治疗方案。这有助于实现个体化医疗和精准治疗,提高患者的治疗效果和生活质量。

## 2 医学 GPT 的缺点及解决方法

GPT 还在不断发展和完善中,有望成为未来人工智能领域的重要基础技术之一,但其研发仍面临一些挑战。

**2.1 数据偏差与质量问题的原因与解决方法** 医学 GPT 的性能在很大程度上取决于训练数据的质量和多样性。如果训练数据存在偏差、不完整或过拟合时,GPT 生成的医学建议或诊断也可能存在偏差或错误<sup>[23]</sup>。

GPT 模型在训练和应用过程中可能产生数据偏差与质量问题,主要原因包括以下几个方面。(1)数据集质量问题:GPT 模型的训练依赖于大量的数据集,如果这些数据存在标注错误、噪声数据或偏见等问题,模型的准确度就会受到影响。如存在标注错误的样本会导致模型学习到错误的知识<sup>[24]</sup>。(2)模型过拟合:当 GPT 模型在训练过程中遇到过拟合问题时,就会在新数据上出现高错误率。过拟合的原因可能是训练数据过少、模型过于复杂或训练参数设置不当等<sup>[25]</sup>。(3)输入数据不完整:GPT 模型的结果常常受输入数据的影响,如果输入数据缺失、不完整时,模型将无法准确预测,从而导致结果偏差。(4)训练方式改变:GPT 模型相对于前一代模型,在训练过程中可能引入了一些变化或改进,结果可能导致模型在某些方面表现更好,但在其他方面准确度下降<sup>[26]</sup>。(5)训练数据代表性不足:如果训练数据过于偏向某一特定领域或语言风格,模型在其他领域或语言风格上的表现可能会下降。缺乏

多样性的训练数据会影响模型的泛化能力。

为了解决这些问题,可以采取一系列措施改进,如提高数据集的质量、增加训练数据的多样性、优化模型结构、调整训练参数等。同时,在模型应用过程中,也需要注意输入数据的完整性和准确性,以及持续学习和迁移学习的限制等问题。

**2.2 隐私和安全问题与解决方法** 医学 GPT 在处理患者数据时,需要严格遵守隐私和安全法规。如果这些数据被不当使用或泄露,可能会引发严重的隐私和安全问题。(1)数据泄露风险:GPT 模型需要大量数据进行训练,其中可能包含用户的个人信息。如果这些数据没有被正确处理或保护,就存在数据泄露的风险,可能导致用户隐私受到侵害。(2)模型滥用:由于 GPT 模型的生成能力强大,有时会吸引不法分子恶意使用,例如生成虚假信息、误导性内容或进行网络钓鱼等欺诈活动,这会对用户的信息安全和财产造成威胁。(3)内部泄露:在处理敏感数据的组织内部,如果没有实施足够的安全措施,或者由于员工不遵守隐私政策,也可能导致数据泄露或滥用。

现阶段可采用的解决方法,(1)数据匿名化处理:在将数据用于训练 GPT 模型之前,对数据进行匿名化处理,删除或替换掉其中的用户信息,可以减少隐私泄露的风险。同时,应确保数据匿名化的过程符合相关的法律法规和隐私政策的要求。(2)加强数据加密:使用先进的加密技术,对在传输和存储过程中的数据进行加密处理,以确保数据的安全性。只有授权者才能访问和使用这些数据,即可减少数据泄露和滥用的风险。(3)制定严格的数据访问和使用政策:应制定明确的数据访问和使用政策,规定员工在处理敏感数据时的行为规范。同时,应定期对这些政策进行审查和更新,以确保其与当前的法律法规和隐私要求保持一致。(4)加强监管和合规性检查:对于涉及敏感数据处理的 GPT 应用,应加强监管和合规性检查,确保在实施隐私和安全措施时符合相关的法律法规和政策要求。如果发现违规行为或数据泄露事件,应及时采取措施予以纠正和处理<sup>[27]</sup>。(5)用户教育和意识提升:用户在使用 GPT 应用时也应注意保护自己的隐私和安全。可以通过用户教育、安全培训等方式提升用户对隐私和安全问题的认知和意识,引导他们正确使用 GPT 应用并避免潜在的风险。

**2.3 对输入信息敏感性不足的原因与解决方法** 医学 GPT 在处理输入信息时,可能无法充分理解患者的情感、文化背景等非医学因素,这可能会影响其

生成的医学建议或诊断的准确性和适用性。

GPT 对输入信息的敏感性不足的原因主要有, (1)固定长度的上下文窗口:GPT 在处理文本时,通常有 1 个固定长度的上下文窗口,这意味着它只能考虑到一定范围内的前文信息。当输入信息超出这个窗口时,GPT 可能会遗忘或无法充分应用之前的信息,导致对输入信息的敏感性下降。(2)缺乏长期依赖关系建模:GPT 主要基于 Transformer 架构,而 Transformer 在处理长期依赖关系方面存在一定的局限性。这可能导致 GPT 在处理较长文本或需要考虑间隔较远的上下文信息的任务时表现不佳。(3)训练目标的限制:GPT 的训练目标通常是最大化,在广泛的主题和场景中生成自然语言文本的能力。这种训练目标可能导致 GPT 在处理特定领域或任务的输入信息时敏感性不足,因为它可能没有足够的训练数据或优化目标来专注于这些特定的情况。(4)数据偏差和噪声:GPT 的训练数据通常来自互联网或其他大规模文本数据集,这些数据可能包含各种偏差和噪声。如果 GPT 在训练过程中受到了这些偏差和噪声的影响,它可能对某些类型的输入信息不敏感或产生误导性的输出<sup>[24]</sup>。(5)模型容量限制:尽管 GPT 的模型容量在不断增大,但仍有可能受到模型容量的限制。当模型容量不足以捕获输入信息中的所有复杂性和细节时,GPT 可能对输入信息的敏感性降低。

需要注意的是,以上原因并不是互相独立的,它们可能相互交织并共同导致 GPT 对输入信息的敏感性不足。为了提高 GPT 的敏感性,可以采取一系列措施,如增加上下文窗口的大小、改进 Transformer 架构以更好地处理长期依赖关系、使用特定领域的训练数据、减少数据偏差和噪声以及增加模型容量等。

**2.4 缺乏临床实践经验的原因与解决方法** 尽管可以应用 GPT 学习和理解大量的医学文献和知识,但它仍然缺乏实际的临床经验。这可导致在面对复杂或罕见的病例时,GPT 的表现可能不如经验丰富的医生<sup>[28]</sup>。

GPT 缺乏临床实践经验的原因主要是(1)数据来源限制:GPT 的训练数据主要来源于文本和图像等非临床环境,这些数据无法完全模拟真实的临床实践场景。因此,GPT 在处理复杂的临床问题时可能缺乏必须的实践经验和判断力。(2)模型局限性:当前的 GPT 模型虽然具有强大的 NLP 和机器学习能力,但仍存在一定的局限性。例如,GPT 可能难以理解和处理模糊、不确定或复杂的医学术语和概

念,这在临床实践中是常见的。(3)伦理和隐私问题:由于临床实践涉及患者的隐私和伦理问题,获取和使用真实的临床数据受到严格限制。这使得 GPT 在训练过程中难以接触到足够的临床数据,从而缺乏临床实践经验的积累。(4)人工监督不足:GPT 的训练和应用通常需要大量的人工监督和干预,以确保模型的准确性和可靠性。然而,在临床实践领域,由于专业知识的限制和人力资源的匮乏,可能无法提供足够的人工监督,导致 GPT 缺乏必要的实践经验。(5)技术成熟度:尽管 GPT 在 NLP 领域取得了显著进展,但在医学和临床实践等特定领域的应用仍处于相对初级的阶段,技术的成熟度和稳定性需要进一步提高,以满足临床实践的要求。

为了解决这些问题,可以采取一系列措施,如加强与临床实践相关的数据收集和处理,改进模型结构和算法以提高对医学术语和概念的理解能力,加强伦理和隐私保护以确保合规使用临床数据,提高人工监督的效率和质量以及推动技术在医学领域的进一步发展和应用等。这些措施将有助于 GPT 更好地适应临床实践环境,提高其在医学领域的应用价值。

**2.5 技术更新与维护成本的问题与解决方法** 医学领域的知识和技术在不断更新和发展,因此医学 GPT 也需要定期进行更新和维护以保证其准确性和有效性。这可能需要投入大量的时间和资源<sup>[7]</sup>。

GPT 技术的更新与维护成本涉及多个方面,包括硬件资源、研发人力、数据收集与标注等。这些成本随着模型规模、性能和应用领域的不断拓展而增加。首先,硬件资源是 GPT 技术更新与维护的重要基础。随着模型参数的不断增加,需要更强大的计算能力和存储资源来支持模型的训练和推理。这包括高性能的 GPU 或 TPU、大容量的内存和存储设备等。这些硬件资源的购置和运维成本相对较高。其次,研发人力也是 GPT 技术更新与维护的关键因素。GPT 技术的研发需要 1 支专业的团队,包括算法工程师、数据专家、软件工程师等。这些人员均需要具备深厚的专业知识和丰富的实践经验,才能不断推动技术的创新和应用。因此,研发人力的成本也相对较高。此外,数据收集与标注也是 GPT 技术更新与维护的重要环节。GPT 模型需要大量数据进行训练和调优,这些数据需要经过清洗、标注和预处理等步骤才能用于模型训练。数据收集与标注的成本随着数据规模和质量提高而增加。

但是,随着技术的不断发展和应用领域的不断拓展,这些成本有望逐渐降低。同时,一些开源框架



和工具的出现也为降低 GPT 技术的更新与维护成本提供了可能。

2.6 无法替代医生的专业判断的原因与解决方法虽然可以应用 GPT 提供有价值的医学建议和信息,但它并不能完全替代医生的专业判断和经验。在关键的医疗决策中,仍需要医生,特别是富有经验的临床医生参与和确认<sup>[29]</sup>。

GPT 无法替代医生的专业判断的主要原因包括:(1)缺乏医学实践经验:医生通过多年的学习和实践积累了丰富的医学知识和临床经验,能够根据患者的具体情况做出准确的诊断和判断。而 GPT 虽然拥有强大的语言理解和生成能力,但缺乏医学领域的实践经验和直觉。(2)缺乏批判性思维能力:医生在面对复杂的医学问题时,需要根据患者的病史、检查结果和自身经验进行综合分析和判断,这需要批判性思维。而 GPT 在处理信息时主要基于训练数据中的模式和关联,缺乏批判性思维能力。(3)情感与人文关怀的缺失:医疗过程不仅涉及疾病的治疗,还包括对患者的情感支持和人文关怀。医生能够理解和响应患者的情感需求,提供安慰和支持,这是 GPT 目前难以替代的。(4)法律与伦理限制:在医疗领域,存在严格的法律和伦理规范。医生的诊断和治疗行为需要遵循这些规范,而 GPT 作为 1 个人工智能模型,难以完全理解和遵守这些复杂的法律和伦理要求。(5)技术局限性:虽然 GPT 在 NLP 领域取得了显著进展,但仍存在技术局限性<sup>[30]</sup>。例如,GPT 在处理模糊、不确定或复杂的医学问题时可能遇到困难,导致生成的信息不准确或误导。

综上所述,尽管 GPT 在医学领域具有一定的应用潜力,但由于上述原因,它目前无法完全替代医生的专业判断。在未来一段时间的发展中,可以应用 GPT 作为医生的辅助工具,提供信息支持和建议,但最终的决策仍需要由医生根据患者的具体情况和自身经验做出。

### 3 展 望

医学 GPT 作为人工智能与 NLP 技术在医疗健康领域的重要应用,具有广阔的发展前景和潜力。未来 GPT 对医疗健康发展的赋能包括,(1)个性化医疗服务:随着大数据和深度学习技术的不断进步,GPT 将能够更深入地理解个体差异和疾病特点,为用户或患者提供更加个性化的医疗健康服务。例如,根据用户或患者的基因组学数据和生活习惯,可以应用 GPT 为用户或患者量身定制预防和

治疗方案,提高治疗效果和生活质量。(2)辅助医学研究和创新:医学 GPT 在医学文献分析、疾病预测模型、新药研发等方面具有强大的潜力。未来,医学 GPT 有望成为医学研究和创新的重要工具,帮助专家快速筛选和优化候选药物分子,预测疾病发展趋势,为医学研究和治疗提供有力支持。(3)提升医疗质量和效率:可以应用 GPT 作为智能医疗助手,赋能医生为用户或患者提供实时、准确的信息和建议,帮助医生提高诊断准确性和治疗效率。同时,医学 GPT 还可以处理大量用户或患者提问,解决医生客观时间不足的问题,为用户或患者提供更加便捷和高效的医疗服务。(4)拓展医学教育和培训:医学 GPT 在医学教育和培训领域具有广阔的应用前景。它可以作为智能教学辅助工具,为实习生、规培生和继续医学教育提供个性化的学习资源和反馈,帮助学生更好地掌握医学知识和技能。同时,医学 GPT 还可以模拟各种疾病和场景,为学生提供实践机会,赋能提高他们的临床技能和决策能力。(5)面临挑战与持续发展:尽管医学 GPT 具有广阔的发展前景,但仍面临一些挑战,如数据隐私和安全问题、模型可解释性、伦理和法律问题等。未来,需要在技术、政策和伦理等多个层面共同努力,推动医学 GPT 的持续发展和应用。

纵观现状与展望未来,医学 GPT 的应用正在不断拓展和深化,随着技术的不断进步和应用场景的不断增加,GPT 有望为医疗健康领域带来更多变革,提高医疗服务的效率和质量,为人们的健康提供更好的保障。

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 张宇鸣:论文撰写、修改;白春学:文章选题。

### 参考文献

- [1] SANDERSON K. GPT-4 is here: what scientists think [J]. Nature, 2023, 615(7954): 773.
- [2] KLANG E, PORTUGEZ S, GROSS R, et al. Advantages and pitfalls in utilizing artificial intelligence for crafting medical examinations: a medical education pilot study with GPT-4 [J]. BMC Med Educ, 2023, 23(1): 772.
- [3] 卢经纬, 郭超, 戴星原, 等. 问答 ChatGPT 之后: 超大预训练模型的机遇和挑战[J]. 自动化学报, 2023, 49(4): 705-717.
- [4] 车万翔, 窦志成, 冯岩松, 等. 大模型时代的自然语言处理: 挑战、机遇与发展[J]. 中国科学: 信息科学, 2023, 53(9): 1645-1687.
- [5] 王飞跃. 平行医生与平行医院: ChatGPT 与通用人工智能技



- 术对未来医疗的冲击与展望[J]. 协和医学杂志, 2023, 14(4): 673–679.
- [6] 马武仁, 弓孟春, 戴 辉, 等. 以 ChatGPT 为代表的大语言模型在临床医学中的应用综述[J]. 医学信息学杂志, 2023, 44(7): 9–17.
- [7] HOU W P, JI Z C. Assessing GPT-4 for cell type annotation in single-cell RNA-seq analysis[J]. *Nat Meth*, 2024.
- [8] HE Y B, WU H Y, CHEN Y, et al. Can ChatGPT/GPT-4 assist surgeons in confronting patients with Mpox and handling future epidemics? [J]. *Int J Surg*, 2023, 109(8): 2544–2548.
- [9] 吕 静, 何 平, 王永芬, 等. ChatGPT 在医学领域研究态势的文献计量学分析[J]. 医学与哲学, 2024, 45(7): 30–35.
- [10] PENG S X, WANG D Q, LIANG Y H, et al. AI-ChatGPT/GPT-4: an booster for the development of physical medicine and rehabilitation in the new era! [J]. *Ann Biomed Eng*, 2024, 52(3): 462–466.
- [11] ENGERS A, JELLEMA P, WENSING M, et al. Individual patient education for low back pain[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2008, 2008(1): CD004057.
- [12] Health literacy: report of the Council on Scientific Affairs. Ad Hoc Committee on Health Literacy for the Council on Scientific Affairs, American Medical Association [J]. *JAMA*, 1999, 281(6): 552–557.
- [13] BHAYANA R, BLEAKNEY R R, KRISHNA S. GPT-4 in radiology: improvements in advanced reasoning[J]. *Radiology*, 2023, 307(5): e230987.
- [14] MAKHLOUF A, MAAYAH M, ABUGHANAM N, et al. The use of generative adversarial networks in medical image augmentation[J]. *Neural Comput Appl*, 2023, 35(34): 24055–24068.
- [15] UNSAL S, ATAS H, ALBAYRAK M, et al. Learning functional properties of proteins with language models [J]. *Nat Mach Intell*, 2022, 4(3): 227–245.
- [16] AI4SCIENCE M R, QUANTUM M A. The Impact of large language models on scientific discovery: a preliminary study using GPT-4 [EB/OL]. (2023–11–13)[2024–03–05]. <http://arxiv.org/abs/2311.07361>.
- [17] WANG Y, LU Y Z, XU Y L, et al. TWIN-GPT: digital twins for clinical trials via large language model[EB/OL]. (2024–04–02). <http://arxiv.org/abs/2404.01273>.
- [18] HE X J, LIU X W, ZUO F L, et al. Artificial intelligence-based multi-omics analysis fuels cancer precision medicine[J]. *Semin Cancer Biol*, 2023, 88: 187–200.
- [19] 郭毅可. 迎接一个人机共生的时代[J]. 智能系统学报, 2023, 18(2): 216.
- [20] ABD-ALRAZAQ A, ALSAAD R, ALHUWAIL D, et al. Large language models in medical education: opportunities, challenges, and future directions [J]. *JMIR Med Educ*, 2023, 9: e48291.
- [21] 张丽娟, 赵国栋, 陈力炜, 等. 基于元宇宙的医学教育创新与实践. 中国医学教育技术[J], 2021, 34(6): 585–588.
- [22] ANGELIS L D, BAGLIVO F, ARZILLI G, et al. ChatGPT and the rise of large language models: the new AI-driven infodemic threat in public health [J]. *Front Public Health*, 2023, 11: 1166120.
- [23] 王树义, 张庆薇. ChatGPT 给科研工作者带来的机遇与挑战[J]. 图书馆论坛, 2023, 43(3): 109–118.
- [24] PULASTYA V, NUTI G, ATRI Y K, et al. Assessing the quality of the datasets by identifying mislabeled samples [EB/OL]. (2021–09–10)[2024–03–05]. <http://arxiv.org/abs/2109.05000>.
- [25] ZAIDI S, BERARIU T, KIM H, et al. When does re-initialization work? [EB/OL]. (2022–06–22)[2024–03–05]. <http://arxiv.org/abs/2206.10011>.
- [26] MA M M, REN J, ZHAO L, et al. Are multimodal transformers robust to missing modality? [EB/OL]. (2022–04–12)[2024–03–05]. <http://arxiv.org/abs/2204.05454>.
- [27] 王慧颖. 医学人工智能应用中的隐私保护 [J]. 法制博览, 2021(1): 21–22.
- [28] WU C Y, LEI J Y, ZHENG Q Y, et al. Can GPT-4V (ision) serve medical applications? Case studies on GPT-4V for multimodal medical diagnosis[EB/OL]. (2024–10–15)[2024–03–05]. <https://arxiv.org/abs/2310.09909>.
- [29] LYSANDROU G, OWEN R E, MURSEC K, et al. Comparative analysis of drug-GPT and ChatGPT LLMs for healthcare insights: evaluating accuracy and relevance in patient and HCP contexts[EB/OL]. (2023–07–24)[2024–03–05]. <http://arxiv.org/abs/2307.16850>.
- [30] KANJEE Z, CROWE B, RODMAN A. Accuracy of a generative artificial intelligence model in a complex diagnostic challenge [J]. *JAMA*, 2023, 330(1): 78–80.

#### 引用本文

张宇鸣, 白春学. 医学 GPT 的研发现状和应用前景[J]. 元宇宙医学, 2024, 1(1): 52–58.

ZHANG Y M, BAI C X. Current status and application prospects of medical GPT[J]. *Metaverse Med*, 2024, 1(1): 52–58.

DOI:10.61189/528667vzkwua

· 论 著 ·

## 基于专家系统和神经常微分方程的延迟混合模型构建

徐成喜<sup>1</sup>, 张 健<sup>1</sup>, 姚佳烽<sup>2\*</sup>

1. 苏州健通医疗科技有限公司, 苏州 215300

2. 南京航空航天大学, 南京 210016

**[摘要]** 机器学习(machine learning, ML)模型往往依赖于大规模的训练数据集,且在解释潜在变量方面存在不足。该文提出的创新性延迟潜在混合模型(delayed latent hybridization model, DLHM)引入了分段常数延迟(piecewise-constant delays, PCDs)机制,以模拟药理学及疾病进展过程中不可避免的延迟现象。通过融入延迟机制,该研究在动态系统建模设计中加入了高层次的专家知识(即延迟),旨在提升模型在预测药理动态和疾病进展方面的性能,进而增强模型对患者的可解释性和沟通效率。研究表明,延迟潜在混合模型在疾病进展预测任务中显示出了优化的预测可靠性与一致性。该文利用 COVID-19 患者的合成数据对模型性能进行了验证,标志着在考虑延迟效应和专家知识的生物科学建模领域取得了显著进步。

**[关键词]** 机器学习;延迟潜在混合模型;分段常数延迟;疾病进展预测

**[中图分类号]** R318 **[文献标志码]** A

## Delayed hybrid model construction based on expert system and neural ordinary differential equation

XU Chengxi<sup>1</sup>, ZHANG Jian<sup>1</sup>, YAO Jiafeng<sup>2\*</sup>

1. Kaonter Medical Technology Co. Ltd, Suzhou 215300, Jiangsu, China

2. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, Jiangsu, China

**[Abstract]** Machine learning (ML) models often require large training datasets and lack the interpretability of latent variables. This novel delayed latent hybridization model (DLHM) incorporates piecewise-constant delays (PCDs) to model delays that are inevitably present in pharmacology and disease progression, a feature missing in existing approaches that leverage expert knowledge. By incorporating delays, we contributed a high-level expert knowledge in the design of dynamic systems modeling, which enhanced performance in predicting pharmacological and disease progression dynamics and aims to improve interpretability and communication to patients. Our findings indicate that DLHM demonstrates improved predictive reliability and congruence with the disease progression prediction task. The paper validates the model's performance using synthetic data from COVID-19 patients, offering a significant advancement in biosciences modeling with delayed effects and expert knowledge.

**[Key Words]** machine learning; delayed latent hybridization model; piecewise-constant delays; disease progression prediction

动态系统在刺激输入下的演变估计是多个学科领域面临的关键难题之一。众多机器学习(machine learning, ML)方法已能够基于观察到的数据通过直接构建动态系统及优化函数来提取潜在变量空间中的特征,从而获得强大的预测能力。然而,这些 ML 方法同样存在局限性,其需要大规模训练数据集才能构建模型,更无法解释学习的潜在变量与已知领域知识中变量之间的关系,尤其在医疗保健领域,这一点显得尤为重要。

为解决上述问题,众多研究者<sup>[1-5]</sup>尝试将专家知识嵌入纯 ML 模型之中,期望能够提升预测性能,并增加模型的直接可解释性。Qian 等<sup>[1]</sup>将给定的药理

模型嵌入神经常微分方程(neural ordinary differential equations, NODEs)系统,构建潜在混合模型(latent hybridisation model, LHM),并用合成数据和 COVID-19 患者实际的重症监护数据对其进行评估。结果显示,相较于原始药理模型(Expert)、潜在神经常微分方程(LNODE)、残差模型(Residual)<sup>[2-3]</sup>以及 Expert 和 NODE 的集成模型<sup>[4-5]</sup>,LHM 展现出最佳的整体性能。

然而,Qian 等<sup>[1]</sup>构建的 LHM 中忽略了一个重要属性——延迟效应。尽管其假设了完整性,但在更广泛的动态系统,特别是生命科学中,延迟效应是固有存在的。目前,已经将延迟效应通过时滞微分

**[收稿日期]** 2024-03-08

**[接受日期]** 2024-03-25

**[作者简介]** 徐成喜, 博士, 高级工程师. E-mail: charles@kaonter.com

\* 通信作者(Corresponding author). Tel: 17715275835, E-mail: jiaf.yao@nuaa.edu.cn

方程(delay differential equations, DDEs)纳入流行病学<sup>[6-7]</sup>、免疫学<sup>[8-9]</sup>、HIV 病理<sup>[10-11]</sup>、生理学<sup>[12-13]</sup>及疗效估计<sup>[14]</sup>等领域的系统建模中。相较于未考虑延迟效应的 ODE 建模, DDEs 为生物系统的动态分析提供了更灵活的数学框架, 增加与特定生物过程特征的吻合度, 提高预测结果的可靠性<sup>[15]</sup>。

本研究基于 Qian 等<sup>[1]</sup>构建的 LHM, 融合延迟效应, 以分段常数延迟 (piecewise constant decay, PCDs)<sup>[16-18]</sup>的形式, 更精确地模拟药理学和疾病进展中的延迟效应。基于 PCDs 的不连续特性, 该延迟潜在混合模型 (delayed latent hybridisation model, DLHM) 的性能较 Qian 等<sup>[1]</sup>构建 LHM 有所提升, 即能更为精准地预测药理学与疾病进展。

## 1 问题形式

本研究旨在引入延迟效应, 对 Qian 等<sup>[1]</sup>构建的 LHM 进行优化, 从而能够对一定数量的住院患者集合 $N=\{1, \dots, N\}$ 在规定时间内 $[0, T]$ 内的疾病进展进行精准预测。问题形式与参数设置参考 Qian 等<sup>[1]</sup>研究。

用一系列可观测的生理变量  $x_i(t) \in R^D, D \in N^+$  来刻画每位患者  $i$  的健康状况; 将生理变量的实测值与其真实值区别开, 即:

$$y_i(t) = x_i(t) + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, 测量误差通过独立项  $\varepsilon_{it}$  进行建模。

假定  $\varepsilon_{it}$  服从正态分布  $N(0, \sigma_i^2)$ 。对每位患者进行测量的时间表示为  $J_i = \{t_{i1}, t_{i2}\}$ 。患者接受的治疗为  $a_i(t) \in R^A, A \in N^+$ 。  $a_i(t)$  包括连续治疗 (例如静脉注射药物) 和离散治疗 (例如手术干预), 其效果可能是立竿见影的, 也可能有固有的延迟。

分别以  $A_i[t_1, t_2] = a_i(t) | t_1 \leq t \leq t_2$  和  $y_i[t_1, t_2] = \{y_i(t) | t_1 \leq t \leq t_2, t \in J_i\}$  表示  $[t_1, t_2]$  时间段内的治疗方案和检验结果。本研究模型能够在当前时刻  $t$ , 在给定检测结果  $y_i[0, t]$  和  $A_i[0, t]$  治疗史的情况下, 在未来治疗  $A_i[t_0, T]$  的计划下对未来检测结果  $y_i[t_0, T]$  进行预测:

$$P(y_i[t_1, T] | \frac{y_i[0, t_0], A_i[0, t_0]}{\text{历史观察}}, \frac{A_i[t_0, T]}{\text{治疗计划}}) \quad (2)$$

这种分布的成功建模将使我们能够计算点估计以及不确定性区间。临床医生掌握这些不确定的信息对于为患者做出风险与收益权衡至关重要, 同时加强与患者就治疗方案的沟通。

## 2 相关理论基础

### 2.1 模型基础 Qian 等<sup>[1]</sup>采用 ODE 网络<sup>[19]</sup>构建了 1

种 LHM, 将机器学习模型和专家知识相融合, 显示出良好预测性能。然而, Qian 等<sup>[1]</sup>构建的 LHM 仅能够描述自封闭的动态系统, 这意味着专家变量的变化率  $\dot{z}^e(t)$  完全依赖于专家变量  $z^e(t)$  的当前值及当下治疗  $a(t)$ , 导致该模型仅适用于单一身体系统或数个密切相关的系统之内<sup>[20]</sup>。

**2.2 生物学延迟效应** 多数生物学过程中均存在时滞现象。DDEs 通常用于许多生物科学系统的数值分析中, 以模拟系统固有的延迟。与仅使用 ODE 相比, DDEs 为生物系统的动力学分析提供了更灵活的数学框架; 此外, DDEs 还增加与特定生物过程特征的吻合度, 提高预测结果的可靠性。本研究试图将延迟效应以分段常数延迟<sup>[16-18]</sup>的形式融入 LHM, 以扩展其应用范畴, 更好地建模药理学和疾病进展中的延迟现象。

**2.3 神经延迟微分方程** 在 NODEs<sup>[21]</sup>的基础上, Zhu 等引入了神经延迟微分方程 (neural delay differential equations, NDDEs), 其能够更好地模拟低维相空间中相互交叉的轨迹的延迟动力学。这些混沌行为也普遍存在于许多生物科学系统中, 通常认为生物模型中延迟效应的存在是周期振荡和不稳定性等非平稳现象的强有力来源。

为了进一步改进针对自然存在的延迟效应和混沌行为的动态系统的建模, 神经分段常数延迟微分方程 (neural piecewise-constant delay differential equations, NPCDDEs)<sup>[22-23]</sup>将 PCDs<sup>[16-18]</sup>整合到 NODEs<sup>[21]</sup>的框架中。由于 PCDs 的不连续特性, 使 NPCDDEs<sup>[22]</sup>在模拟复杂动态中展示了更高的灵活性, 包括跳跃导数和低维空间中的演化, 从而进一步提高了系统在振荡和混沌方面的性能表现。

## 3 模型构建

**3.1 延迟药理学模型** 本研究在 Qian 等<sup>[1]</sup>基础上做了扩展, 通过一系列 ODEs 来表达专家变量的动态规律:

$$\dot{z}^e(t) = f^e(z^e(t), a(t), z^e(t-\tau), a(t-\tau); \theta^e) \quad (3)$$

其中, 我们用  $z^e(t) \in R^E$  表示专家变量 (包括一系列生理过程, 如免疫激活),  $\dot{z}^e(t)$  表示  $z^e$  的时间导数。函数形式明确为  $f^e: R^E \times R^A \rightarrow R^E$ , 但未知参数  $\theta^e$  (例如, 系数) 需要根据数据估计。

**3.2 延迟潜在混合模型** 药理学模型通常在实验室中开发和校准, 专家变量可以直接测量。但在临床实践中, 专家变量难以实时观测, 因此必须建立专家变量  $z^e(t)$  和临床测量值  $y(t)$  之间的联系。为此, 本研究引入额外的潜在变量  $z^m(t) \in R^M$ , 并假设



潜在变量  $z^e$ 、 $z^m$  与可观测的生理变量  $x(t)$  之间存在以下关系:

$$x(t) = g(z^e(t), z^m(t), a(t), z^e(t-\tau), z^m(t-\tau), a(t-\tau); \gamma) \quad (4)$$

其中, 函数  $g: R^{E \times M \times A} \rightarrow R^D$  是 1 个权重为  $\gamma$  的神经网络, 将潜在空间映射到生理空间。

此外, 本研究还假设潜在变量  $z^m(t)$  的动态遵循由  $z^m(t)$ 、 $a(t)$  和  $z^e(t)$ 、和控制的一组 ODEs。

$$z^m(t) = f^m(z^m(t), z^e(t), a(t)z^e(t-\tau), z^m(t-\tau), a(t-\tau); \theta^m) \quad (5)$$

其中, 函数  $f^m: R^{E \times M \times A} \rightarrow R^M$  是 1 个权重为  $\theta^m$  的神经网络。

方程(3) ~ (5)指定了 LHM 的动态。方便起见, 将所有潜在变量的向量写作  $z(t) = [z^e(t)z^m(t)]$ , 将所有系数的集合写作  $\theta = (\theta^e, \theta^m, \gamma, \sigma)$ 。

必须注意, 方程(3)构建的系统并不总存在唯一全局解。在实践中, 药理学模型足够良好以至于全局解存在且是唯一的。

系数  $\theta$  可根据数据训练获得, 然而, 患者的初始状态  $z^e(0)$  仍然未知。初始状态的变化反映了患者群体的异质性。如果已知  $\theta$  和  $z^e(0)$ , 给定治疗的整个轨迹可以(数值上)计算。本研究假设噪声/误差  $\varepsilon_i$  是独立的, 得到

$$y_i[t_0, T] y_i[0, T_0] | z_i(0), A_i[t_0, T], \theta, \forall t_0 < T \quad (6)$$

然而, 因为初始状态未知, 它必须从测量值  $y_i(t)$  中训练。

如果省略专家变量, DLHM 将简化为 NPCDDEM<sup>[22]</sup>。前人的研究<sup>[1-5]</sup>结果显示, 纳入专家先验知识是可取的, 能够改善动态系统模型的性能。此外, 本研究引入延迟效应的方法是 1 种在模型设计中添加关于动态系统的高级先验信息的形式。

## 4 模型训练和预测

本研究直接采用摊余变分推断(amortized variational inference, AVI)进行模型训练, 以便在引入延迟效应与未引入延迟效应的模型之间进行公平比较。具体细节见附录。

## 5 结 果

**5.1 数据集** 本研究延用了 Qian 等<sup>[1]</sup>使用的数据集, 生成了变量数  $D = 20$  的数据集  $x$ , 并根据  $x$  中的变量数量, 将未建模状态设置为  $M = D/10 = 2$ , 专家变量数设置为 5 ( $E = 5$ )。根据 COVID-19 患者的中位住院时间<sup>[24]</sup>, 设置时间范围  $T = 14$  d。之后, 独立生成数据集中的数据点。

**5.2 模型预测** 本研究基于 Qian 等<sup>[1]</sup>使用的 5 种药理学模型, 包括潜在 NODE 模型(Neural)、原始药理学模型 (Expert)、Expert 与 NODE 混合模型 (Ensemble)、残差模型(Residual)和 Qian 等<sup>[1]</sup>构建的 LHM (Hybrid), 在各模型中融合延迟效应构建 DLHM, 并用其预测 COVID-19 患者接收单次地塞米松治疗的结果。预测条件为每位患者  $i$  接受 1 次治疗, 剂量  $d_i \sim [0, 10]$  mg, 时间  $S_i \sim [0, 14]$  d。

**5.3 性能比较** 由于时间和计算资源的限制, 本研究使用 Qian<sup>[1]</sup>等代码库中发布的性能数据, 并只在超参数设置(附录 A.4.2)与 Qian 等<sup>[1]</sup>相同时运行其使用的实验, 共预测 310 个样本。比较预测的均方根误差(root mean squared error, RMSE)和连续分级概率评分 (continuous ranked probability score, CRPS), 以评估融合延迟效应后的 DLHM 模型与 Qian 等<sup>[1]</sup>构建的 LHM 间的性能。

**5.4 实验结果与分析** 研究结果(图 1)显示: 与 Qian 等<sup>[1]</sup>发布的性能数据相比, 在融合延迟效应后, Neural、Expert、Ensemble 和 Residual 模型的 RMSE 和 CPRS 均有所下降, 提示 DLHM 的性能得到显著提升, 超过了在相同训练设置和机器上训练的潜在混合模型(见附录 A.4.2)。用与我们相同的设置运行 Hybrid 模型后, 其 RMSE 和 CPRS 较均 Qian 等<sup>[1]</sup>发布的性能数据有所上升, 这可能是因为 Hybrid 直接平均输出空间中的预测, 而不是推断潜在空间中的潜在变量, 与在预测过程中考虑潜在变量的其他模型(如 LHM)相比, 其性能受到限制。但融合延迟因素后, Hybrid 模型的 RMSE 和 CPRS 较相同设置运行下有所下降。

本研究验证了 DLHM 在预测 COVID-19 患者接受地塞米松治疗后的疾病进展方面的有效性。研究结果强调了在疾病进展和药理动态预测模型中融合延迟因素的重要性。DLHM 模型相较于未考虑延迟因素的其他模型, 在预测准确性和一致性方面展示了显著优势。此外, 本研究证实了考虑治疗效应的时间延迟可以显著提升模型性能, 为未来在此领域的研究提供了新的方向和思路。

## 6 未来工作

随着我们对延迟因素在预测模型中作用的深入了解, 我们未来将集中于探索这些因素在广泛疾病和治疗响应模型中的应用。我们将扩展研究范围, 不局限于 COVID-19, 而是包括临床实践中常见和罕见疾病的进展及药理响应, 以强调在构建预测模型时融合延迟因素的重要性。

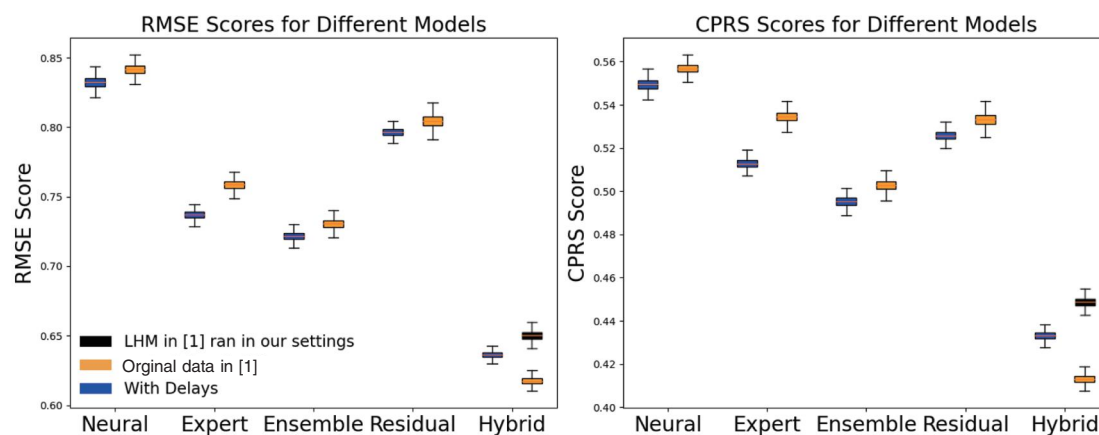


图 1 不同模型的预测性能 ( $t_0 = 5$ ,  $\sigma = 0.2$ )

A: 不同模型的 RMSE; B: 不同模型的 CPRS。RMSE: 均方根误差; CPRS: 连续分级概率评分。

**6.1 数据资源的多元化** 利用全球多个数据库的数据,包括中国的电子医疗记录系统,美国国家生物技术信息中心(NCBI)公共数据库、欧洲生物信息研究所(EBI)数据库及其他国家和地区的健康记录数据库。这些数据库提供了从罕见疾病到常见病的广泛数据,可以在更多样化的数据集上测试和验证研究模型,确保其普适性和可靠性;此外,能够帮助更准确地捕捉不同人群和疾病特征,验证延迟模型在广泛疾病情境下的适用性和有效性。

**6.2 方法学的创新** 我们将探索新的 ODE 形式,包括神经拉普拉斯模型<sup>[25]</sup>,以及连续时间变换器(ContiFormer)<sup>[26-27]</sup>等创新模型结构,期望能够更深入地理解和模拟疾病进展和药理动态中的延迟效应,特别是对于那些具有复杂历史依赖性的生物系统。

**6.3 跨疾病领域的应用** 验证融合延迟因素在疾病模型中的预测性能,覆盖心血管疾病、癌症、神经系统疾病等多个领域,以提升模型的普适性和准确性,为临床决策提供强有力的支持。

本研究首次在专家系统和纯 ML 结合的模型中融合延迟因素,构建了融合延迟因素的疾病进展和药理动态预测模型,并证实了延迟因素在疾病进展和药理动态预测模型中的重要。这不仅将推动预测模型技术的发展,还可促进模型在实际临床环境中的应用,为全球患者提供更准确、更个性化的治疗方案。

**伦理声明** 本研究延用了 Qian 等<sup>[1]</sup>使用的数据集,严格按照数据保护法规处理和存储个人数据。

**利益冲突** 所有作者声明不存在利益冲突

**作者贡献** 徐成喜:项目负责人,负责研究的概念设计和研究方案的制定、数据分析、论文初稿撰写和稿件审阅。张健:数据分析、论文图表设计、写作和修订。姚佳烽:数据分

析、结果解释、论文审阅和校对。

#### 参考文献

- [1] QIAN Z Z, ZAME W R, FLEUREN L M, et al. Integrating expert ODEs into neural ODEs: pharmacology and disease progression [EB/OL]. (2021-06-05) [2024-01-02]. <http://arxiv.org/abs/2106.02875>.
- [2] LIU D H, WANG Y. Multi-fidelity physics-constrained neural network and its application in materials modeling [J]. J Mech Des, 2019, 141(12): 121403.
- [3] WANG J X, WU J L, XIAO H. Physics-informed machine learning approach for reconstructing Reynolds stress modeling discrepancies based on DNS data [J]. Phys Rev Fluids, 2017, 2(3): 034603.
- [4] XU T F, VALOCCHI A J. Data-driven methods to improve baseflow prediction of a regional groundwater model[J]. Comput Geosci, 2015, 85(PB): 124-136.
- [5] YAO K, HERR J E, TOTH D W, et al. The TensorMol-0.1 model chemistry: a neural network augmented with long-range physics[J]. Chem Sci, 2018, 9(8): 2261-2269.
- [6] HETHCOTE H W, LEWIS M A, VAN DEN DRIESSCHE P. An epidemiological model with a delay and a nonlinear incidence rate[J]. J Math Biol, 1989, 27(1): 49-64.
- [7] HETHCOTE H W, VAN DEN DRIESSCHE P. An SIS epidemic model with variable population size and a delay[J]. J Math Biol, 1995, 34(2): 177-194.
- [8] SHAMPIRE L F. Quadrature and runge-kutta formulas [J]. Appl Math Comput, 1976, 2(2): 161-171.
- [9] MARCHUK G I. Mathematical modelling of immune response in infectious diseases[M]. Dordrecht: Springer Netherlands, 1997.
- [10] NELSON P W, MURRAY J D, PERELSON A S. A model of HIV-1 pathogenesis that includes an intracellular delay [J]. Math Biosci, 2000, 163(2): 201-215.
- [11] PAWELEK K A, LIU S Q, PAHLEVANI F, et al. A model of HIV-1 infection with two time delays: mathematical analysis and comparison with patient data [J]. Math Biosci, 2012, 235(1): 98-109.

- [12] MACKEY M C, GLASS L. Oscillation and chaos in physiological control systems[J]. *Science*, 1977, 197(4300): 287–289.
- [13] YUAN J L, WANG L, ZHANG X, et al. Parameter identification for a nonlinear enzyme-catalytic dynamic system with time-delays[J]. *J Glob Optim*, 2015, 62(4): 791–810.
- [14] HOLFORD N. Pharmacodynamic principles and the time course of delayed and cumulative drug effects [J]. *Transl Clin Pharmacol*, 2018, 26(2): 56–59.
- [15] BOCHAROV G A, RIHAN F A. Numerical modelling in biosciences using delay differential equations [J]. *J Comput Appl Math*, 2000, 125(1/2): 183–199.
- [16] COOKE K L, WIENER J. A survey of differential equations with piecewise continuous arguments [M]//*Lecture Notes in Mathematics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1991: 1–15.
- [17] CARVALHO L A V, COOKE K L. A nonlinear equation with piecewise continuous argument [J]. *Differential Integral Equations*, 1988, 1(3): 359–367.
- [18] JAYASREE K N, DEO S G. On piecewise constant delay differential equations[J]. *Math Anal Appl*, 1992, 169(1): 55–69.
- [19] CHEN R T Q, RUBANOVA Y, BETTENCOURT J, et al. Neural ordinary differential equations[EB/OL]. (2018–06–19) [2024–01–02]. <http://arxiv.org/abs/1806.07366>.
- [20] DANHOF M. Systems pharmacology-towards the modeling of network interactions[J]. *Eur J Pharm Sci*, 2016, 94: 4–14.
- [21] ZHU Q X, GUO Y, LIN W. Neural delay differential equations [EB/OL]. (2021–02–22) [2024–01–02]. <http://arxiv.org/abs/2102.10801>.
- [22] ZHU Q X, SHEN Y F, LI D S, et al. Neural piecewise-constant delay differential equations [J]. *Proc AAAI Conf Artif Intell*, 2022, 36(8): 9242–9250.
- [23] JI X, MOLNÁR T G, AVEDISOV S S, et al. Feed-forward neural network with trainable delay [C]. *2nd Conference on Learning for Dynamics and Control*, 2020.
- [24] REES E M, NIGHTINGALE E S, JAFARI Y, et al. COVID-19 length of hospital stay: a systematic review and data synthesis [J]. *BMC Med*, 2020, 18(1): 270.
- [25] HOLT S, QIAN Z Z, VAN DER SCHAAR M. Neural Laplace: learning diverse classes of differential equations in the Laplace domain [EB/OL]. (2022–06–10) [2024–01–02]. <http://arxiv.org/abs/2206.04843>.
- [26] CHEN Y Q, REN K, WANG Y S, et al. ContiFormer: continuous-time transformer for irregular time series modeling [EB/OL]. (2024–02–16) [2024–01–02]. <http://arxiv.org/abs/2402.10635>.
- [27] VASWANI A, SHAZEER N, PARMAR N, et al. Attention is all you need [EB/OL]. (2017–06–12) [2024–01–02]. <http://arxiv.org/abs/1706.03762>.
- [28] KHADER S A, DIVANGAHI M, HANEKOM W, et al. Targeting innate immunity for tuberculosis vaccination [J]. *J Clin Invest*, 2019, 129(9): 3482–3491.
- [29] KRAMER W G, LEWIS R P, COBB T C, et al. Pharmacokinetics of digoxin: comparison of a two- and a three-compartment model in man [J]. *J Pharmacokinet Biopharm*, 1974, 2(4): 299–312.
- [30] METZLER C M. Usefulness of the two-compartment open model in pharmacokinetics[J]. *J Am Stat Assoc*, 1971, 66: 49–53.
- [31] National Institutes of Health. Therapeutic management of hospitalized adults with COVID-19 [EB/OL]. (2021–05–26) [2024–01–02]. <https://www.covid19treatmentguidelines.nih.gov/therapeutic-management/>.
- [32] KINGMA D P, WELING M. Auto-encoding variational bayes [EB/OL]. (2013–12–20) [2024–01–02]. <https://arxiv.org/abs/1312.6114>.
- [33] HIGGINS I, MATTHEY L, PAL A, et al. Beta-VAE: learning basic visual concepts with a constrained variational framework [C]. *International Conference Learning Representations 2017*, 2022.
- [34] HOLFORD N, HEO Y A, ANDERSON B. A pharmacokinetic standard for babies and adults[J]. *J Pharm Sci*, 2013, 102(9): 2941–2952.
- [35] LEE M D, VANPAEMEL W. Determining informative priors for cognitive models [J]. *Psychon Bull Rev*, 2018, 25 (1): 114–127.
- [36] KATZUNG B G, MASTERS S B, TREVOR A J. Basic & clinical pharmacology 12th edition[M]. Mc-Graw Hill Medical, 2013.
- [37] ZHANG C, BÜTEPAGE J, KJELLSTRÖM H, et al. Advances in variational inference[J]. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 2019, 41(8): 2008–2026.
- [38] RUBANOVA Y, CHEN R T Q, DUVENAUD D K. Latent ordinary differential equations for irregularly-sampled time series[C]. *Neural Information Processing Systems*, 2019.

## 引用本文

徐成喜, 张 健, 姚佳烽. 基于专家系统和神经常微分方程的延迟混合模型构建[J]. 元宇宙医学, 2024, 1(1):59–65.  
XU C X, ZHANG J, YAO J F. Delayed hybrid model based on expert system and neural ordinary differential equation [J]. *Metaverse Med*, 2024, 1(1):59–65.



## 附录

## A.1 地塞米松的药理学模型

我们使用的专家常微分方程 (ODE) 改编自 Kasia 等<sup>[17]</sup>。它涉及 5 个专家变量  $z_1$  至  $z_5$  (为简洁起见省略上标 e)。 $z_1$  代表对病毒感染的天然免疫反应 (在实验室中使用 I 型干扰素测量<sup>[28]</sup>)。 $z_2$  和  $z_3$  分别代表肺组织和血浆中地塞米松的浓度。 $z_4$  代表病毒载量, $z_5$  代表适应性免疫反应 (在实验室中使用细胞毒性 T 细胞测量)。

描述这些变量的专家模型基于专业知识和实验室实验开发。首先,免疫反应和病毒复制被建模为:

$$\begin{aligned}\dot{z}_1 &= k_{IR} \cdot z_4 + k_{IP} \cdot z_4 \cdot z_1 - k_0 \cdot z_1 + \frac{E_{\max} \cdot z_1^{hp}}{EC_{50}^{hp} + z_1^{hp}} \\ &\quad - k_{Dex} \cdot z_1 \cdot z_2 \\ \dot{z}_4 &= k_{DP} \cdot z_4 - k_{IR} \cdot z_4 \cdot z_1 - k_{DC} \cdot z_4 \cdot z_5^{hc} \\ \dot{z}_5 &= k_1 \cdot z_1\end{aligned}$$

$\dot{z}_1$  计算了对病毒的初始免疫反应、生理正反馈、免疫细胞死亡、病理正反馈以及地塞米松的效果<sup>[17]</sup>。 $\dot{z}_4$  计算了病毒复制以及先天和适应性免疫系统对病毒的影响。 $\dot{z}_5$  捕获了由天然免疫反应触发的适应性免疫反应。未知系数  $k_{IR}$ 、 $k_{IP}$ 、 $k_0$ 、 $E_{\max}$ 、 $h_p$ 、 $k_{Dex}$ 、 $k_{DP}$ 、 $k_{IR}$ 、 $k_{DC}$ 、 $h_c$  是正实数。

地塞米松的浓度 ( $z_2, z_3$ ) 由一个标准的双室药代动力学模型<sup>[29-30]</sup>描述:

$$\begin{aligned}\dot{z}_2 &= -k_2 \cdot z_2 + k_3 \cdot z_3 \\ \dot{z}_3 &= -k_3 \cdot z_3\end{aligned}$$

系数  $k_2, k_3$  是正实数。在文献<sup>[22]</sup>中,通常假设在  $t = 0$  时给予治疗以简化计算,血浆浓度  $z_3(0)$  对应剂量。由于血浆浓度  $z_3$  随时间指数衰减,我们可以将其等效地表示为指数之和: $z_3(t) = \sum_i d_i \cdot 1(t > t_i) \cdot \exp(k_3(t_i - t))$ , 当剂量  $d_i$  在时间  $t_i$  给出,  $i \geq 1$ 。函数  $I$  是一个指示函数。

## A.2 独立和信息性先验

初始条件  $z(0)$  对应于患者进入 ICU 时的状态。由于地塞米松通常在患者 ICU 住院期间使用<sup>[31]</sup>, 因此入院时其浓度应无限接近于零。因此,我们使用速率  $\lambda = 100$  的指数分布作为  $z_2(0)$  和  $z_3(0)$  的先验。另一方面,不同患者的免疫反应和病毒载量可能存在很大差异。为了允许更多的异质性,我们使用速率  $\lambda = 0.1$  的指数分布作为  $z_1(0)$ 、 $z_4(0)$  和  $z_5(0)$  和的先验。指数分布具有正向作用,可反映专家变量的积极性。

由于观察可能难以准确确定潜在变量  $z^e$  的确切值 (如出现测量噪声或抽样不规则)。因此,我们使用贝叶斯推断来量化围绕  $z^e$  的不确定性。在接下来的部分,我们假设患者的初始状态  $z_i(0)$  独立地从先验分布  $z_i(0) \sim P_0$  采样。值得注意的两点是:

(1) 独立先验。我们对专家变量  $z^e$  和潜在变量  $z^m$  使用独立先验分布,即  $P(z(0)) = P(z^e(0)) \times P(z^m(0))$ 。这保证了中的信息不会重复中的 (任何) 信息,这体现了我们的理念:潜在变量是专家变量的增量。此外,独立先验也常用于贝叶斯潜变量模型,例如变分自动编码器 (VAEs)<sup>[32-33]</sup>。

(2) 信息先验。专家变量  $P(z^e(0))$  的先验分布应反映领域知识。这些知识通常可以从以前的药理学研究中获得<sup>[34]</sup>。使用信息丰富的先验往往可以改善潜在变量的估计,特别是在小样本设置中<sup>[35]</sup>。此外,专家变量通常取特定范围内的值 (例如  $[0, 10]$ <sup>[36]</sup>), 超出有效范围可能会导致发散。信息先验可以对此类先验知识进行编码以稳定训练。

## A.3 通过摊余变分推理进行模型训练和预测

给定训练数据集  $D = \{(y_i[0, T], A_i[0, T])\}_{i \in [N]}$ , 我们使用摊余变分推理 (AVI) 来估计全局参数  $\Theta$  和未知初始条件  $z_i(0)$ <sup>[37]</sup>。我们首先学习变分分布来近似后验  $P(z_i(0)|y_i[0, T], A_i[0, T])$ 。按照 AVI<sup>[32, 37]</sup> 中的标准,我们使用具有对角协方差矩阵的正态分布作为近似值:

$$Q(z_i(0)|y_i[0, T], A_i[0, T]) = N(\mu_i, \Sigma_i); \mu_i, \Sigma_i = e(y_i[0, T], A_i[0, T]; \phi) \quad (7)$$

参数  $\mu_i, \Sigma_i$  由推理网络 (也称为编码器)  $e$  和可训练权重  $\phi$  生成。当上下文清楚时,我们将方程 (7) 定义的变分分布表示为  $Q_\phi$ 。全局参数  $\Theta$  和推理网络参数  $\phi$  的证据下界 (ELBO) 定义为:

$$ELBO(\Theta, \phi) = E_{z(0) \sim Q_\phi} [\log P(y_i[0, T]|A_i[0, T], z(0), \Theta)] - KL[Q_\phi|P_0]$$

为了计算给定  $\theta$  和  $\phi$  的 ELBO,我们对  $z(0) \sim Q_\phi$  进行采样,并数值求解 ODE 以获得  $z(t)$ ,  $\forall t \in [0, T]$ 。然后,我们使用映射  $g$  和噪声分布计算内部对数似然函数 [方程 (1) 和 (4)]。最后,我们使用蒙特卡罗采样来评估 KL 散度项:  $E_{z(0) \sim Q_\phi} [\log Q_\phi(z(0))] - \log P_0(z(0))$ 。

这是因为信息丰富的先验可能不具有分析性 KL 散度 (与之前的工作中使用的标准正态先验不同<sup>[32, 38]</sup>)。我们通过随机梯度上升来优化 ELBO,并以端到端的方式联合更新所有参数。

预测过程遵循与上文相同的步骤。对于历史为

$y_i[0, t_0], A_i[0, t_0]$  的新患者, 我们首先使用经过训练的编码器估计变分后验  $Q_\phi$ 。根据式(6), 我们可以将式(2)中的目标分布估计为:

$E_{z(0)} \sim Q_{\phi_i} [P(y(t)|z(0), A_i[0, t_0], A_i[t_0, T])], \forall t > t_0$   
其中  $A_i[t_0, T]$  是未来的治疗计划。外部期望可以通过  $Q_\phi$  的蒙特卡罗采样来近似, 内部概率由似然函数给出。

上述训练过程与变分分布和编码器架构的准确选择无关。我们选择正态分布来与之前的工作进行比较<sup>[1]</sup>。出于同样的原因, 我们使用反向时间感知 LSTM 编码器。

#### A.4 模拟研究

**A.4.1 数据生成细节** 我们生成了各种数据集来评估不同场景下的模型性能。为了评估临床测量的数量如何影响性能, 我们生成了  $D = 20, 40$  或  $80$  个可测量生理变量  $x$  的数据集。对于药理学模型, 我们使用附录 A.1 中提供的模型, 其中涉及  $5$  个相互关联的变量 ( $E = 5$ )。我们设置系数  $h_p = h_c = 2$ , 其余为  $1$ 。

对于每个数据集, 我们根据观察到的生理变量的数量将未建模状态的数量分别设置为  $M = D/10 = 2, 4$  或  $8$  (为了反映大量的生理变量通常需要大量的未建模状态)。未建模状态由非线性 ODE 控制。

$$z_i^m = \tanh(W_1 z_i^m + W_2 z_i^e)$$

系数矩阵  $W_1 \in R^{M \times M}, W_2 \in R^{M \times M}$ 。对于每个数据集, 我们对这些矩阵中的条目按  $N(0, 1)$  的分布进行采样。

对于每个患者  $i$ , 其初始条件  $z_i(0)$  的每个分量

均独立地从速率  $\lambda = 100$  的指数分布中得出 (此分布也作为先验分布提供给算法)。我们考虑的时间范围为  $T = 14$  d; 这是 COVID-19 患者的中位住院时间<sup>[19]</sup>。

每个患者  $i$  将在某个时间接受剂量为的一次性地塞米松治疗, 其中剂量  $d_i \sim [0, 10]$  mg, 时间  $s_i \sim [0, 14]$  d。

真正的生理变量是由  $x_i = W_3 z_i + W_4 a_i$  生成。

系数矩阵  $W_3 \in R^{X \times (M+E)}, W_4 \in R^{X \times 1}$ 。对于每个数据集, 这些矩阵中的每个元素都是独立地从  $1$  个  $N(0, 1)$  分布中绘制的, 然后乘以  $p = 0.5$  的伯努利变量, 以便每个矩阵  $W_3, W_4$  中大约一半的元素为  $0$  (我们这样做是为了反映每个生理变量仅与某些潜在变量相关的想法)。测量结果表示为  $y_i(t) = x_i(t) + \varepsilon_{it}$ , 其中测量噪声按照公式(1), 用独立的正态分布  $\varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma^2)$  来描绘,  $\sigma$  的取值为  $0.2, 0.4, 0.8$ 。我们首先模拟  $t = 1, 2, \dots, T$  所有日的测量值, 然后以  $0.5$  的概率随机移除测量值, 以代表测量是不规律进行的这一事实。

**A.4.2 超参数设置** 学习率  $0.01$ ; 批量大小  $50$ ; 最大迭代次数  $400$ ; NODE 中的潜变量数目  $Z = 20 + 6$ ; LHM 中的 ML 潜变量数目  $M = 6$ ; NODE 中的潜空间维度  $2$ ; NODE 中的层数  $2$ ; ODE 求解器 Adams。

#### A.5 计算资源

模拟是在配备 Nvidia GeForce RTX 3080Ti GPU 的远程服务器上执行的。所有模拟(包括测试新代码和最终实验)花费了  $50$  多个小时。

· 消 息 ·



### Clinical eHealth 英文杂志简介

在 2024 年的新年钟声敲响之际, *Clinical eHealth* (CEH) 在主编白春学教授、Niels H. Chavannes 教授与其他编委、作者、读者及合作伙伴的支持和帮助下, 学术影响力越来越大, 2023 年 12 月 Cite Score 达到了 7.2。随着国际元宇宙医学协会 (IAMM) 在美国成功注册, CEH 被定为该协会的官方期刊。白春学教授团队的 *Expert consensus on the metaverse in medicine* 仍然受到极大关注, 下载已超过 3 万次, 同时获得 2023 年度科爱杂志社高被引文章之一。

在《元宇宙医学》创刊之际, CEH 团队衷心预祝《元宇宙医学》蒸蒸日上, 与我们一同推动全球元宇宙医疗, 发挥“物联健康, 元医惠众”之重任!

Clinical eHealth 杂志社

# 如何制定元宇宙医学共识指南?

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]** 随着元宇宙医学的研究和应用,制定其相关的共识指南也被推上日程。但是,由于元宇宙医学是一新生事物,必须兼顾其特殊性,才能制定兼具创新性、科学性、实用性和惠众性的共识指南。为此,要达到这一目标,需要考虑以下几个方面,(1)跨学科融合:元宇宙医学本身是医学与信息技术、人工智能(artificial intelligence, AI)等多个学科的交叉融合产物,因此,在制定元宇宙医学共识指南过程中需要吸收多学科专家的意见和建议,确保其全面性和专业性。这种跨学科融合的特点使得共识指南在内容上具有独特性和复杂性。(2)技术创新性:元宇宙医学关注的核心技术,如虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、混合现实(MR)和拓展现实(XR),都是近年快速发展的创新技术,目前在医学领域的应用尚处于探索阶段。因此共识指南需要关注最新技术动态,为相关研究和实践提供前沿指导。(3)应用场景多样性:元宇宙医学涉及的应用场景非常广泛,包括医学教育、预防保健、临床诊断、治疗干预和康复管理等各个环节,这使得共识指南在编制过程中需要考虑不同场景下的实际需求和技术挑战,提供针对性的解决方案和建议。(4)法规伦理要求:由于元宇宙医学涉及患者隐私和数据安全等敏感问题,因此在制定共识指南时需要充分考虑相关法规伦理要求,明确数据收集、处理、存储和传输等环节的合规性要求,保障患者隐私和数据安全。综上,元宇宙医学共识指南的特殊性主要体现在跨学科融合、技术创新性、应用场景多样性和法规伦理要求等方面。这些特殊性使得在编制过程中需要更加谨慎和全面,以确保其科学性和实用性。

**[关键词]** 元宇宙; 元宇宙医学; 共识; 指南

**[中图分类号]** R-0 **[文献标志码]** A

## How to generate consensuses and guidelines for metaverse in medicine?

BAI Chunxue\*

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

**[Abstract]** Along with the research and application of metaverse in medicine, the development of consensus and guidelines has also been pushed to the agenda. However, since metaverse in medicine is a new thing, it is necessary to consider its particularity to formulate consensus and guidelines that are innovative, scientific, practical, and beneficial to the public. To achieve this, the following aspects need to be considered, (1) interdisciplinary integration: metaverse in medicine is a product of the cross-integration of medicine, information technology, artificial intelligence and other disciplines. Therefore, in the process of formulating consensus and guidelines for metaverse in medicine, it is necessary to absorb the opinions and suggestions of multidisciplinary experts to ensure their comprehensiveness and professionalism. This interdisciplinary integration makes the consensus and guidelines unique and complex in content. (2) Technological innovation: the core technologies that the metaverse in medicine focus on, such as virtual reality (VR), augmented reality (AR), mixed reality (MR), and extended reality (XR), are all innovative technologies that have developed rapidly in recent years, and their applications in the medical field are still in the exploratory stage. Therefore, consensus and guidelines need to pay attention to the latest technological trends and provide cutting-edge guidance for related research and practice. (3) Diversity of application scenarios: the metaverse in medicine covers a wide range of application scenarios, including medical education, preventive health care, clinical diagnosis, treatment intervention, and rehabilitation management, which makes it necessary to consider the actual needs and technical challenges in different scenarios in the process of compiling the consensus and guidelines, and provide targeted solutions and suggestions. (4) Regulatory and ethical requirements: since metaverse in medicine involves sensitive issues such as

**[收稿日期]** 2024-03-15

**[接受日期]** 2024-03-24

**[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



patient privacy and data security, it is necessary to fully consider the ethical requirements of relevant regulations when formulating consensus and guidelines. Consensus and guidelines need to clarify compliance requirements for data collection, processing, storage, and transmission to ensure patient privacy and data security. To sum up, the particularity of the consensus and guidelines for metaverse in medicine is mainly reflected in interdisciplinary integration, technological innovation, diversity of application scenarios, and regulatory and ethical requirements. These particularities make it necessary to be more cautious and comprehensive in the compilation process to ensure its scientific and practical nature.

[Key Words] metaverse; metaverse in medicine; consensus; guideline

基于物联网医学基础<sup>[1-6]</sup>,我们早已洞察了数字技术与医学结合的发展趋势,及其引领时代发展潮流的可能性。为此,我在 2022 年 2 月率先成立了国际元宇宙医学协会(IAMM)和联盟<sup>[7]</sup>,并于 2022 年在 *Clinical eHealth* 牵头发表了元宇宙医学专家共识<sup>[8]</sup>。截至 2024 年 2 月,该共识下载已超过 3 万次,引用 140 余次,当年即获得了 Scopus 数据库的首个 Cite Score 5.2 分,2023 年 12 月 Cite Score 增长到了 7.2 分。IAMM 已正式将 *Clinical eHealth* 定为该协会官方期刊。很多有识之士,也开展了元宇宙医学及其相关的技术,如医学数字人 GPT 研究和推广<sup>[9-14]</sup>。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。本刊旨在同广大医药卫生和 IT 人员一道,深刻和全面地探讨如何更广泛地应用强大的数字技术促进医学发展,更好地服务医疗和大健康。

为做好这一工作,制定元宇宙医学共识指南已成当务之急。因为在元宇宙医疗环境下,“以专家为中心、医院为重点”的医疗模式将从根本上转变为“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<sup>[8-9]</sup>。也只有元宇宙医学才能赋能医生做到“他人不会做的,他人做不好的,对大众最有利的”,实现“名医治未病,元医惠众生”的愿景。但是,如何保障元宇宙医学安全有效地赋能这一愿景,亟须要相应的利器,正所谓“工欲善其事,必先利其器”。因为这一利器即是元宇宙医学,为保证元宇宙技术安全高效地赋能医疗大健康,制定元宇宙医疗相关的共识指南是当务之急。

如何制定元宇宙医学共识指南?我们需要遵循科学、严谨、实用的原则,确保指南的权威性、指导性和可操作性。应该注重以下关键步骤<sup>[8-10]</sup>:(1)明确目标与范围;(2)组织专家团队;(3)收集与分析资料;(4)制定初步共识;(5)征求意见与反馈;(6)完善与发布。在制定过程中,还需要注意保持开放与包容。因为元宇宙医学是新兴领域,涉及多学科的交叉融合,只有保持开放和包容的态度,才能充分

吸收各方面的意见和建议。此外,还应注重实用性与可操作性,由此才能为元宇宙医学的实际应用提供具体的指导和建议。不断更新与完善,随着元宇宙医学的不断发展和进步,指南也需要不断更新和完善,以适应新的需求和挑战。

## 1 明确目标与范围

在制定元宇宙医学共识指南时,确定目标和范围是核心任务之一,它确保了整个共识指南制定过程的针对性和实用性<sup>[15-18]</sup>。

1.1 文献回顾 通过系统回顾和分析相关领域的文献,可以了解当前的研究现状、知识缺口和实践问题。这有助于确定共识指南需要解决的关键问题和目标,以及应该包括或排除的内容范围。

1.2 利益相关者咨询 利益相关者包括患者、医疗专业人员、政策制定者、支付方等。通过问卷调查、访谈或焦点小组讨论等方式,收集他们的意见、需求和期望。这有利于确保共识指南的目标和范围,以及与利益相关者的实际需求相契合。

1.3 专家小组讨论 组建由该领域专家组成的指导委员会或小组。通过面对面的会议或在线讨论,应用专家的知识和经验来确定共识指南的关键目标和范围。专家小组还可以帮助识别潜在的争议点和解决方案。

1.4 预定义标准或框架 制定共识指南的机构或组织可能已经先有 1 套预定义的标准或框架,便于指导目标和范围的确定。在此情况下,可以参考这些标准或框架,并根据具体情况进行调整。

1.5 案例分析 分析类似共识指南或政策的案例,了解其在确定目标和范围时的做法和经验教训,以便为当前共识指南的制定提供有益的参考和启示。

1.6 形成初步草案和反馈 在初步确定目标和范围后,可以形成 1 个初步的草案。再将这个草案分发给利益相关者或专家进行审查和反馈,以便进一步调整和完善。通常,这些方法不是孤立的,而是可以相互结合,以确保最终确定的目标和范围既全面

又具体,能够满足共识指南制定的需求。

**1.7 元宇宙医学特殊性** 元宇宙医学共识指南的目标包括以下几个方面:(1)明确元宇宙医学的定义、基本原则和核心技术<sup>[8-9]</sup>,为相关领域的研究者和实践者提供统一的认知和操作标准。(2)探索元宇宙技术在医学教育、科普、预防、诊断、治疗、康复等各个环节的应用场景和最佳实践,提高医疗服务的效率和质量。(3)推动虚拟仿真、增强现实、混合现实等元宇宙技术与医学的深度融合,以便实现病症的可视化、智能诊疗和名医惠众等创新应用。(4)构建安全、可靠和高效的元宇宙医学平台,保障患者隐私和数据安全,提升医疗健康服务的可信度和满意度。元宇宙医学共识指南可涵盖医学领域中与元宇宙技术相关的各个方面,包括且不限于医学教育、预防保健、临床诊断、治疗干预、康复管理等。同时,共识指南也适用于与元宇宙技术相关的医疗器械、设备、系统的研发和应用,以及与此相关的数据处理、隐私保护等法律法规的遵守和执行。总的来说,元宇宙医学共识指南旨在为相关领域的研究者、从业者和管理者提供指导和参考,推动元宇宙医学的健康有序发展。

## 2 组织专家团队

在制定共识指南时,组建专家团队是关键步骤,具体的方法可以根据实际情况和目标需求灵活选择。

**2.1 组建专家团队** 常见的组建专家团队的方法<sup>[16-19]</sup>包括以下方面。

(1)直接邀请法:根据共识指南制定的主题和范围,邀请相关领域的知名专家加入团队。通常需要这些专家具有丰富的实践经验和专业知识,在行业内享有较高声誉。

(2)公开招募法:通过公开渠道发布招募信息,吸引符合条件的专家报名参加。公开招募法可扩大团队的选择范围,增加多样性和新鲜血液,同时也有助于提高共识指南制定的透明度和公正性。

(3)推荐征集法:邀请现有专家推荐其他合适的专家加入团队,以确保团队能够全面、客观地应对共识指南制定过程中的各种问题和挑战。同时,还需要建立有效的沟通机制和合作平台,促进团队成员之间的交流和协作,确保共识指南制定工作的顺利进行。

**2.2 制定元宇宙医学共识指南专家选择** 元宇宙医学共识指南的专家团队应该包括以下几类人员<sup>[18-10]</sup>。(1)医学专家:包括各个医学领域的临床医

生、医学研究人员等,需要他们具有深厚的医学理论知识和实践经验,能为指南提供准确的医学信息和专业建议。(2)信息技术专家:元宇宙医学涉及到大量的信息技术,包括虚拟现实、增强现实、混合现实等技术,因此需要信息技术专家参与,提供技术支持和解决方案。(3)AI专家:AI技术在元宇宙医学中也扮演着重要角色,AI专家能够为指南提供最新的技术动态和应用前景。(4)跨学科研究人员:元宇宙医学是医学与多个学科的交叉融合产物,因此还需要包括其他相关学科的研究人员,如生物学、物理学、心理学等,以确保指南的跨学科性和综合性。(5)法律和伦理专家:元宇宙医学涉及到许多法律和伦理问题,如患者隐私保护、数据安全等,因此需要法律和伦理专家参与,确保指南符合相关法律法规和伦理要求。总之,元宇宙医学共识指南的专家团队应该是多元化的,包括医学、信息技术、AI、跨学科研究以及法律和伦理等多个领域的专业人员,以确保指南的科学性、全面性和实用性。

## 3 系统评价与收集证据

在制定共识指南时,系统评价与证据收集的方法多种多样,但通常可以归纳为以下几种。

**3.1 文献回顾法** 这是最基本也是最常用的方法<sup>[15, 18-19]</sup>。通过检索和阅读大量与主题相关的文献,对研究领域内的知识进行全面梳理和评价。这种方法可以帮助制定者了解当前领域的研究现状、主要观点和争议点。

**3.2 系统评价/Meta分析** 这是1种更为系统和严谨的评价方法<sup>[20]</sup>,通常包括明确的研究问题、全面的文献检索、严格的研究筛选和质量评价、数据提取和合成等步骤。Meta分析可以对多个研究结果进行统计合并,从而得出更为精确和可靠的结论。

**3.3 德尔菲法(Delphi method)** 这是1种专家咨询方法<sup>[15]</sup>,通过多轮匿名问卷调查,收集专家意见并逐步形成共识指南。德尔菲法适用于那些缺乏明确证据或存在争议的问题,可以通过专家的经验 and 判断来弥补证据的不足。

**3.4 共识指南会议法** 这是1种集体讨论和决策的方法<sup>[18-19]</sup>。通过组织相关领域的专家召开会议,对特定问题进行深入讨论和交流,最终形成共识指南。这种会议法可以促进不同观点之间的碰撞和融合,有助于形成更全面和更具创造力的决策。

**3.5 现场调查法** 当需要了解实际情况或收集一手数据时,可以采用现场调查法<sup>[17]</sup>。通过观察和访谈等方式收集数据,然后对数据进行整理和分析,以

支持系统评价和共识指南制定。

**3.6 收集与分析资料的特殊性** 在制定元宇宙医学共识指南时,收集与分析资料的特殊性主要应注重以下几方面<sup>[16-19]</sup>。(1)资料类型多样:元宇宙医学涉及多个学科和技术领域,因此需要收集的资料类型非常多,包括医学文献、技术文档、市场报告、用户反馈等。这些资料需要从不同角度和层面来反映元宇宙医学的发展状况和应用前景。(2)数据处理复杂:由于元宇宙医学涉及大量数据,包括患者信息、诊疗数据、技术参数等,需要对这些数据进行深入分析和处理。这需要使用专业的数据处理工具和方法,以确保数据的准确性和可靠性。(3)实时更新需求:元宇宙医学是1个快速发展的领域,新的技术和应用不断涌现。因此,收集和分析资料时需要关注最新动态,及时更新和完善相关信息,以确保指南的时效性和前瞻性。(4)跨学科合作:元宇宙医学共识指南的制定需要多学科专家的共同参与和合作。在收集和分析资料时,需要充分应用各领域专家的知识和经验,进行跨学科交流和讨论,以确保指南的全面性和专业性。(5)遵守伦理法规:在收集和分析涉及患者隐私、数据安全等敏感问题的资料时,需要严格遵守相关伦理法规 and 规定。这需要对收集的资料进行严格的保密处理,确保患者权益和数据安全。

## 4 制定初步共识指南

在制定共识指南时,有多种撰写和修订草案的方法<sup>[19-20]</sup>。

**4.1 撰写草案方法** (1)循证方法:基于现有的最佳证据撰写草案内容。系统地检索、评估和综合相关研究,确保草案的科学性和准确性。

(2)专家共识指南法:召集相关领域的专家,通过讨论和投票达成初步共识指南。专家的意见和经验被整合到草案中,特别适用于缺乏明确证据的领域。

(3)混合方法:结合循证方法和专家共识法,既考虑研究证据又吸纳专家意见。适用于需要在科学性和实用性之间找到平衡的情况。

(4)案例分析法:基于实际案例来构建草案内容。通过分析成功案例或失败教训,提取出最佳实践或需要避免的问题。

(5)迭代法:初步撰写1个基础版本的草案。通过多次反馈和修订循环,逐步完善草案内容。

**4.2 修订草案方法** (1)逐点反馈法:将草案分发给审稿人或利益相关者,收集反馈意见。根据反馈逐点修订,确保所有意见都得到充分考虑。

(2)工作小组讨论法:组建1个工作小组,集中讨论草案中存在的问题和需要改进的地方。通过小组讨论达成统一意见,并进行相应的修改。

(3)公开评论法:将草案公开,邀请更广泛的受众提供意见和建议。收集并分析公开评论,对草案进行必要的修订。

(4)德尔菲法<sup>[15]</sup>:通过几轮匿名的问卷调查,收集专家对草案的独立意见。汇总每轮意见反馈给专家修改,直到达到一定的共识指南水平。

(5)试点测试法:在小范围内实施草案,收集实际使用者的反馈。根据试点测试结果对草案进行修订,以提高其实用性和接受度。以上方法可以单独使用,也可以根据需要组合使用。关键是根据共识指南的具体情况和要求,选择最适合的方法来撰写和修订草案。

(6)证观融合法:目前我们已经尝试过的,得到很多专家认可的方法是证观融合法,即在循证医学观点基础上,加上专家观点的方法。我们称其为证观融合法<sup>[18-19]</sup>。在证观融合共识指南制定方法中,“证”是循证医学,“观”是专家观点。有了证观融合方法,我们即可以分秒必争地制定急需的解决医疗大健康问题的共识指南。例如,新冠开始后,在还没有很多证据可以供我们制定共识指南的时候,美国胸科协会和欧洲呼吸协会就成立了证观融合新冠指南专家团队,迅速制定了针对新冠治疗的指南<sup>[19]</sup>。作为2个世界最大呼吸学会,人数最多的呼吸学会制定的共识指南,我也在其中发挥了很重要的作用,成为第一作者。

**4.3 撰写初步共识指南的特殊性** 在制定元宇宙医学共识指南时,制定初步共识的特殊性主要表现在以下几个方面<sup>[8-10]</sup>。(1)技术前沿性:元宇宙医学是1个相对新兴且发展迅速的领域,涉及多种前沿技术的融合,如虚拟现实、增强现实、物联网、AI等。因此,在制定初步共识时,需要密切关注最新技术动态和趋势,确保共识内容的前沿性和创新性。(2)跨学科性:元宇宙医学融合了医学、信息技术、工程学等多个学科的知识 and 理念。在制定初步共识时,需要综合考虑各学科专家的意见和建议,形成1个跨学科、全面的共识,以更好地指导元宇宙医学的实践和发展。(3)实践导向性:共识的制定旨在为元宇宙医学的实际应用提供指导和支持。因此,在制定过程中,需要注重实践导向,关注实际应用场景和需求,确保共识的实用性和可操作性。(4)法规伦理考量:由于元宇宙医学涉及患者隐私、数据安全、伦理道德等敏感问题,在制定初步共识指南时,需要



充分考虑相关法规、伦理规范和道德原则的要求,确保内容符合法律法规和伦理道德标准。(5)国际视野:在制定初步共识指南时,还需要具有国际视野,参考国际上的相关标准和最佳实践,以便与国际接轨并促进元宇宙医学的全球交流与合作。总之,制定初步共识是制定元宇宙医学共识指南过程中的重要环节,其特殊性主要表现在技术前沿性、跨学科性、实践导向性、法规伦理考量和国际视野等方面。在制定过程中,需要充分考虑这些因素,确保初步共识的科学性、全面性和实用性。

## 5 征求意见与反馈

在制定共识指南时,公开征求意见是非常重要的环节。其方法可以多样化,以确保广泛收集各方意见和建议<sup>[18-19]</sup>。

**5.1 线上问卷调查** 通过设计问卷,将共识指南的相关问题以在线形式发布,并邀请目标受众参与填写。这种方法可以迅速收集大量意见,便于数据整理和分析。

**5.2 公开论坛和讨论组** 在专门的论坛或讨论组上发布共识指南草案,鼓励参与者发表意见、提问和讨论。这种方法有助于促进深入交流和互动,发现潜在问题。

**5.3 电子邮件咨询** 向相关领域的专家、学者、从业者等发送电子邮件,附上共识指南草案并请求他们提供意见和建议。这种方法可以针对性地向特定群体征求意见,获取专业反馈。

**5.4 社交媒体平台** 应用社交媒体平台(如微博、微信公众号等)发布共识指南草案,并邀请关注者参与讨论和投票。这种方法可以扩大征求意见的范围,吸引更多专家或人群参与。

**5.5 公开研讨会和听证会** 组织公开的研讨会或听证会,邀请相关利益方、专家和社会公众共同参与,就共识指南草案进行讨论和反馈。这种方法可以提供面对面的交流机会,增加意见的深度和广度。通过结合使用以上方法,可以确保在制定共识指南时充分公开征求意见,提高共识指南的科学性、实用性和可接受性。同时,也有助于增强各方对共识指南制定过程的信任和参与感。

**5.6 征求意见与反馈的特殊性** 在制定元宇宙医学共识指南时,征求意见与反馈的特殊性主要表现在以下几个方面。(1)多元主体参与:元宇宙医学是1个跨学科领域,涉及医学、信息技术、工程学等多个领域的知识和专家。因此,在征求意见与反馈阶段,需要吸引不同领域的专家、学者、从业人员以

及公众等多元主体参与,以收集更全面、多角度的意见和建议。(2)技术专业性强:元宇宙医学涉及的前沿技术较多,如虚拟现实、增强现实、物联网、AI等。在征求意见与反馈时,需要确保参与者具备相关技术背景和专业知识,以便能够提供针对性和专业性的意见和建议。(3)实时互动需求:由于元宇宙医学技术的快速发展和变化,征求意见与反馈过程需要保持实时性和互动性。这要求制定者采用在线调查、实时讨论、研讨会等灵活多样的方式,以便及时收集和处理参与者的意见和建议。(4)伦理与隐私考虑:在征求意见与反馈过程中,可能涉及患者隐私、数据安全等敏感问题。制定者需要采取严格的保密措施,确保参与者提供的信息和意见不被泄露或滥用,同时遵守相关伦理规范和法律法规。(5)国际化视野:为了促进元宇宙医学的全球交流与合作,征求意见与反馈过程需要具有国际化视野。这要求制定者积极寻求与国际组织、国外专家和相关机构的合作与交流,以便收集更广泛的国际意见和建议。

## 6 召开专家研讨会

在制定共识指南时,召开专家研讨会是非常重要的步骤,能够确保从各领域专家处获取宝贵意见和建议,从而提升共识指南的质量和权威性<sup>[18-19]</sup>。

**6.1 明确会议目标和议题** 在研讨会开始前,必须清晰定义会议的目标,明确需要讨论的议题和关键点。这将有助于确保会议聚焦于核心内容,提高讨论效率。

**6.2 选择合适的专家** 根据研讨会议题和目标,从相关领域中精心挑选具有丰富经验和专业知识的专家。确保他们能够对共识指南的制定提供有价值的见解。

**6.3 准备充分的会议材料** 在会议召开前,向与会专家提供必要的会议材料,如共识指南初稿、相关背景资料等。这将帮助专家们提前了解议题,为讨论做好充分准备。

**6.4 合理安排会议时间和地点** 确保会议时间不会与其他重要活动冲突,且地点方便与会者到达。提供1个舒适、安静的会议环境,有助于促进深入的讨论和交流。

**6.5 设立明确的讨论规则** 在会议开始时,向与会者介绍讨论规则,如发言顺序、时间限制等。这有助于维持会议秩序,确保每个专家都有平等发言的机会。

**6.6 促进深入讨论和交流** 作为会议组织者,应积

极引导专家们围绕议题进行深入讨论和交流。可以通过提问、总结等方式激发更多的思考,分享意见。

**6.7 记录和整理讨论内容** 在会议进行过程中,指定 1 名记录员负责详细记录专家的发言和讨论内容。会议结束后,及时整理讨论内容,形成会议纪要或报告,供后续共识指南制定参考。

**6.8 跟进和反馈** 在会议结束后,向与会专家表示感谢,并就讨论内容和共识指南的修改进行跟进。及时收集专家的反馈意见,并在后续共识指南制定中加以考虑和吸纳。通过以上步骤和措施,可以有效地召开专家研讨会,为制定高质量的共识指南奠定坚实基础。

## 7 最终定稿和发布

在制定共识指南时,定稿和发布是非常重要的步骤,通常涉及多个环节和方法的综合应用,可以根据实际情况灵活选择和组合<sup>[18-19]</sup>。

**7.1 定稿方法** (1)多轮修订与反馈:根据专家、团队成员和相关利益相关者的反馈进行多轮修订。每轮修订后都重新分发以收集更多意见,直至达到满意的共识。

(2)核心小组终审:组建 1 个由主要制定者和关键专家组成的核心小组,进行最后的审核和修订。确保共识指南内容准确一致,并符合既定的标准和质量要求。

(3)形式化投票:对于存在争议的问题或建议,可以进行形式化的投票。投票可以是匿名的,以鼓励更坦诚的意见表达。

(4)外部评审:邀请未直接参与共识指南制定的外部专家进行评审。外部评审专家可以提供独立的观点和建议,提高共识指南的客观性。

**7.2 发布方法** (1)学术期刊发表:将共识指南提交给相关领域的学术期刊进行同行评审和发表。这是建立学术信誉和权威性的常见方式。

(2)专业组织与协会发布:通过相关的专业组织或协会进行官方发布和传播。这种方式可以增加共识指南的可信度和影响力。

(3)在线平台与社交媒体推广:在网站、博客、社交媒体等在线平台上发布共识指南,在互联网的快速传播下,迅速触达目标受众。

(4)新闻发布会与媒体报道:举行新闻发布会,邀请媒体进行报道。通过媒体的广泛传播,提高共识指南的公众认知度。

(5)学术会议与研讨会展示:在相关的学术会议或研讨会上展示和发布共识指南。与会者通常是

该领域的专家和实践者,可以直接交流和讨论。

(6)政策文件与官方通告:如果共识指南具有政策指导意义,可以通过政府机构发布为政策文件或官方通告。这种方式确保了共识指南的权威性和执行力度。选择适合的定稿和发布方法时,应考虑到共识指南的目标受众、传播范围、紧迫性以及资源可用性等因素。通常情况下,结合多种方法使用会更有效地确保共识指南的广泛传播和应用。

**7.3 完善与发布的特殊性** 在制定元宇宙医学共识指南的过程中,完善与发布阶段的特殊性主要体现在以下几个方面<sup>[18-19]</sup>, (1)迭代更新:元宇宙医学是 1 个快速发展的前沿领域,新的技术、研究和应用不断涌现。因此,指南的完善需要是 1 个持续的过程,需要定期进行修订和更新,以确保其与最新的科学发展保持同步。(2)多方审核:为了确保指南的权威性和准确性,在发布之前需要经过多方专家的严格审核。这些专家不仅来自医学领域,还包括信息技术、AI 等相关领域。他们的审核意见对于指南的完善至关重要。(3)国际化标准:元宇宙医学具有全球化的特点,因此在制定和完善指南时需要考虑国际化标准。这意味着需要与国际组织、其他国家的专家和相关机构进行合作和交流,共同推动元宇宙医学的全球发展。(4)法规遵循:在发布指南之前,必须确保其内容符合相关法律法规的要求,特别是在数据保护、隐私权和伦理道德方面。这需要与法律专家紧密合作,确保指南的合规性。(5)传播与推广:发布阶段不仅是将指南公之于众,更重要的是通过有效的传播和推广策略,确保指南能够被目标受众广泛接受和应用。这包括医生、研究人员、技术开发者以及政策制定者等。(6)反馈机制:发布后的指南仍然需要持续关注和收集来自实践者的反馈意见,以便及时发现问题并进行修正。这种反馈机制有助于不断完善指南,并推动元宇宙医学的实践发展。

综上所述,应以严谨、科学和细致的态度制定元宇宙医学<sup>[8-9, 18-19]</sup>指南:(1)明确目标与问题;(2)组建由相关领域的专家团队;(3)收集与评估证据;(4)形成初步推荐意见;(5)组织专家团队进行多轮讨论和修改,以达成共识;(6)编写与审校共识指南;(7)发布与更新。发布后,应定期评估共识指南的适用性和准确性,并根据新的证据和实践经验进行更新。制定共识指南是 1 个需要多学科专家合作,应用严谨、科学方法制定和持续更新的过程。通过遵循这些步骤,可以确保共识指南的可靠性、实用性和有效性。

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:文章选题、撰写、修改。

## 参考文献

- [1] 白春学. 实用物联网医学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2014.
- [2] 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.
- [3] 白春学, 赵建龙. 物联网医学[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [4] THEUMMLER C, BAI C X. Health 4.0: how virtualization and big data are revolutionizing healthcare [M]. Switzerland: Springer Cham, 2017.
- [5] BAI C X. Letter from China[J]. *Respirology*, 2018, 23(7): 718–719.
- [6] European Commission, China Academy of Information and Communication Technology. EU-China joint white paper on the internet of things [EB/OL]. (2021-09-24) [2024-02-06]. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/eu-china-joint-white-paper-internet-things>.
- [7] 文汇报. 元宇宙医学联盟在上海创立, “数智”破局传统医疗模式“二难, 三低”困境 [EB/OL]. (2022-02-19) [2024-02-05]. <https://www.whb.cn/zhuzhan/yiliao/20220219/450541.html>.
- [8] YANG D W, ZHOU J, CHEN R C, et al. Expert consensus on the metaverse in medicine[J]. *Clin eHealth*, 2022, 5: 1–9.
- [9] 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.
- [10] MASSETTI M, CHIARIELLO G A. The metaverse in medicine [J]. *Eur Heart J Suppl*, 2023, 25: B104–B107.
- [11] FERNANDES A C, SOUTO M E V C. Benefits, limits, and risks of GPT-4 as an AI chatbot for medicine[J]. *N Engl J Med*, 2023, 388(25): 2399–2400.
- [12] KANJEE Z, CROWE B, RODMAN A. Accuracy of a generative artificial intelligence model in a complex diagnostic challenge [J]. *JAMA*, 2023, 330(1): 78–80.
- [13] 谢 叻, 顾冬云, 谭立文, 等. 中国数字人和数字医学研究概述[J]. *科学*, 2023, 75(4): 24–28.
- [14] 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: 169–163.
- [15] V GLASS G. Primary, secondary, and meta-analysis of research [J]. *Educ Res*, 1976, 5(10): 3–5.
- [16] BALARAMAN S, VENKATAKRISHNAN K S. Identifying engineering education goals and priorities for the future: an experiment with the Delphi technique [J]. *High Educ*, 1980, 9: 53–67.
- [17] DIAMOND I R, GRANT R C, FELDMAN B M, et al. Defining consensus: a systematic review recommends methodologic criteria for reporting of Delphi studies[J]. *J Clin Epidemiol*, 2014, 67(4): 401–409.
- [18] 周 奇, 王 琪, 俞 阳, 等. 临床实践指南制定中的共识方法[J]. *药品评价*, 2016, 13(16): 13–17.
- [19] SCHOENBERG N C, BARKER A F, BERNARDO J, et al. A comparative analysis of pulmonary and critical care medicine guideline development methodologies[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2017, 196(5): 621–627.
- [20] 朱励瑶, 金兼斌. 科学传播中的政治正确——基于 Web of Science 的系统性文献回顾与定性元分析[J]. *新闻与传播研究*, 2023, 30(3): 23–39.
- [21] BAI C X, CHOTIRMALL S H, RELLO J, et al. Updated guidance on the management of COVID-19: from an American Thoracic Society/European Respiratory Society coordinated International Task Force (29 July 2020)[J]. *Eur Respir Rev*, 2020, 29(157): 200287.

## 引用本文

白春学. 如何制定元宇宙医学共识指南? [J]. 元宇宙医学, 2024, 1(1):66–72.

BAI C X. How to generate consensus and guidelines for metaverse in medicine?[J]. *Metaverse Med*, 2024, 1(1):66–72.



DOI:10.61189/458246xolelz

· 医学教育 ·

# 元宇宙医学教学查房的实践与探索

薛新颖<sup>1,2</sup>, 杨达伟<sup>3</sup>, 白春学<sup>3\*</sup>

1. 首都医科大学附属北京世纪坛医院呼吸与危重症医学科, 北京 100038

2. 首都医科大学附属北京世纪坛医院危急重症医学中心, 北京 100038

3. 复旦大学附属中山医院呼吸与危重症医学科, 上海 200032

**[摘要]** 元宇宙教学查房是一种创新的医学教育方式, 结合了元宇宙技术和现代教学理论, 为医学生提供了全新的学习平台。这种教学方式可以让学生身临其境地体验实际的临床环境, 从而更加深入地了解患者的病情和治疗方案。在元宇宙教学查房中, 医学生可以通过虚拟现实技术进入仿真的医院环境, 观察虚拟患者的病情和体征, 与虚拟患者交互, 进行病史采集、体格检查等操作, 甚至可以参与到虚拟手术中去。同时, 教师还可以利用元宇宙技术进行实时的指导和点评, 帮助学生更好地掌握知识和技能。这种教学方式具有以下优点: (1) 元宇宙教学查房可以让学生更加真实地体验临床环境, 从而提高他们的学习兴趣和动力; (2) 虚拟环境可以模拟各种复杂和罕见的病例, 令学生接触更多临床场景; (3) 元宇宙技术允许教师对学生的操作进行实时评估和反馈, 帮助及时发现和纠正错误。随着技术的不断进步和应用场景的拓展, 元宇宙教学查房将成为医学教育领域的重要发展方向之一。

**[关键词]** 元宇宙医学; 物联网; 教学查房; 虚拟现实; 增强现实**[中图分类号]** R-1 **[文献标志码]** A

## Exploration and practice of teaching rounds in metaverse in medicine

XUE Xinying<sup>1,2</sup>, YANG Dawei<sup>3</sup>, BAI Chunxue<sup>3\*</sup>

1. Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Beijing Shijitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100038, China

2. Critical Care Medical Center, Beijing Shijitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100038, China

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

**[Abstract]** Teaching rounds in metaverse represent an innovative method in medical education, combining metaverse technology with contemporary educational theories to provide medical students with a new learning platform. This teaching method allows students to immerse themselves in simulation clinical environments, thereby gaining a deeper understanding of patients' conditions and treatment plans. During teaching rounds in metaverse, medical students can enter a simulated hospital environment through virtual reality technology, observe the conditions and symptoms of virtual patients, interact with them, conduct operations such as medical history collection and physical examination, and even participate in virtual surgeries. Meanwhile, teachers can provide real-time guidance and commentary using metaverse technology, helping students better master the relevant knowledge and skills. This teaching method has several advantages: (1) teaching rounds in metaverse allow students to experience clinical environments more realistically, thereby enhancing their interest in progressing and motivation to learn. (2) Virtual environments can simulate a variety of rare and complex cases, allowing students to be exposed to more clinical scenarios. (3) Metaverse technology can facilitate real-time assessment of and feedback on students' operations, helping them promptly identify and correct mistakes. As technology continues to advance and application scenarios expand, metaverse teaching rounds will become a key feature in the development of medical education.

**[Key Words]** metaverse in medicine; internet of things; teaching rounds; virtual reality; augmented reality**[收稿日期]** 2024-03-15**[接受日期]** 2024-03-23

**[基金项目]** 首都医科大学杰出青年项目(A2310), 首都医科大学附属北京世纪坛医院学科带头人项目(2023DTRXXY), 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 Science Fund for Distinguished Young Scholars of Capital Medical University (A2310), Program of Subject Leader in Beijing Shijitan Hospital, Capital Medical University (2023DTRXXY), 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]** 薛新颖, 博士, 副主任医师. E-mail: xuexinying2988@bjshjth.cn

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

医学教学查房是培养实习生和规培生,以及提升低年资医生观察、诊疗患者,学习处理医患关系,成为 1 名合格医生的重要教学方式,也是师徒传承和培养学员分析问题和解决问题能力的有效手段。但是,由于目前的技术平台限制也产生了一些教学查房效率不尽人意的的问题,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参与度低。为克服这些问题,提高教学查房效率,亟需要研发和探讨元宇宙教学查房的可行性。探讨临床教师是否可以通过元宇宙赋能典型病例分析的诊治过程,提高集体示教的效果。以及探讨元宇宙教学查房是否可以进一步赋能提高学员的临床思维、实践操作能力、交流沟通能力、语言表达能力等,进而系统培养其融会贯通陈述性和程序性知识的临床教学活动,进而是否可成为提高各级医师临床教学工作能力,甚至诊治水平的创新性尝试。

## 1 元宇宙医学教学查房的价值与意义

**1.1 目前教学查房的局限性** 由于目前医疗实践受到“专家为中心、医院为重点”这一模式的限制,也产生了影响教学查房效率的问题。(1)缺乏名医吸引力:医学在一定程度上被视为经验科学,因其包含了大量的个体化特点,无论是症状、临床表现还是治疗方法,都表现出显著的个体差异。为此在医疗实践中,亟需要医生根据患者随时变动的病情进行个性化诊疗。能随时随地解决这些问题,并且具有治未病能力的医生才是真正的名医。缺乏具有上述水平的名医查房,将缺乏吸引力。(2)数据难以共享:由于目前医疗模式的中心化和数据孤岛样效应,致使数据难以共享。其原因因为一些水平有限的医院担心患者外流和本院的误诊误治被他人发现,结果造成难以发现患者误诊误治,也缺乏了查房的吸引力。(3)讲解乏力演示乏术:医生通常只是简单地读取患者体征指标,而不能详细解析病情和讲解处理方案,更缺乏足够大数据证据而令人折服,结果无法充分吸引实习生和规培生的注意力,也无法全面了解病情和赋能精确治疗。(4)缺乏沉浸感:只有当学员置身于真实环境,或高度仿真的虚拟环境中时,才能体验到与真实环境中相同的诊疗方式与效果和得到启发思维。这可以运用元宇宙技术去创造具有强烈沉浸感的虚拟环境,包括图形图像技术、人机交互技术、人工智能与模式识别技术、网络传输技术、与协同计算技术并行,以及大规模显示

技术等。(5)内容单一忽略整体:只关注患者体征指标的改善,而忽略了患者的全面情况和疾病的综合处理,产生“沉溺在微观世界孤芳自赏,游弋在分子之间左右逢源”而不能解决问题的教学效果。(6)难以掌握程序性知识:简言之,陈述性知识是“讲解和记住是什么”,程序性知识则是“应该怎么做”。后者更是教学查房的关键,授人以渔最重要的技巧。由于目前的教学查房模式主要是陈述性知识教学方法,很少转变为程序性知识,更无法融会贯通与更好地为患者解决临床问题,致使教学查房的效果大打折扣。(7)无法调动患者积极性:由于目前医疗模式的隐私问题和安全要求,患者难以参与教学查房,也就无法使其积极主动配合教学查房与受益,结果影响了患者的个性化诊疗效率。(8)兴趣索然参与度低:由于上述诸多问题,致使部分学员在教学查房中兴趣索然,无法调动其主动积极性,难以充分利用此机会深度学习和提问,造成实习生、规培生和其他学员参与度低,受益率低,以及陈述性知识与程序性知识的融会贯通率低。

**1.2 元宇宙查房可解决问题** “工欲善其事,必先利其器”。表 1 列举和分析了目前教学查房问题的原因,并探讨了是否可以通过元宇宙赋能教学查房解决问题。

## 2 元宇宙医学教学查房的技术优势

**2.1 物联网医学具有改善教学查房的基因** 物联网(internet of things, IoT)技术具有辅助教学查房和提高教学质量的优势,是因为 IoT 可以通过其全面感知、可靠传输和智能处理三大基础流程,以及表 2 所列的基本功能更好地提高教学查房的效果。IoT 原指应用射频识别技术(RFID)和设备,按约定通信协议与互联网结合智能管理物品信息的技术,现已拓展到通过互联网相互连接的网络,拓展为含全面感知、可靠传输与智能处理相应的硬件和软件技术平台。物联网医学是可以应用物联网技术辅助健康和诊疗,以及医院信息化管理等应用场景而形成的交叉学科,利于将“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”,从而改善教学查房效率。

**2.2 物联网 5A 程序可被拓展为元宇宙教学查房引擎** 现在已有较成熟的 5A 小程序,可用于辅助教学查房,同时赋能质量控制。例如可以将肺结节评估共识指南融入人工智能(artificial intelligence, AI)肺结节管理程序(PNapp 5A),应用于临床实践。

PNapp 5A 可以将肺结节诊治中国专家共识和

表 1 用元宇宙技术提高教学查房效果

| 存在问题      | 元宇宙赋能解决问题的可能性                                                                             |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 缺乏名医吸引力   | 采用元宇宙的虚实互动技术,通过国内外知名专家分身参加教学查房,提高名医的参与性,提高解决问题的有效性;此外,还可通过参与元宇宙教学查房,提高名医吸引力,进而增加教学查房的吸引力。 |
| 数据难以共享    | 去中心化和数据共享可以根本解决这一问题。可以为用户提供个性化终身服务,从出生伊始即进入安全的终身受益快车道,助力长寿人生。                             |
| 讲解乏力演示乏术  | 元宇宙平台可以赋能虚拟数字人教学模式,提高教学查房的讲解力和展示力,进而提高教学查房效率。                                             |
| 缺乏沉浸影响效果  | 元宇宙平台通过图形图像技术、人机交互技术、人工智能与模式识别技术、网络传输技术和协同计算技术,以及大规模显示技术将虚拟世界拉入到现实世界而增强教学沉浸感。             |
| 内容单一忽略整体  | 元宇宙平台可以进一步优化整合医学的教学效果和诊疗效果;协助医生从顶层宏观角度诊治患者,提高效率。                                          |
| 难以掌握程序性知识 | 元宇宙平台辅助将陈述性知识转变为程序性知识,使得学员节省数倍的陈述性知识掌握时间,加速程序性知识的融会贯通。                                    |
| 无法调动患者积极性 | 元宇宙平台可以保护隐私和安全,利于患者积极主动配合教学查房;同时增加自身受益,提升个性化诊疗效果。                                         |
| 兴趣索然参与度低  | 元宇宙平台利于陈述性知识与程序性知识的融会贯通,可以赋能提高学员的学习兴趣和教学效果,迅速提升临床经验和水平,提高参与度与积极性。                         |

表 2 物联网医学可改善教学查房的理论基础

| 物联网技术 | 理论基础                                                                                 |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 全面感知  | 通过传感器全面感知,更加精确和科学地随时随地了解患者的病理生理状态,实时传至教学查房云端,赋能精确解决临床问题。                             |
| 可靠传输  | 通过可靠传输,保证数据的完整性、准确性和有序性,保障网络通信质量,赋能教学查房。                                             |
| 智能处理  | 将看似杂乱无章的数据,通过相应算法模型和技术手段转变成有用的信息、决策和知识,更好地为患者服务;同时教学查房教师做出更加精准的决策,赋能教学查房更快地进入数字医疗时代。 |
| 在线监测  | 适合实时在线监测病情和指导治疗,辅助教学查房教师精确制定诊断和治疗方案。                                                 |
| 定位追溯  | 可用于定位患者,利于教学查房教师进行实时在线的急救教学查房,并提高救治效率。                                               |
| 报警联动  | 可设定和实时监测患者生命体征,实时报警,辅助三级联动的教学查房反应,同时提高诊疗效率。                                          |
| 指挥调度  | 利于教学查房调度和派遣功能,协调教学查房教师与学员紧密结合,提高教学查房效率。                                              |
| 预案管理  | 可预先设定教学查房病例的评估和管理方案,进行全天候教学查房,并辅助临床诊疗和精确管理。                                          |
| 安全隐私  | 利于赋能教学查房中为用户或患者提供安全保障机制,保护患者隐私。                                                      |
| 远程维保  | 适合教学查房的联网服务,便于赋能教学查房,同时帮助患者解决医疗问题。                                                   |
| 在线升级  | 保证教学查房需要的物联网系统正常运行,也是远程医疗自助服务的手段之一。                                                  |
| 领导桌面  | 利于教学查房教师根据收集的海量信息,进行深度挖掘,或者拓展教学和诊疗功能,指导学员更好地解决医疗问题。                                  |
| 统计决策  | 利于教学查房教师根据联网信息的数据挖掘和统计分析,提出解决教学查房问题的战略战术和提供医疗决策支持。                                   |

亚太肺结节评估指南融合在这一体系之中,再链接相应的云计算系统,进一步赋能深度挖掘、智能评估和管理肺结节。在临床实践中,医生可根据 PNapp 5A 手机端这一基于微信(WeChat)的工具,通过页面选择键与云交流互动,精准评估和科学管理肺结节。患者在线登记基本信息后,医生即可根据 PNapp 5A 端页面显示的 1A ~ 5A 逐项上传相关信息或检查结果,实时在线辅助评估和管理肺结节(图1)。

(1)1A(ask,询问):在教学查房中,辅助教师培训学员询问相关信息,如吸烟史、被动吸烟史,个人

和家族肿瘤病史,职业病史,哮喘、慢阻肺和肺间质纤维化等慢性呼吸病史,抗生素治疗史和相应治疗史,通过在线答卷反馈至“云”上。

(2)2A(assessment,评估):在教学查房中,辅助教师培训学员应用医学数字成像和通信(DICOM)格式的薄层 CT 评估肺结节直径和外观,培训学员分析掌握分叶、毛刺和胸膜凹陷征,以及有无钙化、空泡征和血管生成等影像学特征,以及如何配对比对随访过程中的变化。

(3)3A(advice,建议):在教学查房中,辅助教师培训学员如何根据共识指南要求,完善鉴别诊断所



需的肺结核、真菌、组合肿瘤标志物(LCBP)检查,以及 AI、循环染色体异常细胞(CAC)和正电子发射断层显像(PET/CT)等个体化检查。同时,培训学员根据 AI 辅助评估肺结节恶性风险模型,自动生成低、中、高度恶性概率,融入研判流程,以便专家提出进一步诊疗意见。

(4)4A(arrangement,安排):在教学查房中,辅助教师培训学员基于 1A~3A 信息和结果提出诊疗方案。如对有活检适应证者,可考虑因地制宜地顺序选择气管镜、超声支气管镜(EBUS)、实时超声引导支气管针吸活检术(EBUS-TBNA),或电磁导航气管镜(ENB)等检查。上述检查均不合适且考虑有

转移可能者,可考虑经胸壁针吸活检术(TNAB)。不能除外感染者,经验性抗菌治疗 1 周,3~6 个月复查肺结节 CT(1 mm 薄层,DICOM),再次进行 AI 分析比较,进一步研判;肺结节直径 < 10 mm 者,可根据共识指南安排随访。肺结节直径 > 10 mm 仍不能确诊时,应进入研判流程。

(5)5A(assistance with IoT,物联网辅助):在教学查房中,辅助教师培训学员如何常规和个体化管理肺结节,或者根据患者的病理结果和分期进行术后个体化管理,如根据 AI、CAC、表观遗传等信息,制定个体化防治复发和转移方案。

### 3 基于元宇宙医学平台的教学查房设计

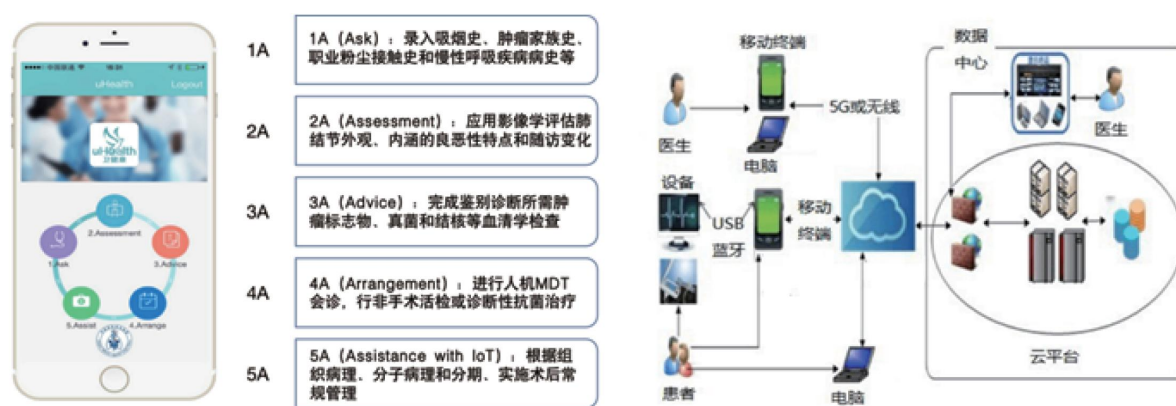


图 1 PNapp 5A 评估管理肺结节示意图

如何将元宇宙教学查房的想法付诸实践?首先需要设计应用元宇宙医学平台教学查房的教案,在元宇宙的八大特征中,如下 6 个方面(表 3)可以体现出目前教学查房模式无法相比的优势。

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势,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。至于如何设计元宇宙教学查房教案,可以基于上述的 PNapp 5A,实践元宇宙赋能肺结节评估的教学查房(表 4)。

表 3 元宇宙技术赋能教学查房的六大特征

| 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,不需其他软硬件和专业技术人员辅助,不受时间地点限制,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,使得基层医生,甚至村医也可以受益。  |
| 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。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,颠覆性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。 |



#### 4 元宇宙教学查房的未来与目标

将元宇宙医学特征融入教学和规培之中,即可通过虚实互动平台提高其同质化教学水平:(1)做其他教学模式不会做的;(2)做其他教学模式做不好的;(3)做对学员最有利的。不但适合上述的实习生和规培生,也适合继续教育学员,甚至是所有医生。

4.1 融会贯通陈述性和程序性知识 元宇宙医学可以提高陈述性和程序性知识的学习效率,赋能两

者之间的融会贯通,助力深刻分析复杂的临床问题和制定缜密的诊疗方案。这是因为物联网医学“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”的技术(图2),可助力学员便捷达到上述要求。应用物联网将全面感知的临床信息,可靠传输到具有大医大脑水平的元宇宙医学教学“云”之后,人工智能(AI)即可按照程序深度挖掘和智能处理,制定科学的诊治方案,再经“云”专家核对修改完善后指导“端”医生执行。

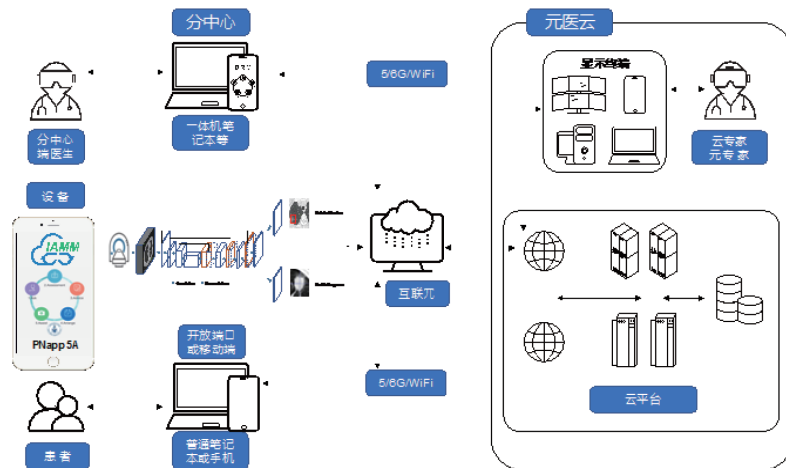


图2 物联网医疗模式

在构建认知能力时,程序性知识毫无疑问地将扮演重要角色。一般认为程序不过是编码指令的次序,只是1种算法,可能来自逻辑学和数学中的基本运算规则,也可能来自多学科中的概念。但是,从加速培养实习生或规培医生的顶层设计角度看,可

将程序拓展为程序性知识。后者也被称为操作性知识,难以清楚陈述,只能借助于某种作业形式表达。元宇宙教学更利于通过术前讨论,赋能手术类操作的程序性知识的融会贯通(图3)。

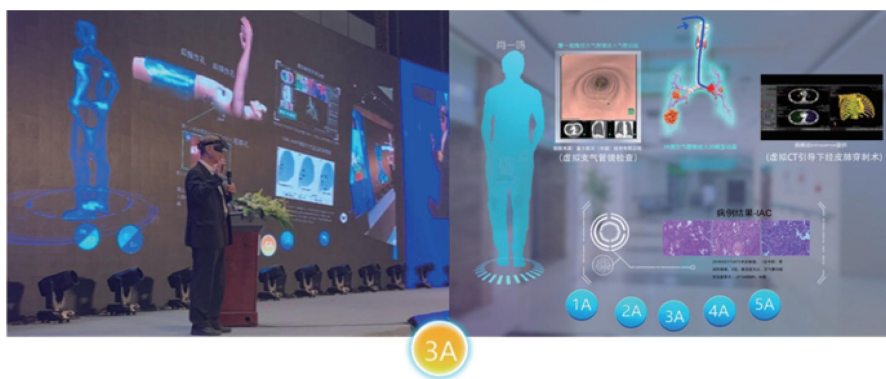


图3 赋能手术类操作的程序性知识的融会贯通

4.2 元宇宙赋能医生发展 从医学角度,特别是从心理学角度,陈述性知识可以被视为晶体智力(crystallized intelligence),这是指经过学习获得的陈述性知识,就像晶体一样,一块块地存储在长期记忆中。医学生所学的大部分课程均属于陈述性知识,如生物化学、解剖学、病理学和药理学。而程序性知识可认为是流体智力(fluid intelligence),在不

同领域中运用推理的能力均属于这一类。因为流体这个词,可以体现像水一样流动的智力,对应的知识包括乘法、除法、归纳法、归谬法、反证法等,是1种推理运算的智力。物联网医学中的人工智能,毫无疑问地属于赋能程序性知识的技术。

从工业化角度看,也可以根据自动化的程度,将程序性知识分为“自动化”与“可控制”2类。在医



学上,“自动化”程序类似于应用 AI 赋能评估肺结节良恶性,将患者 CT 数据输入训练好的 AI 系统后,2 min 左右即可反馈给出自动计算的结果(图 4)。“可控制”程序性知识一般运行慢,要利用认知资源,占用工作记忆空间,个体可以有意识地监控这类程序。由于人在某一时刻进行缜密思考的容量

有限,故不能在同一时刻使用多项可控的程序性知识。在自动化程度不高时,则往往能够用语言来表述。这在医学上,类似于研判专家核对 AI 评估的结果,需要丰富的综合临床经验,才能做出精确的诊断和治疗方案。

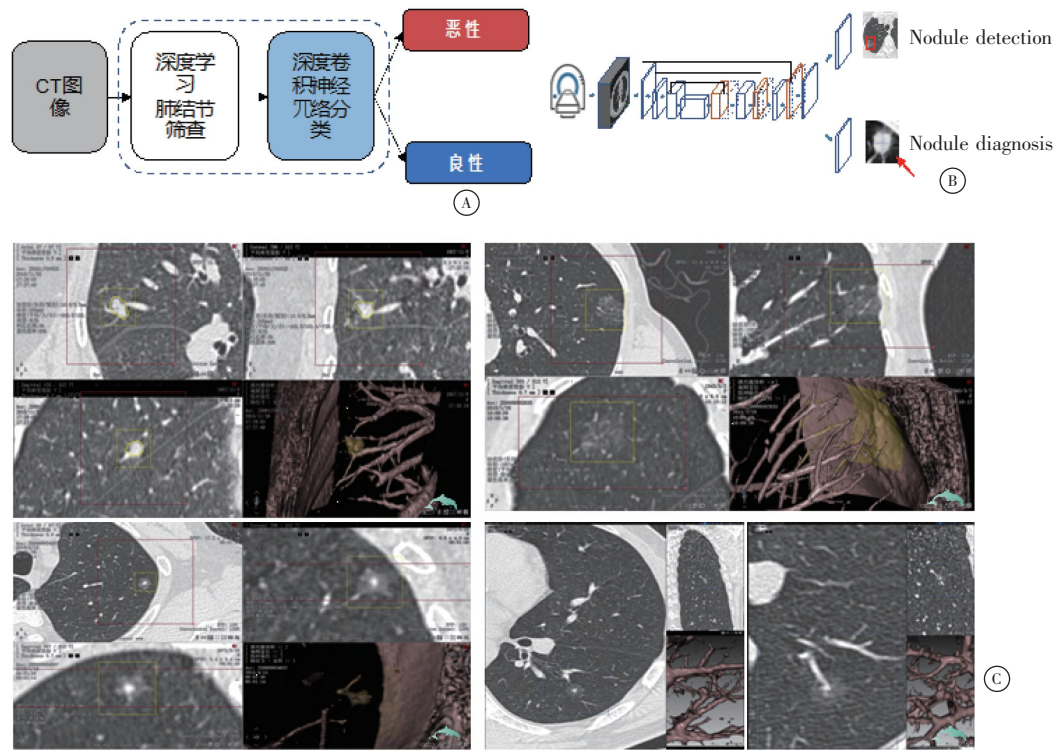


图 4 AI 赋能肺结节良恶性评估系统

A: 深度学习 + DCNN; B: 深度卷积神经  $\pi$  络(DCNN)多任务流程图; C: 肺结节良恶性评估系统。DCNN:深度卷积神经网络。

在培养实习和规培医生过程中,获得陈述性知识常是学习程序性知识的基础,而学会程序性知识之后又可赋能获得更新的陈述性知识。从物联网角度看,陈述性与程序性知识的获得是学习过程中2个连续的阶段,但是又有网络表征区别(表 5),均可以得到物联网技术的放大性赋能支持。

在很多活动中,两者是结合在一起的,在医学

中更是如此。在学习过程中,最初学习的都是陈述性知识,在大量练习之后程序性知识才有了自动化特点。这也是我提出物联网与元宇宙医学的初衷,尽管临床实践中,培养好医生需要的陈述性知识的难度和量度非常大,但是通过物联网技术就可以使“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”。可以应用这一理论快速培养

表 5 陈述性和程序性知识的网络表征区别

| 特征    | 陈述性知识                                 | 程序性知识                                           |
|-------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 产生方式  | 是 1 种静态的知识,其激活是输入信息的再现。               | 是 1 种动态的知识,其激活是信息的变形和操作。                        |
| 激活速度  | 激活的速度比较慢,是 1 个有意的过程,需要学员对有关事实进行再认或再现。 | 激活的速度很快,是 1 种自动化了的信息变形的活动。                      |
| 传授途径  | 大多数可以通过语言传授(如 SARI)。                  | 大多数是不能通过语言传授的,如阅片很好的影像学专家,很难把这种技能通过语言形象生动地传给他人。 |
| 学习与掌握 | 可通过媒体、讲座等形式学会,如预防甲型 H1N1 流感的知识。       | 必须通过练习和实践才能获得和掌握,如医学的听诊和触诊的物理检查与手术。             |
| 表现与实践 | 能通过应用、回忆、再认及与其他知识等联系方式来表现。            | 必须通过各种操作步骤来表现。                                  |

好医生,大幅度减少学习压力和提高认知力,程序化提高强基层广覆盖的同质化医疗水平。快速实现我提出的“名医治未病,元医惠众生”愿景。

4.3 虚拟教师辅导 按照我们设计,在 GPT 应用后,可以按照虚拟医生的生产方法研发虚拟教师,赋能实习生和规培生加速陈述性知识掌握能力,提高程序性知识的悟性,数倍提升融会贯通程度。

## 5 元宇宙医学教学查房的质量控制

如何进行教学查房质量管理,以往一直是难题。现在,随着物联网和元宇宙医学理论和技术的进展,我们已经可以提出一些科学的解决办法。也就是可以基于关键指标,考核应用元宇宙医学教学“云”协助管理教学查房的效率。如授课是否有感染力;课件准备是否规范;关键内容是否涵盖;核心知识是否交代清楚;可否赋能掌握陈述性知识;可否赋能掌握程序性知识;可否赋能陈述和程序性知识的融会贯通;有无沉浸感赋能;有无 VR 赋能授课;有无虚拟数字人教师,以及能否受到实习生和规培生以外医生(基层医生和村医,甚至所有医生)的欢迎。

5.1 元宇宙特征赋能教学查房的数量比率 元宇宙特征赋能教学查房的数量比率定义为应用表 3 赋能教学查房占比的比率,用于评价元宇宙教学查房中体现元宇宙特征赋能的比重,特征占比越高,查房效率提高越大。计算公式为:基于 6 大特征的教学查房的占比 = 体现元宇宙特征的教学查房次数/教学查房总次数  $\times 100\%$ 。

5.2 元宇宙赋能教学查房后知识记忆速率提高比例 该比例定义为元宇宙教学查房加速陈述性知识的学习效率。用于评价元宇宙赋能教学查房后提高的陈述性知识学习效率,比例越高提示教学查房效果越好,学员将可以节省更多时间用于程序性知识的学习,以及两者的融会贯通。计算公式:知识记忆速率提高率 =  $1 - (\text{元宇宙赋能后的平均知识记忆时间} / \text{传统教学方式平均知识记忆时间}) \times 100\%$ 。

5.3 学习 1 d 后知识记忆保持率 定义为依照遗忘曲线,元宇宙教学查房赋能后 1 d 对所学知识记忆的保持率。用于评价元宇宙赋能教学查房 1 天后提高知识记忆保持的效率,也是陈述性知识的 1 种科学评价方法,知识记忆保持率越高提示教学查房效果越好,陈述性知识学习效果越好。计算公式:1 d 后知识记忆保持率比率 = 1 d 后仍有记忆的知识总量/起始学习知识总量  $\times 100\%$ 。

5.4 学习 1 周后知识记忆保持率 定义为依照遗忘曲线,可以反馈元宇宙教学查房赋能后对所学知

识记忆的保持率。用于评价元宇宙赋能教学查房 1 周后提高知识记忆保持的效率,也是陈述性知识的 1 种科学评价方法,知识记忆保持率越高提示教学查房效果越好,与学习 1 d 后知识记忆保持率相比较,更能反应长期的陈述性知识学习效果。计算公式:1 周后知识记忆保持率比率 = 1 周后仍有记忆的知识总量/起始学习知识总量  $\times 100\%$ 。

5.5 元宇宙教学查房赋能作答准确率 定义为反映实习生和规培生参加元宇宙赋能教学查房学习后,作答问答题的准确率。用于评价元宇宙教学查房后赋能实习生和规培生作答考核的准确率,为陈述性知识考试,作答准确率越高提示教学查房的陈述性知识学习效果越好。计算公式:作答准确率 = 实习生和规培生作答正确总人数/参与作答实习生和规培生总人数  $\times 100\%$ 。

5.6 元宇宙教学查房对诊疗技能学习的提高效率 定义为反映实习生和规培生参加元宇宙赋能教学查房学习后,对诊疗技能学习的提高效率。用于评价元宇宙教学查房后赋能实习生和规培生通过诊疗技能考核的水平,为陈述性和程序性兼容的知识考核,通过诊疗技能考核的人数越多越高提示教学查房效果越好。计算公式:诊疗技能提高效率 = 实习生和规培生通过诊疗技能考核总人数/参与诊疗技能考核实习生和规培生总人数  $\times 100\%$ 。

5.7 名师教学查房时间降低比例 是为反馈元宇宙赋能教学查房后可以减少名师教学查房时间的比例。评价元宇宙赋能教学查房后赋能名师教学查房时间所减少的比例,为元宇宙教学查房六大特征效率的综合反应指标,名师教学查房时间减少比例越高提示教学查房效果越好。因为名师可以抽出更多时间参加其他教学查房,使基层医生,甚至村医受益。计算公式:名师教学时间减少比例 =  $1 - (1 \text{ 名学员元宇宙赋能后的平均教学时间} / 1 \text{ 名学员传统教学的平均时间}) \times 100\%$ 。

5.8 教学查房知识更新比例 定义为反馈元宇宙赋能教学查房后,教学查房知识紧跟目前最新知识进展的程度。用于评价元宇宙赋能教学查房后赋能教学查房知识更新率,教学查房知识更新比例越高提示更有助于教学查房,提高学员知识更新效果越好。计算公式:教学知识更新比例 = 引用的该领域 5 年内高质量共识指南及研究数量/该领域 5 年内所有高质量共识指南及研究数量  $\times 100\%$ 。

5.9 其他医护人员自主参加学习率 定义为反馈非实习生和规培生,包括基层和村医甚至所有感兴趣的其他医护人员自动参与学习时间占总学习时

间的比率。用于评价元宇宙赋能教学查房的实用性、创新性、对其他医护人员的帮助性,其他医护人员自主参与学习时间占总学习时间的比率越高,提示教学查房的意义越大。计算公式:其他医护人员自动参加学习率=其他医护人员自动参加学习总时长/所有学员总学习时间 $\times 100\%$ 。

**5.10 人均教学查房成本降低比例** 定义为反馈元宇宙赋能教学查房后,所降低的人均(线上下总人数平均)教学查房成本比例。用于评价元宇宙赋能教学查房后教学查房成本降低率,教学查房成本降低比例越高提示教学查房效果越好,教学查房越受欢迎。计算公式:教学成本降低比例= $1-(1 \text{ 名学员元宇宙赋能后的平均教学成本}/1 \text{ 名学员传统教学的平均成本})\times 100\%$ 。

**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** 薛新颖:论文撰写、修改;杨达伟:论文撰写、

修改;白春学:论文选题、撰写、修改。

#### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 白春学. 元宇宙医学之我见[J]. 中国医药导刊, 2023, 25(1): 1-6.
- [3] YANG D W, ZHOU J, SONG Y L, et al. Metaverse in medicine[J]. Clin eHealth, 2022, 5: 39-43.
- [4] YANG D W, ZHOU J, CHEN R C, et al. Expert consensus on the metaverse in medicine[J]. Clin eHealth, 2022, 5: 39-43.
- [5] ZHANG X L, CHEN Y C, HU L L, et al. The metaverse in education: definition, framework, features, potential applications, challenges, and future research topics[J]. Front Psychol, 2022, 13: 1016300.
- [6] KYE B, HAN N, KIM E, et al. Educational applications of metaverse: possibilities and limitations[J]. J Educ Eval Health Prof, 2021, 18: 32.
- [7] THUENMLER C, BAI C X. Health 4.0: how virtualization and bigdata are revolutionizing healthcare[M]. Switzerland: Springer Cham, 2017.

#### 引用本文

薛新颖,杨达伟,白春学. 元宇宙医学教学查房的实践与探索[J]. 元宇宙医学,2024, 1(1):73-81.

XUE X Y, YANG D W, BAI C X. Exploration and practice of teaching rounds in metaverse in medicine [J]. Metaverse Med, 2024, 1(1):73-81.

## ·消 息·

### 复旦大学附属中山医院期刊中心关于论文写作或评审中使用 ChatGPT 或其他生成式人工智能(generative artificial intelligence, GenAI)技术的规定

1. 生成式人工智能(generative artificial intelligence, GenAI)不能作为论文的作者。GenAI 无法对论文的原创新性、准确性和完整性负责,不能声明利益冲突,也不能管理版权和许可协议,无法满足作者的相关要求。

2. 论文重要部分(如研究方法、结果、对结果的解释分析等)的撰写应由作者完成。作者在研究过程中使用 GenAI 进行文稿撰写、图像或图形元素制作、数据收集和分析时,必须在论文的材料和方法(或类似部分)中详细、公开、透明地说明 GenAI 工具名称、生成内容、以及作者审查情况。作者必须仔细审查 GenAI 输出的所有内容,包括图像的真实性和准确性,统计分析结果的准确性,参考文献的可靠性,等。作者提供给 GenAI 的原始数据必须是研究过程中收集的真实数据。作者对其论文的内容负全部责任,包括 GenAI 辅助完成的部分。

3. 作者可以使用 GenAI 进行语言润色或不同语种的翻译,但应保证论文具有作者原本的写作特点。

4. 不得直接使用未经核实的由 GenAI 生成的参考文献,GenAI 技术生成的材料不可作为原始参考文献引用。

5. 对于违反 GenAI 使用规定的作者,复旦大学附属中山医院期刊中心核实后将直接退稿或撤稿;情节严重时,本刊将作者列入学术失信名单,并在 2 年内拒绝该论文作者以第一作者身份的任何来稿。

6. 不建议审稿专家在论文评审过程中使用 GenAI 技术,如果使用 GenAI 辅助评审,请在审稿意见中公开、透明、详细地说明 GenAI 工具名称和生成内容,并对审稿结论负全部责任(包括 GenAI 生成的内容)。

复旦大学附属中山医院期刊中心

2024 年 2 月



## BRM 一体机应用于控烟



郑郁婕<sup>1</sup>, 孙梦婷<sup>1</sup>, 白春学<sup>1,2,3</sup>, 杨达伟<sup>1,2,3\*</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. 上海呼吸物联网医学工程技术研究中心, 上海 200032

3. 上海市呼吸病研究所, 上海 200032

**[摘要]** 目前社会的控烟形势依旧严峻, 由于烟草危害知晓率低、戒烟意愿低、治疗有效率低、治疗依从性差、戒烟管理难度大等原因, 当前控烟措施并不能很好地解决吸烟者烟草依赖的问题, 因而无法限制烟草依赖对吸烟者乃至全社会的危害。物联网医学借助“四化”元素和“QSapp 5A”戒烟系统, 建设强基层、广覆盖的戒烟医疗模式, 在一定程度上改善这一现状。然而, 物联网医学仍面临着难以解决的时空限制。在此基础上发展而来的元宇宙医学, 则借助虚拟现实、增强现实等技术, 运用 BRM 一体机等设备, 通过全息构建、全息仿真、虚实融合和虚实联动 4 大过程, 一定程度上突破控烟过程的时空限制, 进一步赋能控烟运动, 颠覆性改变目前的控烟管理效果。

**[关键词]** 控烟; 元宇宙医学; 物联网医学

**[中图分类号]** R459.9/TP399 **[文献标志码]** A

### Applying BRM to tobacco control

ZHENG Yujie<sup>1</sup>, SUN Mengting<sup>1</sup>, BAI Chunxue<sup>1,2,3</sup>, YANG Dawei<sup>1,2,3\*</sup>

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

2. Shanghai Engineer & Technology Research Center of Internet of Things for Respiratory Medicine, Shanghai 200032, China

3. Shanghai Respiratory Research Institution, Shanghai 200032, China

**[Abstract]** The situation of tobacco control remains grim. Tobacco dependence is still a problem difficult to solve because of factors including unawareness of tobacco harm and reluctance to quit smoking among the public, poor treatment effects and compliance, and unmanageable smoking population, which leads to increasing health risk of nicotine dependence to smokers and even the whole society. Internet of Medical Things (IoMT) pursues the aim “complex problems are simplified, simple problems are digitized, digital problems are programmed, and program problems are systematized”. Using QSapp 5A system, it intends to build medical model of smoking cessation with a strong community base and wide coverage, providing solutions to current problems. However, IoMT still cannot get rid of time and space limitation. Such intractable limit gives rise to metaverse in medicine in which virtual reality and augmented reality are combined with medicine. BRM tries to break through time and space limit by holographic construction, holographic simulation, virtual-real integration and virtual-real linkage, promoting tobacco control to an unprecedented level.

**[Key Words]** tobacco control; metaverse in medicine; internet of medical things

吸烟无论是对吸烟者本人, 还是对与其同环境者, 都会造成不可忽视的身心损害。许多吸烟者尽管认识到了这一危害, 但仍无法摆脱吸烟行为。其中 1 个很大的原因是吸烟成瘾<sup>[1]</sup>。吸烟成瘾在医学

上被视为 1 种慢性疾病, 称为“烟草依赖”[国际疾病分类(ICD-10) 编码为 F17.2]。绝大多数吸烟者都存在不同程度的烟草依赖, 在戒烟过程中因既往成瘾而产生各种戒断症状, 这容易诱导吸烟者再次吸

**[收稿日期]** 2024-03-10

**[接受日期]** 2024-03-26

**[基金项目]** 国家自然科学基金(82170110), 福建省杰出青年科学基金项目(2022D014), 上海市浦江人才计划(20PJ1402400), 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, 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(shslczdk02201), 上海市健康科普人才能力提升专项(JKKPYC-2023-A20). Supported by National Natural Science Foundation of China (82170110), Fujian Science Fund for Distinguished Young Scholars (2022D014), Shanghai Pujiang Project (20PJ1402400), 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, 20DZ2261200), Shanghai Municipal Science and Technology Major Project (ZD2021CY001), Shanghai Municipal Key Clinical Specialty (shslczdk02201), Project of Promoting Ability of Medical Science Popularization for Young Talents in Shanghai (JKKPYC-2023-A20).

**[作者简介]** 郑郁婕. E-mail: zyj7320@163.com

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

烟。对抗烟草依赖成为戒烟控烟活动的关键问题之一。戒烟门诊为烟草依赖者提供了诸多帮助:专业卫生人员在评估吸烟者烟草依赖状态及程度的同时,也可以提供个体化的戒烟规划、药物及心理治疗,这些都有效提高了戒烟效果<sup>[2]</sup>。在专业人员帮助的同时,戒烟也需要来自社会和家庭的支持。总的来说,戒烟控烟早已不是一项简单的个人行为,而是一场需要全社会共同参与的集体活动。我国是世界上最大的烟草消费国,也是世界上最大的烟草受害国,如何有效地联系社会各方面,进一步推行控烟,是 1 个需要追求技术支持的问题。

## 1 烟草依赖是影响控烟的重要因素

尽管控烟活动已在我国开展多年,但其结果并不理想。据统计<sup>[3]</sup>,2018 年我国约有 3.08 亿吸烟者,其中 1.835 亿具有烟草依赖,这说明我国控烟任务艰巨。烟草依赖是引起吸烟者长期吸烟的主要原因之一,也是阻碍控烟的重要因素。

**1.1 烟草依赖的病理生理机制** 烟碱(nicotine),也称尼古丁,是烟草中的主要精神活性物质,也是引起烟草依赖的主要因素。烟碱型乙酰胆碱受体(nicotinic acetylcholine receptors, nAChRs)广泛分布于大脑和外周神经系统,在被烟碱激活后可发生脱敏(desensitization),即在此期间内不被受体激活。烟碱具有双重作用。在中脑腹侧被盖区(ventral tegmental area, VTA)等脑区,烟碱主要产生奖赏效应,引起吸烟者的欣快感。在内侧缰核-脚间核(medial habenula-interpeduncular nucleus, MHb-IPN)等脑区,烟碱则主要产生厌恶效应,引起吸烟者的不适感。烟碱的成瘾特性是这两种作用在多个脑区中整合后所得的净效应所引起的。

值得注意的是,不同脑区表达不同亚基组成的 nAChRs,可影响受体对配体的亲和力,进而影响受体的脱敏作用<sup>[4]</sup>。VTA 等脑区的 nAChRs 含有  $\beta_2$  亚型,脱敏较快,慢性烟碱暴露还可导致皮层中含有  $\alpha_4\beta_2$  的 nAChRs 表达增加。MHb-IPN 等脑区的 nAChRs 则以  $\alpha_5$ 、 $\alpha_3$  和  $\beta_4$  亚基为主。在长期吸烟,即慢性烟碱暴露的过程中,烟碱会引起大脑神经回路变化,表现为对药物厌恶特性的敏感性降低<sup>[4]</sup>。另一方面,烟碱作为 1 种强化剂,可以强化与吸烟感觉相关因素(如香烟在手里的感觉)的提示作用<sup>[4]</sup>。当吸烟者尝试戒烟时,容易出现戒断症状,包括烦躁易怒、注意力减退等,这些消极体验使得吸烟者对烟草的需求进一步增强<sup>[4]</sup>。

**1.2 烟草依赖的表现** 烟草依赖作为 1 种涉及生

理、心理和行为的精神障碍,表现为吸烟者耐受性增加、出现戒断症状、失去控制等。

耐受性增加是指随着吸烟时间的延长,吸烟者对烟碱的耐受程度逐渐提高,需要更多的烟碱以获得相同的效应。而随着吸烟者烟草依赖程度进一步升级,甚至会出现失控。这些患者明知吸烟危害,虽然在主观上有戒烟或控制烟量的愿望,但经历多次尝试后往往以失败告终,部分吸烟者甚至在罹患吸烟相关疾病后仍不能控制自己,无法做到彻底戒烟。戒烟者复吸是 1 个常见现象,在仅凭毅力戒烟的吸烟者中,只有不到 3% 的吸烟者能在戒烟后维持 1 年不吸烟。此外,吸烟者在戒烟成功之前,平均会尝试 6 到 9 次戒烟。因此,单靠毅力戒烟的成功率较低,只有极少数吸烟者能够完全依赖意志力成功戒烟并维持较长时间,绝大多数成功戒烟的个案需要多方面的支持,包括专业戒烟辅导、药物辅助和社会支持等。

戒断症状是指吸烟者在戒烟或停止吸烟后出现的一系列身体和心理上的反应。这是源于停用烟草后,体内的烟碱水平迅速下降以及大脑神经系统对烟碱的适应性改变。烟草依赖者更容易表现出戒断症状,包括吸烟渴求、焦虑、抑郁、不安、头痛、唾液腺分泌增加、注意力不集中、睡眠障碍等<sup>[5]</sup>。这些戒断症状具有一定的时间特征:可在停止吸烟后数小时即出现,且在戒烟最初 14 天内最为强烈,之后逐渐减轻至消失<sup>[5]</sup>。多数戒烟者的戒断症状持续 1 个月左右,但也有戒烟者在长达 1 年甚至以上的时间内表现出戒断反应<sup>[5]</sup>。心理依赖是指个体对吸烟行为与吸烟相关的经验、情境产生了 1 种强烈的欲望和依赖感,往往伴随着对愉悦、放松或缓解焦虑等心理效应的追求。这种依赖可以产生多种表现,例如强烈的欲望和渴求,情绪依赖,习惯性依赖;社交依赖,奖赏依赖等。戒断症状的出现更严重地阻碍了吸烟者的戒烟进程,也影响了控烟活动顺利进行。

## 2 目前的控烟行动难以解决烟草依赖的原因

**2.1 烟草危害知晓率低** 尽管社会各界长期宣传“吸烟有害健康”,但这样的宣传大多停留在抽象的口号上,未达到通俗易懂并深入人心的效果。绝大多数吸烟者知道吸烟有害健康,但对这一危害的认识一般只停留在肺癌等肺疾病的水平,却不知吸烟轻则与骨质疏松等疾病相关,重则与心脑血管疾病、糖尿病等疾病相关。绝大多数吸烟者都知道吸烟容易引起各类疾病,却不知这些疾病降低生活质量,造成极大的经济负担,给自己和家人带来长期痛苦。

**2.2 戒烟意愿低** 对于那些较充分认识到危害的烟草依赖者而言,戒烟也不是 1 件充满吸引力的事。烟草依赖者在戒烟后容易出现戒断症状,这些症状带来的痛苦阻碍他们坚持戒烟。同时,许多烟草依赖者也不了解科学可靠的戒烟方法,不科学的戒烟方法所带来的不愉快经历降低了他们的戒烟意愿。再则,大部分烟草依赖者没有 1 个合适的戒烟环境。我国烟草文化历史悠久,社会吸烟氛围浓厚。烟草不仅仅是 1 种消费品,更经常被视为礼品相互赠送。吸烟、敬烟已成为人们的重要社交手段之一。这种文化和社会环境下的烟草观念会影响人们的吸烟行为,这点不仅在成年人中广为流传,在青少年中也经常出现。青少年鉴别能力较差,同时往往具有强烈的社交需求和适应心理,受同伴的影响大,容易沾染吸烟的习惯。而在家庭中,家长的吸烟习惯也在潜移默化影响着子女。儿童或是青少年可能会模仿这一恶习。因社会大环境下浓厚的吸烟氛围,部分吸烟者为他人所感染,部分吸烟者则为了合群而不得不吸烟。对于他们而言,吸烟利大于弊。

**2.3 治疗有效率低** 我国吸烟者存在基数大、吸烟危害认知不足等问题,因此对控烟专业人员的需求量大,许多医疗机构均设有戒烟门诊。多年来这些卫生专业人员为控烟活动做出诸多贡献,引导着烟草依赖者获得新生。但总体而言,我国戒烟门诊开设较晚,发展较慢,目前还缺乏富有戒烟临床经验的专家和简便易行的方法指导基层医生。此外,我国目前在专业人员的培养上还未形成 1 套完整的体系,尽管理论在不断完善,但临床经验不容乐观。

**2.4 治疗依从性差** 尽管许多烟草依赖者接受戒烟相关治疗,但并未完全遵从医嘱,或是没有按时用药,或是没有遵循戒烟计划,或是没有及时复诊。治疗依从性差的背后既有吸烟者自身的因素,也有控烟者相关的因素。吸烟者对吸烟危害认知不足,对自身健康不关心,对控烟者不信任,这些都会影响他们的依从性。而控烟者对吸烟者情况评估不全,未制定个体化戒烟计划,对吸烟者关注不足,这也会反过来影响烟草依赖者对治疗的态度。

**2.5 戒烟管理难度大** 我国吸烟者基数庞大,但控烟事业起步晚,发展慢,缺乏有效、便捷的管理方法,以提高戒烟效率,能发挥强基层广覆盖作用的控烟体系还未建立。

### 3 物联网医学控烟提供支持

物联网(Internet of Things, IoT)原指应用射频

识别技术(RFID)和设备,按约定通信协议与互联网结合智能管理物品信息的技术。现在,IoT 的概念已拓展到通过互联网相互连接的网络,含全面感知、可靠传输与智能处理相应的硬件和软件技术。在此基础上发展而成的物联网医学(Internet of Medical Things, IoMT)则指的是应用物联网技术辅助健康和诊疗,以及医院信息化管理等领域而形成的交叉学科。在戒烟控烟领域,IoMT 可使“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”,运用 5A 程序形成新的智能化 QSapp 5A 戒烟系统,从而改善控烟效率。运用物联网医学,将共识指南应用于临床,可以协助建立强基层广覆盖的戒烟医疗模式,进而改变临床控烟难的现状(表 1)。

表 1 物联网医学协助临床戒烟

| 存在问题     | 物联网医学的优势                                                            |
|----------|---------------------------------------------------------------------|
| 烟草危害知晓率低 | 应用物联网技术平台提高宣传水平,辅助提高知晓率                                             |
| 戒烟意愿低    | 通过物联网技术平台,辅助云加端筛查模式,大幅度提高主动戒烟积极性                                    |
| 治疗有效率低   | 通过云加端物联网医疗模式辅助,将治疗下沉到基层医疗机构,甚至患者家中,提高治疗率                            |
| 治疗依从性差   | 通过云加端物联网医疗模式辅助,即资深专家作为“云”专家,指导基层医疗机构医生作为“端”医生,提高强基层广覆盖的戒烟治疗水平,提高依从性 |
| 戒烟管理难度大  | 制定切实可行的临床质量控制指标,通过 QSapp 5A 实践强基层广覆盖的云加端物联网医疗模式管理,颠覆性改变目前的管理效果      |

**3.1 QSapp 5A 程序** QSapp 5A 程序<sup>[6]</sup>是 1 款将 IoMT 应用于戒烟的程序,协助医生更好地评估和管理戒烟患者,通过规范化的程序简便易行地将手工业作坊式模式提升为同质化流水作业工程。

在临床实践中,医生可先根据中国临床戒烟指南(2015 年版)<sup>[5]</sup>的戒烟路径启动戒烟流程(图 1)。若患者同意接受戒烟治疗,即可根据 QSapp 5A 手机“端”这一基于微信(WeChat)的工具,通过页面选择键与“云”交流互动,精准评估和科学管理戒烟。患者在线登记基本信息后,医生即可根据 QSapp 5A “端”页面显示的 1A ~ 5A 逐项上传相关信息或检查结果,实时在线辅助评估和管理戒烟(图2)。

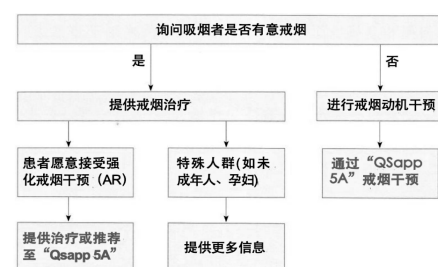


图 1 启动控烟流程



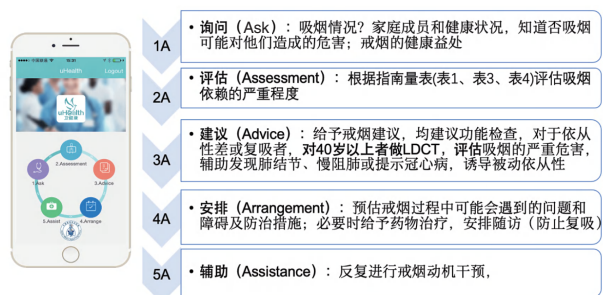


图2 QSapp 5A 辅助戒烟管理程序

3.1.1 1A(ask, 询问) 包括“1R”(revelance, 相关)及“1A”(ask, 询问), 使吸烟者认识到戒烟与其自身和家人的健康密切相关, 以便戒烟医生把握烟草依赖者心理, 对其进行引导。强调吸烟的严重危害、戒烟的目的和意义, 解除其犹豫心理, 使之产生强烈的戒烟愿望并付诸行动。

3.1.2 2A (assessment, 评估) 包括“2R”(risk, 危害)和“3A”(assessment, 评估), 使吸烟者认识到吸烟的严重健康危害, 也可使吸烟者认识到戒烟的健康益处(表 2<sup>[7]</sup>, 表 3<sup>[8]</sup>)。

表 2 法氏烟草依赖评估量表

| 评估内容                     | 0 分      | 1 分         | 2 分        | 3 分     |
|--------------------------|----------|-------------|------------|---------|
| 您早晨醒来后多长时间吸第一支烟?         | > 60 min | 31 ~ 60 min | 6 ~ 30 min | ≤ 5 min |
| 您是否在许多禁烟场所很难控制吸烟?        | 否        | 是           |            |         |
| 您认为哪一支烟最不愿意放弃?           | 其他时间     | 晨起第一支       |            |         |
| 您每天吸多少支卷烟?               | ≤ 10 支   | 11 ~ 20 支   | 21 ~ 30 支  | > 30 支  |
| 您早晨醒来后第 1 个小时是否比其他时间吸烟多? | 否        | 是           |            |         |
| 您患病在床时仍旧吸烟吗?             | 否        | 是           |            |         |

0 ~ 3 分: 轻度烟草依赖; 4 ~ 6 分: 中度烟草依赖; ≥ 7 分: 重度烟草依赖。

表 3 吸烟严重度指数

| 评估内容             | 0 分      | 1 分         | 2 分        | 3 分     |
|------------------|----------|-------------|------------|---------|
| 您早晨醒来后多长时间吸第一支烟? | > 60 min | 31 ~ 60 min | 6 ~ 30 min | ≤ 5 min |
| 您每天吸多少支卷烟?       | ≤ 10 支   | 11 ~ 20 支   | 21 ~ 30 支  | > 30 支  |

≥ 4 分: 重度烟草依赖。

3.1.3 3A (advice, 建议) 包括“2A”(advise, 建议戒烟)。为提高依从性, 建议对所有烟草依赖者, 均做功能检查, 对于依从性差或复吸者, 特别是 40 岁以

上者, 均建议做低剂量 CT(LDCT), 评估吸烟造成的危害, 辅助发现肺结节、慢阻肺或提示冠心病, 更大程度地诱导烟草依赖者的被动依从性。

3.1.4 4A(arrangement, 安排) 包括“4R”(roadblocks, 障碍)和“5A”(arrange followup, 安排随访)。使吸烟者知晓和预估戒烟过程中可能会遇到的问题和障碍。同时, 让他们了解现有的戒烟干预方法(如咨询和药物)帮助他们克服这些障碍。

3.1.5 5A (assistance with IoT, 物联网辅助) 包括“5R”(repetition, 反复), 即对吸烟者反复进行上述戒烟动机干预; 也包括“4A”(assist, 帮助), 便于查询引用, 更包括质量控制, 利于烟草依赖者了解现有的戒烟干预方法(如咨询和药物)。

3.2 实践 IoMT 辅助控烟的医务人员 参与 IoMT 辅助控烟的医务人员由“云”专家和“端”医生(包括社区医生)组成, 由前者指导后者, 以便更加精细、动态和“智慧”地诊治或管理烟草依赖者。

3.2.1 “云”专家要求 “云”专家, 将作为研判(研究判定)专家。首先应为具有医生执业证书, 接受过专业培训, 参加国内外指南共识制定, 且有丰富临床经验的医生。其不单需要了解烟草依赖的病因、发病机制、诊断和鉴别诊断, 还需要熟悉根据病理和分子病理学结果, 提出诊断、鉴别诊断和治疗方案; 可针对不同患者特征, 给予个体化教育、治疗、康复和二、三级预防建议, 帮助“端”医生管理病人; 参考、接受物联网辅助临床质量控制, 远程监测患者, 辅助家中管理, 合用元宇宙技术赋能其他模式做不好的医疗工作。

3.2.2 初评医生和其他人员的要求 “云”专家之外的所有医生, 护士或技术人员, 都应该接受烟草依赖二、三级预防工作的培训和考核, 以及如何配合云专家工作, 协助“云”专家个体化管理患者。

3.3 临床质量控制指标 IoMT 辅助控烟的体系中还涉及一系列的临床控制指标, 包括吸烟史比率、CT 检查比率、肺功能检查比率、肿瘤标志物检查比率、戒烟 5 年以上比率、1 年后复吸比率、戒烟次数 3 次以上比率、治疗方案复核比率、生活质量评分比率、治疗后随访比率、双向转诊比率、健康教育比率等。这些指标有助于全面评估戒烟者状况, 包括其基础健康状况、戒烟依从性和戒烟效果等, 便于医务人员从客观层面掌握患者情况, 更灵活可靠地制定戒烟计划, 也评估了 IoMT 在戒烟控烟中的应用情况, 便于设计者优化平台, 为戒烟控烟提供更合适的技术支持。

(1) 采集吸烟史比率。定义为戒烟患者采集吸

烟史例数之和与所有戒烟患者例数之和的比率。计算公式:采集吸烟史比率=戒烟患者采集吸烟史总例数/戒烟患者总例数 $\times 100\%$ 。

意义:吸烟是预测恶性肿瘤的独立因子之一,也是中国戒烟最主要的危险因素。了解患者吸烟史以便总体掌握治疗方向。

(2)CT 检查比率。定义为戒烟患者 CT 检查例数之和与所有戒烟患者例数之和的比率。计算公式:CT 检查比率 = 戒烟患者 CT 检查总例数/戒烟患者总例数 $\times 100\%$ 。

意义:进行 CT 检查可以帮助戒烟者发现早期肺部疾病,评估肺部健康,监测肺部损伤修复,排除其他呼吸系统疾病,并制定个性化的治疗计划,从而促进戒烟者的健康和生活质量。

(3)肺功能检查比率。定义为对戒烟患者行肺功能检查例数之和与所有戒烟患者例数之和的比率。计算公式:肺功能检查比率 = 戒烟患者行肺功能检查总例数/戒烟患者总例数  $\times 100\%$ 。

意义:戒烟者进行肺功能检查有助于监测肺部健康的改善,评估戒烟效果,并促进呼吸系统的健康,从而提高生活质量并减少呼吸道疾病的风险。

(4)肿瘤标志物检查比率。定义为对戒烟患者行肿瘤标志物检查例数之和与所有戒烟患者例数之和的比率。计算公式:肿瘤标志物检查比率 = 戒烟患者行肿瘤检查总例数/戒烟患者总例数  $\times 100\%$ 。

意义:胃泌素释放肽前体(Pro-GRP)、神经特异性烯醇化酶(NSE)、癌胚抗原(CEA)、细胞角蛋白片段 19(CYFRA21-1)以及鳞状细胞癌抗原(SCC)等,可作为标志物应用于肺部结节或肺癌的鉴别诊断。激励戒烟者坚持戒烟,同时采取健康的生活方式,以减少肺癌和其他癌症的风险。

(5)戒烟 5 年以上比率。定义为戒烟患者成功戒烟 5 年以上例数之和与所有戒烟患者例数之和的比率。计算公式:戒烟 5 年以上比率 = 戒烟患者成功戒烟 5 年以上总例数/戒烟患者总例数  $\times 100\%$ 。

意义:戒烟患者成功戒烟 5 年以上具有显著的健康益处,包括降低癌症和心血管疾病风险,改善肺功能,提高生活质量,降低医疗成本,同时也有积极影响社会和身边人的作用。

(6)1 年后复吸比率。定义为戒烟患者 1 年后复吸例数之和与所有戒烟患者例数之和的比率。计算公式:1 年后复吸比率 = 戒烟患者成功戒烟 1 年后复吸总例数/戒烟患者总例数  $\times 100\%$ 。

意义:戒烟不是一蹴而就的过程,而是 1 个长期、反复努力的过程。即便吸烟者意识到戒烟的重要性,多数吸烟者在戒烟后会有复吸的经历,这是 1 种常见现象。了解戒烟患者 1 年后复吸情况有助于临床医生评估患者的戒烟情况以及进行干预治疗方案的调整。

(7)戒烟次数 3 次以上比率。定义为戒烟患者戒烟次数 3 次以上例数之和与所有戒烟患者例数之和的比率。计算公式:戒烟次数 3 次以上比率 = 戒烟患者戒烟次数 3 次以上总例数/戒烟患者总例数  $\times 100\%$ 。

意义:戒烟是 1 个长期且艰难的过程,很多人都会经历多次尝试才最终成功。了解戒烟患者的戒烟次数有助于临床医生评估患者的戒烟情况以及调整干预治疗方案。

(8)治疗方案复核比率。定义:戒烟患者治疗方案复核例数之和与所有戒烟患者例数之和的比率。计算公式:治疗方案复核比率 = 戒烟患者治疗方案复核比率总例数/戒烟患者总例数  $\times 100\%$ 。

意义:复核戒烟患者的治疗方案,对提高分级诊疗具有重要意义。

(9)生活质量评分比率。定义为戒烟患者生活质量评分例数之和与所有戒烟患者例数之和的比率。计算公式:生活质量评分比率 = 戒烟患者生活质量评分总例数/戒烟患者总例数  $\times 100\%$ 。

意义:戒烟患者生活质量评分 (quality of life, QoL)是评估患者在生理、心理、社会和情感层面上的主观感受和体验的 1 种评估工具。这种评分体系能够客观地衡量患者在疾病治疗和生活中的幸福感、舒适度、心理健康以及生活功能。

(10)治疗后随访比率。定义为戒烟患者治疗后随访例数之和与所有戒烟患者例数之和的比率。计算公式:治疗后随访比率 = 戒烟患者治疗后随访总例数/戒烟患者总例数  $\times 100\%$ 。

意义:对戒烟患者进行治疗后随访,对提高分级诊疗具有重要意义。

(11)双向转诊比率。定义为戒烟患者双向转诊例数之和与所有戒烟患者例数之和的比率。计算公式:双向转诊比率 = 戒烟患者双向转诊总例数/戒烟患者总例数 $\times 100\%$ 。

意义:对戒烟患者进行双向转诊,对提高分级诊疗具有重要意义。

(12)健康教育比率。定义为对戒烟患者行健康教育例数之和与所有戒烟患者例数之和的比率。计算公式:健康教育比率 = 戒烟患者健康教育总例



数/戒烟患者总例数 × 100%。

意义：戒烟对患者的健康有着极为重要的意义。戒烟不仅可以改善患者的身体健康,还能提高生活质量并降低患慢性疾病的风险。

4 元宇宙医学赋能控烟

IoMT 尽管在戒烟控烟领域展现了广泛优势,但也在实践中暴露出不足之处: 由于时空的限制,“云”专家无法实地开展科普和专业讲座,无法全时空指导“端”医生的戒烟工作;因为缺乏实时质量控制,戒烟过程中仍存在相当程度的手工业作坊式问题。对此,元宇宙医学能够提供解决方案。

元宇宙医学是通过虚拟现实 (virtual reality, VR)和增强现实(augmented reality,AR)技术实施的物联网医学<sup>[9]</sup>。在物联网感知、传输和智能处理 3 大基本流程的基础之上,融入 AR、VR、XR、MR 和数字人,通过全息构建、全息仿真、虚实融合和虚实联动四大过程,就可以解决困扰 IoMT 的时空限制,便于控烟医务人员随时随地展开工作(表 4)。

表 4 元宇宙医学赋能控烟

| 存在问题     | 元宇宙医学赋能解决问题                                                          |
|----------|----------------------------------------------------------------------|
| 烟草危害知晓率低 | 应用元宇宙医学技术特点,在物联网技术平台上,进一步提高宣传水平,赋能提高知晓率。                             |
| 戒烟意愿低    | 通过元宇宙医学技术平台,赋能云加端医疗模式,下沉到基层医疗机构,大幅度提高烟草依赖者的戒烟意愿。                     |
| 治疗有效率低   | 通过云加端元宇宙医疗模式辅助基层医生,将治疗下沉到基层医疗机构,提高戒烟治疗有效率。                           |
| 治疗依从性差   | 通过云加端元宇宙医疗模式辅助,请资深专家作为“云”专家,指导基层医疗机构医生作为“端”医生,提高强基层广覆盖的戒烟治疗水平,提高依从性。 |
| 戒烟管理难度大  | 制定切实可行的临床质量控制指标,通过 QSapp 5A 实践强基层广覆盖的云加端元宇宙医疗模式管理,颠覆性提升管理效果。         |

4.1 具象化吸烟对人体的影响 运用元宇宙医学,将吸烟后人体的变化从原本的二维平面显示转化为三维乃至四维的展示(图 3)。这一虚拟投影不仅可以展示人体的大体变化,还能表现出各器官细微结构,乃至分子层面的变化。同时,这一变化还能结合时间进程进行展示,甚至结合患者本人的真实情况进行展示。吸烟患者和医务人员可以借此充分了解吸烟对人体的危害。对于患者而言,这样的展示有助于提高他们的烟草危害知晓率,从而提高其治疗意愿和依从性。对于医务人员而言,在提升专业认知的同时,也可以进一步知晓患者本人的实际情况,为患者制定更为个性化的戒烟计划。

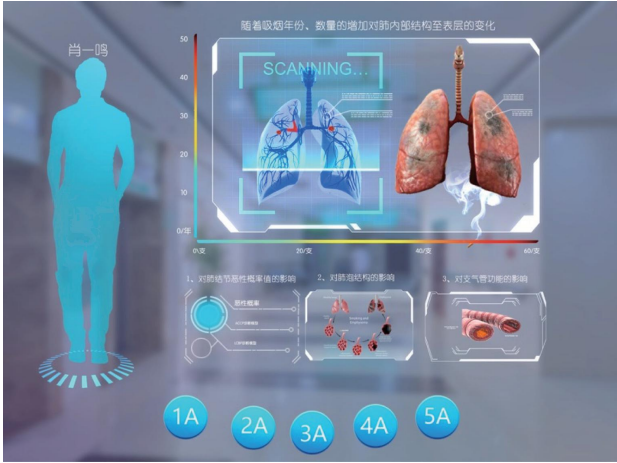


图 3 具象化吸烟对人体的影响

4.2 BRM 健康医疗一体机辅助控烟 BRM 一体机全称 BaiDX plus RealMax in Medicine 一体机,为云加端元宇宙教学和医疗一体机,指应用云加端物联网医学技术,将“云”专家(资深专家)、“端”医生(一线医生,特别是基层医生)和服务对象(受培训学员,或接受诊疗患者)融合在一起的新型医疗模式,可以颠覆性提高基层医生的同质化诊疗水平,是落实“强基层,广覆盖”医疗的利器。

将这一技术运用在戒烟领域,有望实现的主要功能包括(图 4):(1)通过 AR 技术的显示和交互方式(语音/头动/手势/点击屏幕等)、5A 流程相关步骤显示烟草依赖患者健康状况图像资料等信息,对戒烟者实施精准评估和诊疗。(2)虚实互动教学:帮助“云”专家指导“端”医生进行戒烟诊疗实践,将指南用到虚拟培训中;(3)医疗服务:扫描识别患者的二维码(或其他 MARK),调取相关信息资料,进行戒烟相关的物联网咨询和线上诊疗。



图 4 BRM 健康医疗一体机辅助控烟

4.3 元宇宙医学协助肺康复训练 目前戒烟时的肺康复训练多基于二维影像和实地指导进行。但二维影像无法实时地像患者展示其肺功能变化,也难以为其提供技术指导,使得患者无法规范完成肺康



复训练,因此难以取得理想治疗效果,导致患者依从性减退。通过元宇宙医学平台,医务人员得以便捷地向患者提供康复训练指导,也可以实时观察患者的训练效果;而患者也能够便捷地向医生咨询康复事宜,实时观察自己的康复训练,提高康复信心(图 5)。

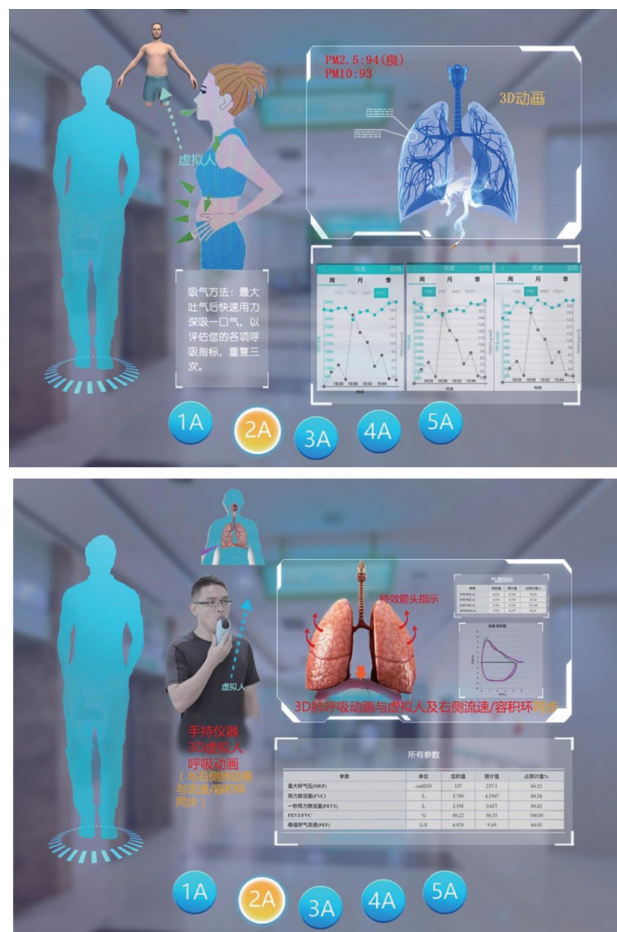


图 5 元宇宙医学协助肺康复训练

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 郑郁婕:论文选题、撰写、修改;孙梦婷:论文修改;杨达伟:整体架构、撰写思路设计。

#### 参考文献

- [1] BENOWITZ N L. Pharmacology of nicotine: addiction, smoking-induced disease, and therapeutics [J]. Annu Rev Pharmacol Toxicol, 2009, 49: 57-71.
- [2] CARSON K V, VERBIEST M E A, CRONE M R, et al. Training health professionals in smoking cessation [J]. Cochrane Database Syst Rev, 2012, 2012(5): CD000214.
- [3] LIU Z, LI Y H, CUI Z Y, et al. Prevalence of tobacco dependence and associated factors in China: findings from nationwide China Health Literacy Survey during 2018-19 [J]. Lancet Reg Health West Pac, 2022, 24: 100464.
- [4] LE FOLL B, PIPER M E, FOWLER C D, et al. Tobacco and nicotine use[J]. Nat Rev Dis Primers, 2022, 8(1): 19.
- [5] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 中国临床戒烟指南 (2015 年版)[J]. 中华健康管理学杂志, 2016, 10(2): 88-95.
- [6] Clinical Practice Guideline Treating Tobacco Use and Dependence 2008 Update Panel, Liaisons and Staff. A clinical practice guideline for treating tobacco use and dependence: 2008 update. A U.S. Public Health Service report[J]. Am J Prev Med, 2008, 35(2): 158-176.
- [7] HEATHERTON T F, KOZLOWSKI L T, FRECKER R C, et al. The Fagerström Test for Nicotine Dependence: a revision of the Fagerström Tolerance Questionnaire [J]. Br J Addict, 1991, 86(9): 1119-1127.
- [8] HEATHERTON T F, KOZLOWSKI L T, FRECKER R C, et al. Measuring the heaviness of smoking: using self-reported time to the first cigarette of the day and number of cigarettes smoked per day[J]. Br J Addict, 1989, 84(7): 791-799.
- [9] YANG D W, ZHOU J, SONG Y L, et al. Metaverse in medicine. Clin eHealth, 2022, 5: 39-43.

#### 引用本文

郑郁婕,孙梦婷,白春学,等. BRM 一体机应用于控烟[J]. 元宇宙医学,2024, 1(1):82-88.

ZHENG Y J, SUN M T, BAI C X, et al. Applying BRM to tobacco control[J]. Metaverse Med, 2024, 1(1): 82-88.

DOI:10.61189/139511ivwwme

·伦理与法规·

# 元宇宙医学的法律规制完善进路 ——以数字孪生的医学应用为例

吴静萱<sup>1</sup>, 孙梦婷<sup>2,3</sup>, 杨达伟<sup>2,3,4\*</sup>

1. 复旦大学法学院, 上海 200438
2. 复旦大学附属中山医院呼吸与危重症医学科, 上海 200032
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

**[摘要]** 元宇宙医学是以扩展现实、物联网、人工智能、数字孪生等技术为核心的医学前沿构想,力图化解当前中国传统医疗模式的困境。但是,相关法律规制的缺乏在客观上限制了元宇宙医学的进一步发展。从数字孪生这一极具医学潜力的元宇宙技术出发,探讨相关法律的制度应对与价值重构。数字孪生医学应用涉及人权、医事、算法 3 个侧面,其争议焦点有:知情同意机制待完善、主体范围资格待限定、损害责任归属待明确。从数字孪生医学应用的争议解决,透视元宇宙医学的整体法律规制完善进路。国内组织模式上,应当找到稳定的法益保护内核以建立算法社会的新型法秩序;国际组织模式上,国际公法可以发挥统筹协调机能,建立全球化医学元宇宙。

**[关键词]** 元宇宙医学;数字孪生;法律规制

**[中图分类号]** R-052/TP399 **[文献标志码]** A

## An improvement approach of legal regulation on the metaverse in medicine: taking medical application of digital twins as an example

WU Jingxuan<sup>1</sup>, SUN Mengting<sup>2,3</sup>, YANG Dawei<sup>2,3,4\*</sup>

1. Fudan University Law School, Shanghai 200438, China
2. Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China
3. Shanghai Engineer & Technology Research Center of Internet of Things for Respiratory Medicine, Shanghai 200032, China
4. Shanghai Respiratory Research Institution, Shanghai 200032, China

**[Abstract]** The metaverse in medicine is a cutting-edge conception in the field of medicine centered on technologies such as virtual reality, the Internet of Things, artificial intelligence, and digital twins, which seeks to resolve the dilemmas of the current situation of healthcare in China. However, the lack of legal regulation has objectively limited further development of metaverse in medicine. Starting from digital twins, a representative technology with great potential in this field, we discuss the institutional response and value reconstruction of related laws. The medical application of digital twins involves human rights, medical affairs and algorithms. How to improve informed consent mechanism, how to limit subject scope qualification, and how to clarify damage responsibility attribution together contribute the key issues in resolving the controversies. From the dispute resolution of digital twin medicine application, we can conclude an improvement approach of the overall legal regulation of metaverse in medicine. On the domestic organization mode, a stable legal interest protection core should be found to establish a new legal order of the algorithmic society. On the international organization mode, the public international law can play a coordinating and restraining function to establish a globalized medical metaverse.

**[Key Words]** metaverse in medicine; digital twin; legal regulation

**[收稿日期]** 2024-03-20

**[接受日期]** 2024-03-27

**[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]** 吴静萱. E-mail: jingxuanwu22@m.fudan.edu.cn

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

## 1 背景

**1.1 元宇宙医学概述** 元宇宙是人类运用数字技术构建的,由现实世界映射或超越现实世界,可与现实世界交互的虚拟世界<sup>[1]</sup>。自 2021 年元宇宙概念迅速进入大众视野以来,引发了社会各界广泛讨论。元宇宙关键技术是现有新兴信息技术的综合集成,包括网络及运算技术(5G、6G、物联网、云计算、雾计算及边缘计算)、管理技术(能耗管理、资源管理、会话管理及时空一致性管理)、虚实对象连接、建模与管理技术(X 联网、身份建模、社会计算、去中心化管理技术)、虚实空间交互与融合技术(拓展现实、电子游戏技术、脑机接口技术)等<sup>[2]</sup>。

近年来,由于互联网技术的快速发展,建立整合型医疗服务体系成为世界卫生改革的重要趋势。比如,美国凯撒医疗集团模式,通过连接保险公司和医疗机构,解决医疗资金紧张问题;通过信息共享,实现不同层级医疗机构的多级诊断服务。英国福利型国家医疗模式,将福利制度对接医疗,以公立医院、社区医院、诊所和养老院为单位实现分级诊疗。德国区域性公共合同模式,医疗服务直接由联邦政府组织,政府直接规划建设服务体系、强制实施社会保险筹资、承担特殊人员医疗费用,优化了医疗资源配置<sup>[3]</sup>。

基于历史性的城乡二元结构,我国传统医疗模式面临“三低、二难、四差”的问题。具体而言,由于医院资源与医师经验的差异,小医院存在高端设备覆盖率低、技术掌握度低、认可度低的“三低”现状;大量患者投奔大医院求医问药,不仅导致看病难、入院难的“二难”,也引发了专家诊疗时预防差、保健差、管理差、康复差的“四差”困境<sup>[4]</sup>。如何优化医疗保障制度、优化医疗资源配置,如何建立 1 个现代、有序、贯通的医疗服务体系,成为亟待解决的命题。实践层面,我国也正在推进医疗联合体建设。如,2011 年,上海首个城市医联体“瑞金—卢湾医联体”成立,实现检查互认、预约诊疗、双向转诊的信息化资源共享;2012 年,中日友好医院率先建立了边远贫困地区发展远程医疗协作网,促进远程会诊、建立区域转诊平台。

进一步将目光从互联网推及到元宇宙,应用物联网、扩展现实等数字化技术成为现今搭建新型医疗模式的突破口。2022 年,白春学教授等<sup>[5]</sup>多位多学科专家发表 *Expert consensus on the metaverse in medicine*,此共识提出,元宇宙医学是以 AR/VR 眼镜为媒介实现的物联网医学。元宇宙医学的愿景是

建立 1 个沟通现实与虚拟的网络医学平台,实现医护人员、患者、家属间多维互动。在患者端,促进疾病的预防与早筛,追踪治疗进展与康复过程,实现医学科普;在医护端,促进医患沟通与术中支持,推动病理研究与药物研发,实现医护继续教育。要使医学元宇宙的构想落地,需要建立 1 个完善的医疗数据库,并将患者的健康数据可视化,以数字孪生模型乃至“数字人”的形式呈现在元宇宙中,使元宇宙环境下的病理研究、治疗方案讨论成为可能。

**1.2 技术、医学与法律之张力** 技术与医学之间存在张力,由于医学天然地关注生命伦理,它必须比技术更加谨慎、保守。尽管如此,医学前沿发展仍然积极地拓宽着人们想象与认知的边界,但法律自始存在滞后性。由于法律具备惩罚的权力,规定最底线的道德,它必须比医学、技术更加保守。抽象、概括、定型的法律形成总是遵循审慎的精神,需要经历长时间的考察、审视、提炼。

医学与法律之间的张力,不仅是新兴与保守的张力,还是个体与公权力的张力。居于个体地位的医学工作者可能受制于法律之强制性公权力,从而无法在未有规定法律的情况下继续推进研究。立法者站在慎用公权力的立场上,则认为需要更长时间的研判才能对此做出体系化的规定。

过去,面对科技,法律一般要经历从管制到回应的立法模式转变。然而这两种模式只是被动的制度性应对,不是主动的价值性重构。“立宪”被视为现代国家诞生的始点,“法治”超越了人们对诸如“哲学王”统治的人治模式的想象,建立起 1 个新的社会治理体系。身处风险社会的不安与无序,使得人们更加寄希望于法律来介入解决所有社会治理问题。但正因法律之保守性,很难期待法律作为 1 种激进突破的革命性力量,以打破旧秩序、构建新秩序。

客观上,当前法律规制的缺乏限制了元宇宙医学的发展。本文拟从数字孪生这一极具医学应用潜力的元宇宙技术着手,探究其所面临的新型法律争议,以窥元宇宙医学法律规制的完善进路。

## 2 数字孪生医学应用与现有法律规制

**2.1 数字孪生的医学应用** 数字孪生(digital twin, DT)技术最早应用于航空航天领域,其基本定义<sup>[6]</sup>是指在信息空间内对 1 个结构、流程或者系统进行完全的虚拟映射,使得使用者可以在信息空间内对物理实体进行预运行,通过运行反馈回来的数据对物理实体的各方面进行评估,对产品或系统的设计进行优化。



在元宇宙医学领域,数字孪生有广泛的应用前景。通过物联网设备、基因检测等途径采集健康数据,上传至元宇宙中,运用人工智能与云计算等技术构建出人体数字孪生模型。基于此模型,不但可以进行实时健康监测、疾病风险预防,还可以实现疾病干预的效果模拟与预测。目前,数字孪生技术的医学应用已取得阶段性成果。如,精准医疗领域,已有学者搭建了多发性硬化症患者特异性脑萎缩的发生模型;世界范围内,各企业也在着力建设数字孪生医学模型,以促进临床研究与实验。

**2.2 解构再整合:现有法律规制缺失之应对** 元宇宙医学以及数字孪生医学应用都是新兴科技发展带来的新型命题。法律难以在短时间内形成 1 个完善的制度性框架。现有的相关立法散见于《中华人民共和国民法典》第四编第六章“隐私权和个人信息保护”与第七编第六章“医疗损害责任”、《中华人民共和国个人信息保护法》《中华人民共和国基本医疗卫生与健康促进法》(下称《卫健法》)、《中华人民共和国疫苗管理法》(下称《疫苗管理法》)、《中华人民共和国医师法》等,并可参考《国务院办公厅关于促进“互联网+医疗健康”发展的意见》。

法律必须应对快速发展的时代,在此,采取要素解构再整合的思路来考量法律的系统化应对。数字孪生的医学应用涉及人权、医事、算法 3 个侧面,而现实的法律争议涉及法律主体、法律关系、法律客体 3 个方面。数字孪生医学应用的具体流程可拆解为前期采集医疗数据、数据输入孪生模型并模拟治疗、确定最终实际诊疗方案,总体包含三大法律问题:如何规范医疗数据用途、如何保障患者自决权、如何厘清诊疗过程的责任归属。这分别对应以下的法律争议及其解决:知情同意机制待完善、主体范围资格待限定、损害责任归属待明确。

### 3 数字孪生医学应用的争议解决

**3.1 知情同意机制待完善** “个人信息”与“隐私”的概念都具有不确定性,无法轻易用列举的方式加以阐明。在当前的信息社会,个人信息是与个人相关、反映个人特征、可识别的表达符号。相较而言,隐私的界定更加主观。1890 年,Louis D. Brandeis 和 Samuel D. Warren 在 *The Right to Privacy* 中正式提出“隐私权”概念,并将其视作 1 项“独处的权利”(right to be let alone)。不妨说,隐私权背后是 1 种“免于干涉”的消极自由,因而隐私的界定似乎也就只能依靠当事人个性化的肯定或排除了。

正因为信息与隐私的概念模糊性,将其作为权

利加以保护时,往往采取“个人表达知情同意,即算作得到许可”的点对点模式。目前,个人信息保护中的知情同意原则<sup>[7]</sup>,指在收集和处理信息之时,应将有关个人信息收集和处理的充分告知个人信息主体,并征得其明确同意。医疗中的知情同意权<sup>[8]</sup>,是指患者接受医疗的过程中,有权知悉医方对病情的诊断结果及相关资料、拟采取的医疗措施及风险、其他可选择方案等关系患者生命健康的重要内容信息;以及就与医疗相关的信息向医方咨询并获得如实、及时解答的权利,并可以对医务人员采取的医疗行为做出接受或者拒绝的自主决定权。然而现实中,知情同意机制正在走向失灵、失控。个人信息领域,信息收集者以隐私政策的格式条款为形式履行告知义务,但这些条款多数冗长、混乱,大众不易辨别。同时常常伴随不同意隐私条款即不能使用相关服务的情况,服务提供方利用这种具有强迫性质的权力向个人施压。医疗领域,由于诊疗方案中专业知识的沟通难度、危重症情况下时间紧迫,患者及其家属方也处在相对弱势的地位。而在基于数字孪生技术的元宇宙医疗中,存在个人信息与医疗的领域交叉,使得知情同意机制的完善更显必要。

医学元宇宙本身的特质有望改善上述情况。元宇宙可以承担教育科普功能且形式多样。医护人员履行讲解告知义务可以跳出传统框架,结合音视频、AR/VR 等多种手段,帮助患者理解诊疗方案。由于健康信息与生物识别信息的特殊性,应当对数据设置更强的管理限制,采用“一事项一知情同意”或“分类事项知情同意”。也即,在数字孪生的医学应用方面,大体上至少需要经过 2 轮的知情同意确认:第一,患者需同意进行必要的健康数据采集;第二,需同意将这些数据用于数字孪生模型的模拟诊疗。

同时必须指出,目前的知情同意条款背后存在风险分配的失衡。这类协议的签订双方往往是个人和医院、平台或企业等。首先,医院、平台或企业等显然具备比个人更强的风险承担能力。其次,以往发生的信息泄露事件常常是由于信息收集方的安全性漏洞甚至出于得利的故意而导致的。如今,立法的精神从惩罚走向预防,那么,必须要考虑法律上的归责能达到更好的预防效果。因此,无论信息泄露的风险还是诊疗失败的风险,都不能够将主要风险转嫁到相对弱势的个人,而应当平衡各个流程中的风险分配。

#### 3.2 主体范围资格待限定

**3.2.1 适用主体范围** 通过自然人的健康数据创造数字孪生模型,必须有自然人知情同意的意思表示

示。那么,无法进行意思表示的自然人,包括限制民事行为能力人、无民事行为能力人,以及因故暂时无法表达意思的自然人,能否进入、经何途径进入元宇宙以应用数字孪生诊疗模型成为待解决的问题。

《卫健法》第三十二条第三款规定,开展药物、医疗器械临床试验和其他医学研究应当遵守医学伦理规范,依法通过伦理审查,取得知情同意。《疫苗管理法》第十八条则具体规定了开展疫苗临床试验时,针对不同受试者的知情同意的取得。医学元宇宙的数字孪生主要用于疾病监测、临床试验等医学研究,虽然其研究是在虚拟实体模型上进行,仍然有必要取得受试者或能代替受试者做出意思表示的相关人的知情同意。

具体而言,对于无民事行为能力人,应取得监护人的知情同意;对于限制民事行为能力人,应取得本人及其监护人的知情同意。在此情形中,胎儿不具有民事行为能力,也不具有民事权利能力,虽可以主张经母亲同意使胎儿作为独立个体进入医学元宇宙,但事实上,将胎儿信息纳入母体信息中是更有效率的。另外,对于因故暂时无法表达意思的自然人,比如注射了镇静剂的危重症患者,家属在场的应当遵循家属意愿,未能与家属取得联系的,视情况启用医院的相关应急处理程序。总体上,医学元宇宙与数字孪生技术的使用应当遵循自愿原则。

**3.2.2 “数字人”的法律资格** 在元宇宙发展的宏观尺度上,基于自然语言处理、知识图谱等技术,通过持续学习某一个体的肢体、语料,有望搭建起 1 个足以模拟本人思考模式、逻辑体系的“数字人”。问题随之产生:数字人具备何等法律资格?

假使 1 个危重症患者因病所需注射了镇静剂而陷入睡眠状态,但是又必须在短时间内做出后续的诊疗决策。同时,在过去多年间,该患者持续将自己的日记投喂给数字模型,以至训练出了 1 个能够模仿其语言表达、逻辑思维的元宇宙数字人,准确率在过去的实验中几乎达到 100%。医生将可能的方案与风险一并告知在场家属与数字人,如果家属与数字人的选择不同,或是家属内部的意见不统一,应当遵循哪方的决定似乎就会成为 1 个争议焦点。

现实中,的确存在法定监护人和家属滥用自己的主导地位,致使欠缺行为能力的患者处于相对弱势的现象。考虑到健康权、生命权是独占性、排他性的个体权利,应当尽可能地尊重患者本人存余的意思表示。但是,数字人要做出能够代表本人的真实意思表示,必须以模型之精确性、安全性与数据之真实性为前提。因而,较为稳妥的方法仍然是采取

事前授权,由本人确认在危急情况下授予数字人以意思表示的代替性权利。

**3.3.3 损害责任归属待明确** 数字孪生在精准医疗中有很大应用前景。在采集个人基因组信息、蛋白质组与代谢组等相关内环境信息的基础上,有望为患者打造个性化医疗方案。但是,当人工智能技术筛选出的可行方案与医生的专业判断、过往经验的合理解释有出入时,如何做出诊疗决策就成为待解决的问题。若采用人工智能诊疗方案而出现治疗失败的情况,还需进一步确定责任归属。

在诊疗决策上,数字孪生的诊疗预测在元宇宙中开展,可被定性为“准临床试验”。若这种诊疗预测得出的方案实际应用于患者的实际治疗中,则应被定性为“临床试验”,是准临床试验的现实化。那么,在诊疗决策的节点,医护人员首先应当告知患者所有可能的诊疗方案与医疗风险。如果患者选择数字孪生系统给出的治疗方案,则视作知情并同意参与临床试验。按照临床试验的情形对受试者与医护人员予以救济和权益保护。

另外,医疗损害还可能源于智能医疗设备的数据监测阶段。如果要达到医学元宇宙的广泛覆盖,需要在生活中实现持续的健康数据监测,比如,智能手表就是 1 种很有潜力的融合模式。但是,当前非医用的可穿戴健康监测设备或多或少都存在精度偏差。一方面,医用健康数据需要设立 1 个精度标准;另一方面,因数据监测错误引发的医疗损害,设备开发方应当承担相应责任。

## 4 元宇宙医学的法律规制完善

**4.1 国内组织模式的建构:算法社会的新型法秩序与法益保护的稳定内核** 古代社会是孤立隔绝的社会,依赖于习惯、惯例,维护固定僵化的、等级特权的社會关系。现代社会走出人的依赖关系,建立物的全面交换,逐渐找到人的独立性。这是如今能够平等谈论人之权利的思想基础。1688 年英国立宪宣告了第 1 个现代国家的成立,但历史流变至今,仍没有 1 个国家能够走进“第 3 个社会形态”,实现人的充分自由全面的发展。

长期以来,争取人的独立与自由仍然是悬而未决的命题,社会关系在这期间已然经历了巨大改变。蒸汽机与电气引领的工业革命时代,争议焦点相对典型而集中,主要是野蛮资本主义制度下个人相对资本与政府的失权。当今社会,算法带来颠覆性的变革,比如,基于算法推荐的个人信息利用得到广泛接受,并不被视为侵权;网络暴力等特定背



景下,“社会性主体”的强势介入不容忽视。在现代化进程中,我国属于后发国家,这就导致我国立法最初采取 1 种移植转化的策略。显然,用蒸汽机时代的法律来应对算法时代的问题是不现实的。更加多元的主体介入带来更加复杂的法律关系,影响着社会治理中的责任分配,因而有必要建立算法社会的新型法秩序。

元宇宙医学必须回应个人信息保护、医疗损害责任等问题,首先要考虑到个人在这些法律关系中所处的弱势地位。如果采用民事诉讼的现有一般思路,“谁主张谁举证”“只要签订知情同意即免责”,个体的维权常常难以进行。目前的首要问题是要防止资本与权力的合谋,保障个体权益。法律作为 1 种间接性的调控手段,应当秉持“谁制造风险,谁就承担风险”的精神来分配责任。

风险社会面临太多不确定性,法律不能停留在“发现 1 个问题,解决 1 个问题”的被动改变阶段,而应当寻求“以不变应万变”。法律不变之本,是其所保护的法益内核。归根结底,法律所追求的是面向现在的人之权利的衡平保护,以及面向未来的风险损害的预防托举,最终希望达成“公共善”。

**4.2 国际组织模式的建构:基于国际公法规制的全球医疗数据库** 当前,各国已逐步建立国内医疗数据库,其主导者往往是政府、医院与研究所、医疗保险集团等,而且没有建立数据的整合标准与共享机制。医学元宇宙的终极设想是实现医疗资源的全球化交互共享,包括患者端的病例、健康数据;医护端的数字模型、诊疗跟踪;企业端的医药临床试验等。其中不可避免地涉及如何规制数据用途、如何实现监管等一系列法律问题。由诸如联合国、红十字会的政府间国际组织牵头,以国际条约等为约束形式,或可期待建成 1 个全球化的医疗数据库乃至医学元宇宙。

## 5 总 结

不同于西方发达国家,我国独特的社会结构与基本国情使得医疗模式革新更显必要。一方面,我国城乡医疗卫生资源差距大;另一方面,尤其在疑难重症的情况下,百姓求医问诊倾向于到大城市、挂专家号。在经历全球性的新冠疫情后,在推进碳

中和绿色发展的目标下,元宇宙医学可能被赋予时代性的使命。既要发展,也要规制,这是悬于医疗工作者与法律工作者头顶的达摩克利斯之剑。

元宇宙医学是元宇宙技术与医学的交叉领域,相关法律争议存在于人权、医事、算法等侧面。法律面对元宇宙医学,不能仅仅采用被动性的制度回应,更要考虑系统性的价值重建。通过对数字孪生医学应用的流程解构,能够更清晰地辨别其中的争议类型。对于现行法律未能覆盖的方面,应当思考是在现有框架下做补充规制,或是有必要另起炉灶搭建 1 个基于当前社会现实的合理框架。

医学天然地关注每个个体平等的健康权、生命权,元宇宙相关技术则希望更大程度地实现万物互联。究其本源,完善元宇宙医学法律规制的进路始终是 1 条人本主义的进路。法律应当关注人的生命健康、隐私保护、自我决定,这最终涉及人的生存、尊严与价值。

**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** 吴静萱:论文选题、撰写、修改;孙梦婷:论文修改;杨达伟:整体架构、撰写思路设计。

## 参考文献

- [1] 龚才春,杜振雷,周 华,等.“元宇宙”的术语定义及相关问题研究[J]. 中国科技术语, 2023, 25(1): 27-35.
- [2] 王文喜,周 芳,万月亮,等.元宇宙技术综述[J]. 工程科学学报, 2022, 44(4): 744-756.
- [3] 叶江峰,姜 雪,井 淇,等.整合型医疗服务模式的国际比较及其启示[J]. 管理评论, 2019, 31(6): 199-212.
- [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 W, ZHOU J, CHEN R C, et al. Expert consensus on the metaverse in medicine[J]. Clin eHealth, 2022, 5: 1-9.
- [6] 蔡远利,高 鑫,张 渊. 数字孪生技术的概念,方法及应用[C]. 第二届中国系统仿真技术及其应用学术年会(20th CCSSTA 2019), 2019.
- [7] 易江鹏. 个人信息保护中的知情同意原则:困境与出路[J]. 上海法学研究, 2021, (1): 226-242.
- [8] 刘香丽. 论医疗中的知情同意法律制度[EB/OL]. (2014-07-16) [2024-03-15]. <https://www.chinacourt.org/article/detail/201407/d/1339576.shtml>.

## 引用本文

吴静萱,孙梦婷,杨达伟. 元宇宙医学的法律规制完善进路——以数字孪生的医学应用为例[J]. 元宇宙医学, 2024, 1(1):89-93.

WU J X, SUN M T, YANG D W. An improvement approach of legal regulation on the metaverse in medicine: taking medical application of digital twins as an example[J]. Metaverse Med, 2024, 1(1):89-93.



## 数字人肺结节专病 BAIMGPT 1.0 简介

韦 球

南宁市第一人民医院呼吸与危重症医学科, 南宁 530022



### 1 背 景

2022 年中国最新肺癌发病例数增至 106.06 万, 肺癌死亡例数 73.3 万<sup>[1]</sup>。就肺癌患者的 5 年存活率而言, 在 2019 年中国为 19.7%<sup>[2]</sup>, 远低于 2010 至 2014 年亚洲国家中日本(33%)和韩国(25%)的 5 年存活率<sup>[3]</sup>。为什么中国肺癌 5 年存活率低于全球发达国家, 在亚洲也低于日本和韩国水平? 究其原因, 主要是一、二级预防工作做得不够, 知晓率不够, 发现早期肺癌水平不够, 5 年存活率不足 20%。亟需要研发简便易行的智能评估和管理技术, 融入共识指南中广泛推广<sup>[4-6]</sup>。为了解决这些问题, 亟需要牵头共识指南和有丰富临床经验的著名专家作为模型, 应用 GPT 来辅助咨询, 以便起 1 个颠覆性强基层、广覆盖的作用。

### 2 技术创新点

为实现上述目标, 白教授团队研发了全球首个肺结节专病 BAIMGPT 1.0, 含全球首个赋能肺结节评估管理, 语音文字交互兼容的咨询系统, 赋能问诊、咨询和管理等。这一专病数字人 GPT 可以提高肺结节教育获益率、知晓率、筛查率、咨询解答获益率, 并可改善培训获益率。将肺结节筛查、初评和数字人咨询普及到一级医院、体检中心, 甚至患者家庭, 进而大幅度降低延误诊断率, 改善防治效果, 助力实现健康中国规划的强基层广覆盖

的愿景<sup>[3-4]</sup>。

### 3 发明人及团队简介

白春学教授为国际元宇宙医学协会(IAMM)主席, 牵头多项国内外肺结节共识指南, 主编元宇宙医学为主的英文杂志 *Clinical eHealth* 和中文杂志《元宇宙医学》, 带领团队成功研发肺结节专病 BAIMGPT 1.0, 并装备在“HZ 元宇宙肺结节评估管理一体机”中。

#### 参考文献

- [1] ZHENG R S, CHEN R, HAN B F, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2022 [J]. *Chin J Oncol*, 2024, 46 (3):221-231.
- [2] ZENG H M, CHEN W Q, ZHENG R S, et al. Changing cancer survival in China during 2003-15: a pooled analysis of 17 population-based cancer registries [J]. *Lancet Glob Health*, 2018, 6(5):e555-e567.
- [3] SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J]. *CA Cancer J Clin*, 2021, 71(3):209-249.
- [4] 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. 肺结节诊治中国专家共识(2018 年版)[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2018, 41(10):763-771.
- [5] 白春学. 元宇宙医学之我见 [J]. *中国医药导刊*, 2023, 25 (1):1-6.
- [6] 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.

## 《中国临床医学》征稿启事

《中国临床医学》(CN 31-1794/R, ISSN 1008-6358; 邮发代号 4-636)1994 年创刊, 是教育部主管、复旦大学附属中山医院主办的临床医学类科技核心期刊, 由中国科学院院士、著名的肝胆外科专家樊嘉教授担任主编, 目前为双月刊。主要刊登临床医学、转化医学、生命科学、药学等领域的原创性研究论文。本刊面向全国, 欢迎从事医药卫生相关工作的中高级专业技术人员和高等医学院校师生踊跃投稿。

投稿栏目: 论著、短篇论著、技术与方法、综述、专家述评、指南或共识等栏目。

投稿途径: 请通过《中国临床医学》官方网站([www.c-jcm.com](http://www.c-jcm.com))投稿, 文章格式及具体要求参考“杂志稿约”版块。

欢迎您的来稿!

复旦大学附属中山医院期刊中心

2024 年 3 月 20 日

## 数字人 OSA 专病 BAIMGPT 1.0 简介

陆俊羽

重庆市第五人民医院呼吸与危重症医学科, 重庆 400062



### 1 背景

因为阻塞性睡眠呼吸暂停综合征(OSA)患病率高,各级学会也越来越重视其诊治。2003 年白教授牵头制定了全球第 1 部物联网辅助 OSA 诊治的专家共识<sup>[1]</sup>。目前中国呼吸科、神经科、耳鼻喉科、全科、内分泌科、心血管科和儿科等都积极参加了 OSA 诊疗<sup>[2]</sup>,并制定了不同的共识指南。但是,仍有很多患者得不到及时诊断和治疗。其主要原因是 OSA 患病率高,专业的睡眠呼吸医学从业者有限,缺乏强基层广覆盖的医疗模式。白教授近来的研究表明,可通过元宇宙医学平台提高 OSA 同质化诊疗水平,并组织专家制定了相关专家共识<sup>[2]</sup>,旨在实现“名元医治未病,元医惠众生”的愿景。

### 2 技术创新点

为实现上述目标,白教授团队研发了全球首个 OSA 专病 BAIMGPT 1.0,含全球首个赋能 OSA 评估管理,语音文字交互兼容的咨询系统,赋能问诊、咨询和管理等。该专病数字人 GPT 可以提高 OSA 教育获益率、知晓率、筛查率、咨询解答获益率,并可改善培训获益率。将 OSA 筛查、初评和数字人咨询

普及到一级医院、体检中心,甚至患者家庭,进而大幅度降低延误诊断率,改善防治效果,助力实践健康中国规划的强基层广覆盖愿景<sup>[3-4]</sup>。

### 3 发明人及团队简介

白春学教授为国际元宇宙医学协会(IAMM)和联盟主席,主编元宇宙医学为主的英文杂志 *Clinical eHealth* 和中文杂志《元宇宙医学》,带领团队成功研发 OSA 专病 BAIMGPT 1.0,并成功装备在“HZ 元宇宙诊疗管理 OSA 一体机”之中。

#### 参考文献

- [1] 物联网在睡眠呼吸疾病诊治中的应用专家组. 物联网在睡眠呼吸疾病诊治中的应用专家共识[J]. 国际呼吸杂志, 2013, 33(4): 241-244.
- [2] 肖毅,张晓菊,杨达伟,等. 云加端物联网辅助诊治睡眠呼吸暂停(OSA)专家共识(2022 版)[J]. 复旦学报(医学版), 2023, 50(4): 613-619, 632.
- [3] 白春学. 元宇宙医学之我见 [J]. 中国医药导刊, 2023, 25(1): 1-6.
- [4] 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.

## 《临床癌症通报(英文版)》征稿启事

《临床癌症通报(英文版)》即 *Clinical Cancer Bulletin (CCB)*, online ISSN 2791-3937)是一本国际同行评议开放获取(OA)的临床肿瘤学季刊,2022 年 6 月正式创刊,由中国科学院院士、复旦大学附属中山医院院长樊嘉教授担任主编,与 Springer Nature 合作出版,入选中国科技期刊卓越行动计划。CCB 主要发表肿瘤转化医学、肿瘤外科学、放化疗、靶向治疗、免疫治疗、新药研发等癌症防治全流程高质量原创研究成果,重点关注新疗法、新药物的临床试验研究,聚焦肿瘤多学科临床诊疗研究,聚焦人工智能、医工交叉、跨学科合作在癌症防治中的应用。

CCB 拥有强大的国际化编委群体和高效的学

术出版团队,确保全球学术影响力和高效率规范化运营,发表论文类型包括:社论(Editorial)、指南与共识(Consensus & Guideline)、论著(Research Article)、综述(Review)、观点与评论(Perspectives & Commentaries)等。

经主编樊嘉院士动议,本刊诚邀广大肿瘤学领域专家学者赐稿。投稿网址为 <https://www.editorialmanager.com/ccbu/default2.aspx>。您可至 <https://www.springer.com/journal/44272> 查阅期刊详情及已发表论文。

欢迎您的来稿!

复旦大学附属中山医院期刊中心

2024 年 3 月 20 日

## 医界智圣：基于 LLM 技术的医疗科研助手

顾佳跃, 须晨光

上海弼马温软件技术有限公司, 上海 201400



在医学科研领域, 每 1 次技术的突破都可能为人类健康带来革命性的改善。近期, 上海弼马温软件技术有限公司(以下简称“弼马温”)与复旦大学附属中山医院共同宣布, 1 款名为“医界智圣”的创新医疗研究助手正式问世。基于最新的大语言模型(LLM)技术, “医界智圣”不仅标志着医疗研究方法的革新, 更是智能科技在医疗领域应用的重要里程碑。

### 1 背景

在信息爆炸的时代, 医学数据的复杂性和庞大性对研究人员提出了前所未有的挑战。为了有效应对这一挑战, 国家强调了探索人工智能在医疗等领域应用的重要性。在这样的背景下, “医界智圣”应运而生, 旨在推动医疗研究向智能化、高效化的方向迈进。

“医界智圣”的研发背后, 是复旦大学附属中山医院丰富的数据资源、先进的计算基础设施以及医学与 AI 领域的专家团队的共同努力。这一跨学科的合作模式, 不仅加速了产品的创新研发, 也为医疗科研的智能化转型提供了强有力的支持。

### 2 技术创新点

“医界智圣”的核心在于 LLM 的技术实现。通过预训练大模型, 系统在广泛的文本数据上捕捉语言的通用模式和结构, 为专业化训练奠定基础。行业特定微调阶段, 模型通过专业医学数据集学习医学特有的术语和概念。多专家模型融合技术进一步提升了预测的准确性和鲁棒性, 尤其在处理复杂和多变的医学数据时表现出色。

在性能评估方面, “医界智圣”采用的“ensemble + 评估调优”模式, 在标准测试集中的准确率达到了 85% 以上(图 1), 远超传统 AI 和通用大模型。模型将持续优化和实时更新, 保证了医学研究的前沿性和时效性。

“医界智圣”在智能文献分析和质量评估方面的能力同样令人瞩目。系统能够准确识别关键主

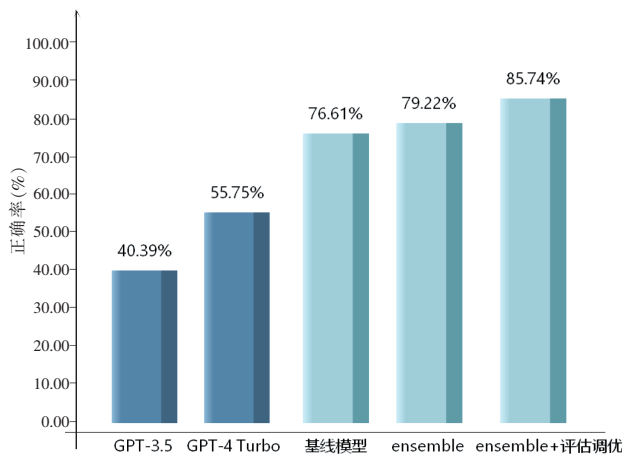


图 1 不同模型的多学科打标正确率

题、疾病和方法论, 其文献质量评估能力可与人工审查相媲美。这不仅极大地提高了研究效率, 也为科研质量提供了有力保障。

此外, 为了满足医学研究的多样性和个性化需求, “医界智圣”提供了定制化的订阅服务。研究人员可以根据自己的研究兴趣定制系统, 确保接收到最相关、最及时的信息, 从而始终站在科研领域的最前沿。

### 3 展望

弼马温和复旦大学附属中山医院的开发团队致力于“医界智圣”的持续改进和优化。未来的更新将包括扩展数据集和改进算法, 以适应医学科学和技术的快速进步。我们相信, “医界智圣”将成为医学研究者的得力助手, 推动科研工作的高效进行。

“医界智圣”的推出, 不仅是弼马温和中山医院合作的成果, 更是医疗科研领域智能化转型的重要一步。它不仅为医疗临床研究人员提供了 1 个深入理解医学科学的工具, 还极大地提升了科研和临床决策的效率。随着“医界智圣”的应用, 我们有理由相信, 医学研究的未来将更加光明, 新的发现和创新将不断涌现, 为全人类的健康福祉做出更大的贡献。



# 复旦大学附属中山医院简介

复旦大学附属中山医院（以下简称“中山医院”）始建于1937年，为纪念中国民主革命的先驱孙中山先生而命名，是中国人创建和管理的最早的大型综合性医院之一。中山医院是国家卫生健康委预算管理单位，国家发展改革委首批综合类国家医学中心建设单位，国家卫生健康委公立医院高质量发展试点单位。中山医院是复旦大学附属综合性教学医院，是教育部、国家卫生健康委与上海市人民政府共建共管医院，也是上海市第一批三级甲等医院。在全国三级公立医院绩效考核中，中山医院始终名列前茅，连续多年获得最高评级“A++”。中山医院连续多年在上海申康医院发展中心市级医院院长绩效考核中，位列上海市综合类医院第一名。

## 使命

以病人为中心，致力于提供优质、安全、便捷的医疗服务；  
通过医疗、教育、科研和管理创新，促进医学事业的发展，提升民众的健康福祉。

## 愿景

世界一流的创新型、智慧型现代化医院。

## 核心价值观

严谨、求实、团结、奉献、创新、关爱。



# 《元宇宙医学》第一届编委会

## 荣誉主编

樊 嘉

杨雄里

钟南山

## 主 编

白春学

顾建英

## 副主编

陈荣昌

高承实

贾泽军

刘 雷

连 勇

潘 毅

宋振举

王伟林

杨达伟

Niels H. Chavannes

Charles A. Powell

Christoph Thüemmler

## 编 委 (按拼音排序)

白 莉

白春学

曹 鑫

陈 颖

陈大明

陈荣昌

陈智鸿

方金武

甘舜轩

高承实

葛海燕

顾建英

何 萍

胡 洁

胡伟国

黄翔宇

贾泽军

姜 杰

金 晶

冷 非

李立亮

连 勇

刘 雷

陆俊羽

马礼兵

潘 毅

漆 远

沈 涛

盛 斌

施国明

宋海涛

宋元林

宋振举

苏士成

孙 湛

王 健

王 凯

王 洵

王伟林

王悦虹

韦 球

魏益平

辛弘毅

薛新颖

杨 冬

杨 丽

杨达伟

杨志刚

于广军

张纪阳

张宇鸣

张玉侠

张子强

赵列宾

赵明明

赵郑拓

周建军

朱智勤

邹 最

Niels H. Chavannes

Charles A. Powell Christoph Thüemmler

Lian Wu

Emeli Zhang

Shangming Zhou

