

《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

胡 征

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



Metaverse in Medicine 元宇宙医学

ISSN 3006-4236



元宇宙医学

二〇二五年三月 第二卷第一期



2025 年 3 月 第 2 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。

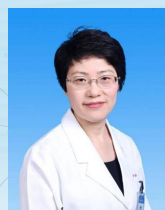
主编介绍



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 2 卷第 1 期 (总第 5 期)

2025 年 3 月 30 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

com

E-mail: 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

2025 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

卷 首 语

老校长的“胃病” 杨秉辉(1)

主编寄语

AI 赋能未来医学, 开启医疗模式新篇章

..... 顾建英, 宋振举, 白春学(4)

专家述评

医学 GPT 研发应用之吾见 白春学(6)

新质生产力医学中心 白春学, 阳世雄, 梁 琮, 等(15)

新质生产力时代康养 白春学, 张黎川, 朱文思, 等(21)

新质生产力赋能慢性呼吸病健康旅游

..... 白春学, 蒋维芃, 王 洵(28)

DeepSeek 在医学及相关领域的应用 ... 高承实, 程元骏(36)

综 述

基于病理组学的 AI 模型助力胶质瘤全流程诊疗决策

..... 贺琳茜, 刘 欢, 章 京, 等(44)

数字人 GPT 在医学教育领域的应用现状及研究进展..... 王 源,余 情,张 敏,等(51)

伦理与法规

人工智能医学应用中的技术路径与法律边界——以强化学习与蒸馏技术为视角.....
..... 卢叶婷,杨宇平(57)

本期执行主编 白春学
本期责任编辑 臧天茹,孙梦瑶
本期责任校对 殷 悦,姬静芳,王 迪,翟铖铖

METaverse IN MEDICINE

Established in 2024; Volume 2, Number 1, March 30, 2025

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

E-mail: 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 © 2025, Zhongshan

Hospital, Fudan University

CONTENTS IN BRIEF

Preface

The old headmaster's stomach problem YANG Binghui(1)

Editorial

AI empowers future medicine and opens a new chapter in the medical model

..... GU Jianying, SONG Zhenju, BAI Chunxue(4)

Commentary

My opinion on the development and application of MGPT

..... BAI Chunxue(6)

The center for new-quality productive forces in medicine

..... BAI Chunxue, YANG Shixiong, LIANG Qiong, et al(15)

Health and wellness in the era of new quality productive forces.....

..... BAI Chunxue, ZHANG Lichuan, ZHU Wensi, et al(21)

The new quality productivity empowers chronic respiratory disease health tourism.....

..... BAI Chunxue, JIANG Weipeng, WANG Xun(28)

Applications of deepseek in the medical field and related areas ...

..... GAO Chengshi, CHENG Yuanjun(36)

Review

Artificial intelligence in pathomics optimizes end-to-end clinical workflow in glioma.....
..... HE Linqian, LIU Huan, ZHANG Jing, et al(44)

Current situation and research progress of digital human GPT in medical education.....
..... WANG Yuan, YU Qing, ZHANG Min, et al(51)

Ethics and law

Technical path and legal boundary in the medical application of artificial intelligence: from the
perspective of reinforcement learning and distillation technology.....
..... LU Yeting, YANG Yuping(57)

Acquisitions editor BAI Chunxue

Executive editors ZANG Tianru, SUN Mengyao

Executive proofreaders YIN Yue, JI Jingfang, WANG Di, ZHAI Chengcheng

DOI: 10.61189/615276ihgrsi

· 卷首语 ·

老校长的“胃病”

杨秉辉

复旦大学附属中山医院



—

太阳刚刚从湖面上升起,晨雾笼罩着湖边的小镇,朝霞映照在一望无际的湖面上,不断变换着“湖姑娘”的晨装。小镇上的居民习惯性起得早,见面点头打招呼“早啊,早啊”。卖早点的店家已经开始忙碌,半老的农妇来得更早,已经在路边摆出了他们的菜摊。

太湖跨江浙两省,南岸的湖滨小镇,尽显水乡风情,自古为丝绸集散之地,亦是著名的文房四宝——“湖笔”的重要产地。近年得着改革开放的利好,民众安居乐业,物质文化生活水平不断改善。

退休了的杜校长在湖边的绿地里和几个老伙伴们打了一套太极拳,身上微微出汗,正准备买些早点回家。不过,近几个月来老校长有些心神不宁。

老校长姓杜,名志彰,浙江湖州人士,祖上世代务农,他在师范学院大学专科毕业后便在家乡从事教育工作,后来又通过函授取得了大学本科学历。杜老师一生勤勉,育人无数,直到在镇上初级中学校长的岗位上退休,亦已 10 余年。算来年龄已经 70 出头,虽已两鬓斑白,不过一向精神尚好,戴一副度数不是很深的近视眼镜,穿一身灰色夹克,遇到年轻人都说普通话,碰到与自己年龄相仿的,则操乡音,以为亲近之意。

杜校长年轻时曾患胃病,还有过胃出血病史,曾住院治疗。不过随着医疗科技的发展,他查出了幽门螺旋杆菌阳性,据医生说那便是胃病的根源。吃了半个月的药,消除了幽门螺旋杆菌,又吃了些治胃病的药,曾经迁延多年的胃病竟至完全好了。至少退休 10 多年来从未因为胃病的事看过医生。不料最近却似乎又起麻烦,主要表现为腹胀、食欲下降、大便秘结等等。杜校长是一个仔细的人,他注意到腹胀是肯定的——皮带上用的孔已经向前移动了两格,食欲下降也是肯定的——吃饭似乎完全是为了应付差事。到社区卫生服务中心去看过医生,医生是老熟人,问了几句,摸摸肚子,由于以前有明确的胃病病史,当然考虑是胃病复发,开了治胃病的药,还关照不要吃薯类和豆类等容易胀气的食品。不过,没有效果。夫人建议:应该吃中药调理。杜校长认为言之有理,于是又去看了中医。中医先生也是熟人,把脉诊舌,谓是“湿困脾胃、脾失运化”之故,当用健脾化湿之法治之。不过,依然无效。岂止无效,两三个月折腾下来,体重减了 4 公斤。

中西医药俱无疗效,体重又减掉了 4 公斤,杜校长的心里紧张了。胃病倒是不怕,只怕胃病有变,于是决心去市中心医院检查。市中心医院消化科的专家看了,当然少不了是要做胃镜,又查了肝功能、血糖、腹部 CT 等等,凡是想到的可能性都查了,结果却皆无明显异常发现。病人心里虽然还有疑惑,觉得肚子胀是真的,不想吃饭也不假,人都瘦掉了几公斤了,怎么会没有病?但专家却似乎很有把握,劝病人不要乱想,开了帮助消化的药。

杜校长回家看着这些帮助消化的药,以前已经吃过不少,知道没有什么用的。只是专家劝他“不要乱想”,他也知道专家是怕他想着会不会生胃癌,既然已经做过胃镜,确实没有胃癌,这一点倒是可信的。不过他的思想安定不下来,这也是事实,原因是这一年来他家里不很安定。

二

原来他就只有一个孙子,内心甚是疼爱。孙子大学毕业一年多了,工作一直没有落实。20 多岁的一个青年,生得高高大大,但是求职却不顺利,省里、市里到处投送简历,僧多粥少,似乎哪里都不缺人,在这小镇上连送外卖都不缺人。孙子在大学里学的文科,专业也比较偏门,高不成低不就,待在家里无事可做,唉声叹气,局促不安,弄得一家人都很压抑。他的儿子、媳妇都是镇上银行的一般职员,社会交际面窄,无计可施。老校长也曾托过以前的两位学生帮忙,至今未有实质性进展,心里确实烦闷、焦虑。睡眠不好,要吃安眠药方能入睡,白天精神不济,有时还会感到一阵阵潮热。不过他觉得心情不好是因家事引起,与胃病无关,到

医院看病并未向医生提起过,当然医生也从未问起过。

老子生病,儿子不能不关心。先是上网查查,查了腹胀、食欲不振、消瘦等条目,得到了一大堆这可能、那也可能的解释,莫衷一是,无所适从。忽然想到年轻人网络上的能力强,不如让自己的孙子去查。孙子领命,知道若要 DeepSeek(一种人工智能的软件)有准确的答案,需得给予准确的指令,便先来了解爷爷的状况。孙子来关心爷爷的健康了,这件事情的本身就让老校长心境颇好,祖孙两个谈了半天,关于就业的事,爷爷当然也不忘给孙子许多鼓励。

DeepSeek 给出了诊疗参考意见:鉴于已经做过许多相关检查,初步排除了一些重要的器质性疾病,提出焦虑、抑郁亦有产生类似症状的可能性,建议到心理医学科进一步检查与密切随访。老校长回想起来这些病状确实是以焦虑、烦闷在先,睡眠不好确实就是“心病”,不过腹胀、食欲不振之类总应该与之无关吧。至于要看心理科医生也不反感,于是通过社区卫生服务中心预约了市中心医院心理科专家的门诊。

三

这回自然是孙子陪着去了。祖孙二人起了个大早,乘公共汽车来到了市中心医院。挂号、候诊,等轮到之时推门进去,接诊的专家是一位约莫 50 岁左右的副主任医生,医患见面却似曾相识,医生拿起病历再看了一看,问道:“是杜校长吧?”

“是的,杜志彰。你是?”

“我是忻宜生,你的学生啊,我爸是忻育仁。”

“哦,是老忻的公子啊,怎么这么巧。”原来这医生的爸爸是杜校长的老同事,还长杜校长几岁。后来他爸调到市区工作,全家迁离小镇。过去通讯不发达,以后就少了联系。

“你爸身体还好吗?待会儿去看看他。”

“还好,还好。前几年我妈去世了,我大姐怕我们照顾不周,刚好她也退休了,便把他接过去了,现在住在苏州。”

看病变成了聊家常。大医院的门诊很忙的,唯独这心理医学科的门诊却是个例外,原因是人们对于这心理医学科的认识不足,甚至对看心理医生还有一些忌讳。

当然病还是看了,这副主任医生详细地了解了病人的症状和各项检查的结果,又做了几份心理医学方面“量表”的测定,判定杜校长确实存在“焦虑障碍”,而在心理医学的角度看来病人腹胀、食欲不振之类的症状则可能皆是心理障碍的“躯体表现”。于是开了抗焦虑的药,还关照了在生活、心理上应该注意的事项。

当然又相互留下了联系的电话、微信,还跟在苏州的老同事通了电话。算起来已经有 30 多年没有联系的老同事又重新取得了联系,大家都非常高兴。既然是老同事找上门来让儿子看病,电话那头的忻老师一再关照他儿子务必要好生接待。于是这边的忻医生便要留他们祖孙二人吃饭。杜校长婉辞,忻医生坚持挽留,说明只是医院职工食堂便餐,而且还可以再谈谈治病的事。杜校长盛情难却,便同意了。

这医院的职工食堂里有一个小间,可供员工接待亲友之用。3 人坐定,忻主任又请厨师加做了几样小菜,大家边吃边聊,话题自然还是关于疾病的事。

忻主任说:人体内脏的功能如心跳的快慢,肠胃蠕动的节奏等,也是受神经支配的,包括交感神经和副交感神经两类,统称植物神经或自主神经。交感神经兴奋时心跳加快,副交感神经兴奋时则反之,副交感神经兴奋时肠胃的平滑肌收缩,蠕动加快,交感神经兴奋时则反之,不过在正常情况下它们是相互协调的。此外,人类的肠道中还含有大量的神经细胞及大量的细菌,细菌的数量和品种不同,也在不同程度上参与了这种协调。所以有人称肠道是人类的“第二大脑”,尽管它没有思维的功能,但它能敏感地接受大脑思维活动的效应,似乎是有一条直达的通道一样,神经学家把它称之为“肠脑轴”。比如有人一旦精神紧张就会腹痛甚至腹泻,便是此理。在抑郁或焦虑的情况下,肠胃的症状常常十分明显。不过一旦抑郁或焦虑的状况解除了,肠胃道的症状也就会消除。

看来这位忻主任还挺能做“科普”的,一席话把这么个不大容易捉摸的事情基本上说清楚了,杜校长也理解了。倒是他孙子发问了:

“请教忻主任,腹胀、食欲不振的人都是精神或心理方面的问题吗?”

“当然不是。”杜校长有了体会,先回答了。

“应该先做些基本的检查,排除常见的器质性疾病,再做精神和心理方面的检测,确定有相关问题,才能做出正确的诊断。”忻主任说。

话题自然转到了杜校长孙子身上,谈到了就业的事。忻主任是心理医学专家,自然敏感地理解到这个问题很可能就是杜校长焦虑的起因。老校长虽然因为焦虑产生了躯体症状,思维并无障碍,便先问起忻主任子女的状况。忻主任说他家也只有 1 个儿子,前年大学毕业,也碰到了类似问题,后来和几位同学一起自主就业,得到了政府有关部门的支持,创办了一个小型公司,专做与养老相关的事业。杜校长表示这是利国利民的好事,也就顺势拜托关心他这孙子的事情了。

“不过孩子们事业初创,效益不怎么好。”忻主任笑了笑说。

“年轻人总得让他们闯荡闯荡,拜托了,拜托了。”老校长说。

祖孙二人回家,病情确诊了,顾虑解除了。按照医嘱服药,肚子不胀了,食欲也好了。又过了 2 个月,体重增加了,孙子到市里这家做养老相关事业的公司上班去了,据说是每天轮流在几个点上教老年人使用智能手机以及学习使用 DeepSeek。

老校长一家又恢复了常态,没事了。

编后语

杨秉辉为复旦大学附属中山医院终身荣誉教授,我国著名的健康教育学家、画家。曾任复旦大学附属中山医院院长、国务院学位委员会临床医学学科评议组召集人、中华医学会常务理事、全科医学学会主任委员,中华医学杂志副总编、中华全科医师杂志总编辑等职。至今仍然活跃在医学科普战线上。这篇小说即映射出很多医学科普的精华,是紧跟医学新质生产力潮流的画龙点睛之笔。

虽然还不能讲 DeepSeek 可以代替医生看病,但是可以给检索者以重要启发,极大振奋了中国人的民族自信心和自豪感。杨秉辉教授深度探讨变成深度紧跟,也为我们读者提供了一道医学新质生产力的亮丽风景画! 祝愿杨教授在 GPT(元宇宙医学基础)这条康庄大道上,步步紧跟,老当益壮、不让青年,为将来的元宇宙医生将使用的 GPT 大脑助手添砖加瓦,圆梦中华! 相关内容,见本专辑中 BAIMGPT,后者已经成为元宇宙医生将使用的 GPT 大脑的 2.0 版本。

《元宇宙医学》主编 白春学

AI赋能未来医学,开启医疗模式新篇章

AI empowers future medicine and opens a new chapter in the medical model

顾建英,宋振举,白春学

复旦大学附属中山医院,上海 200032



在当代时代,随着科技的飞速发展与人民生活水平的日益提高,国家和社会对医疗与大健康领域的需求已远远超越了传统“医院为中心、专家为重点”的医疗模式所能提供的范畴。这一传统模式,尽管在过去发挥了不可替代的作用,确保了医疗资源的集中与高效利用,但在面对人口老龄化、慢性病负担加重、医疗资源分布不均等新时代挑战时,显得力不从心,尤其老百姓的满意度需要进一步提升。因此,推动医疗模式的深刻变革,构建以“患者为中心、名医为模板、专病为抓手,质控为保障”的新型医疗体系,成为实现“健康中国 2030”规划纲要、促进医疗同质化、强化基层医疗服务能力的关键路径^[1-5]。

“患者为中心”的理念标志着医疗服务领域的一次深刻核心转变。它颠覆了传统以医院或医生为中心的服务模式,转而将患者的全方位需求、实际体验及满意度作为医疗服务的出发点和落脚点。这一转变要求医疗体系在保障高质量诊疗的同时,必须拓宽视野,涵盖预防、康复、全周期健康管理等多个层面,实现从单一治疗疾病向全面促进和维护患者健康的战略转型^[1-2]。随着人工智能、大模型等先进技术^[6-7]的融入,医疗服务更加智能化、个性化。通过智能问答系统,患者能随时获取专业健康咨询;基于大数据分析的个性化健康建议,则让医疗服务更加贴心、精准。这种全时空不间断的健康关怀,极大地提升了患者的参与度与满意度,使医疗服务真正做到了以人为本,贴心入微^[3,8-9]。

“名医为模板”这一理念,在新型医疗体系中占据着举足轻重的地位。它不仅凸显了顶尖医疗专家在治疗疑难杂症中的关键作用,更强调了名医作为医疗质量提升、医疗技术创新以及人才培养的核心驱动力。借助 GPT、Deepseek 等先进的人工智能技术,名医的宝贵知识和丰富经验得以高效传承与广泛分享。通过精心构建医学知识图谱和智能辅助诊断系统,我们将名医的智慧结晶转化为可普及、易应用的医疗资源。这样一来,即便是身处偏远地区的基层医生,也能轻松获取高质量的医学指导,从而有效提升诊疗水平。此举对于缩小城乡、区域间的医疗服务差距,推动医疗资源的均衡分布,具有深远的意义^[1-2,5,10]。

“专病为抓手”作为精准医疗的核心策略,强调以特定疾病或疾病群体为焦点,构建一套从诊断到治疗,再到后期管理的全方位、专业化流程。这一模式的实践路径,深深植根于对疾病本质的深入理解和把握之中。基于大数据分析先进的人工智能算法,我们能够以前所未有的深度挖掘和利用疾病数据,揭示隐藏的疾病规律。在肿瘤、心血管疾病等复杂且多变的疾病领域,这种技术融合的优势尤为显著。它不仅能辅助医生做出更为精确的诊断,还能根据患者的个体差异,量身定制治疗方案,从而大幅提升治疗效果,显著降低误诊率,让医疗真正迈向精准化、高效化的全新阶段^[6-7,11]。

“质控为保障”不仅是新型医疗体系稳健前行的基石,更是确保每一环节医疗质量与安全的核心策略。在这一理念指导下,构建全方位、多层次的医疗质量控制体系成为当务之急。借助 AI 赋能,病历质控工作实现了智能化升级,能够及时精准识别并纠正病历中的错误与遗漏,确保医疗记录的准确无误。此外,该技术还广泛应用于医疗行为的实时监控,及时发现并纠正不规范操作,有效预防医疗事故的发生。在药物使用合理性分析方面,AI 通过大数据分析,优化用药方案,避免药物滥用或相互作用风险,进一步守护患者安全。同时,它还作为绩效考核的得力助手,助力医疗机构实施精细化管理,持续追踪服务质量,驱动医疗服务不断向更高标准迈进,真正实现医疗质量的持续改进与患者满意度的全面提升^[1,12-13]。

但是,挑战与机遇并存。尽管医学 AI 为现代化医疗带来了前所未有的机遇,但其应用也面临着诸多挑战。首先,医学数据的隐私保护与安全性问题不容忽视,如何在确保数据安全的前提下高效利用数据,是技术开发者与管理者必须解决的问题。其次,医学知识的复杂性与专业性对 AI 模型的训练提出了更高要求,需要跨学科合作,不断优化算法,提高模型的准确性和可靠性。此外,模型的应用还存在一定的伦理风险;技术普及与应用中的数字鸿沟问题也需要关注,从而确保所有群体都能公平享受到技术进步带来的

福祉^[9,14-15]。

然而,“名医治未病、元医惠众生”的愿景,不仅是对传统医学智慧的传承,也是对现代医学技术发展的期许。AI赋能下的未来医疗,将促使医疗服务从“治疗”向“预防”与“健康管理”延伸,通过大数据分析预测疾病风险,提前干预,真正实现“治未病”。同时,随着技术的不断成熟与普及,更多患者将享受到高质量、个性化的医疗服务,让医疗资源的分配更加合理,让健康福祉惠及每一个民众。总之,AI在医疗领域的研发与应用,是推动医疗模式变革、实现“健康中国 2030”目标的重要力量。面对挑战,我们应积极探索,勇于创新,以科技之光照亮医疗健康的未来之路,共同迈向全民健康的新时代^[1-2,5,9-10]。让我们欢迎 AI 赋能未来医疗,开启医疗模式新篇章!

参考文献

- [1] 白春学. 医学新质生产力之我见[J]. 元宇宙医学, 2024, 3(1): 3-10.
- [2] 顾建英, 宋振举, 白春学. 拥抱新质生产力, 开创医学新时代[J]. 元宇宙医学, 2024, 3(1): 1-2.
- [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: 1-9.
- [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] ARONSON J K. When I use a word. ChatGPT: a differential diagnosis[J]. BMJ, 2023, 382: 1862.
- [7] GHASSEMI M, BIRHANE A, BILAL M, et al. ChatGPT one year on: who is using it, how and why?[J]. Nature, 2023, 624(7990): 39-41.
- [8] 韦 球, 蒋维芑, 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).
- [9] 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.
- [10] 白春学, 赵建龙. 物联网医学[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [11] SCHWALBE N, WAHL B. Artificial intelligence and the future of global health[J]. Lancet, 2020, 395(10236): 1579-1586.
- [12] 宋元林, 宋振举, 钱菊英, 等. 元宇宙技术在医疗质量控制中的应用[J]. 元宇宙医学, 2024, 2(1): 1-8.
- [13] LEATHERMAN S, BERWICK D M. Accelerating global improvements in health care quality[J]. JAMA, 2020, 324(24): 2479-2480.
- [14] MINSEN T, VAYENA E, GLENN COHEN I. The challenges for regulating medical use of ChatGPT and other large language models[J]. JAMA, 2023, 330(4): 315-316.
- [15] MARKS M, HAUPT C E. AI chatbots, health privacy, and challenges to HIPAA compliance[J]. JAMA, 2023, 330(4): 309-310.

引用本文

顾建英, 宋振举, 白春学. AI 赋能未来医学, 开启医疗模式新篇章[J]. 元宇宙医学, 2025, 2(1): 4-5.

GU J Y, SONG Z J, BAI C X. AI empowers future medicine and opens a new chapter in the medical model[J]. Metaverse Med, 2025, 2(1): 4-5.

DOI:10.61189/054723ljxsv

· 专家述评 ·

医学 GPT 研发应用之吾见

白春学*

复旦大学附属中山医院, 上海呼吸物联网医学工程技术研究中心, 上海市呼吸病研究所,
上海 200032



[摘要] 在应对医学 GPT 技术开发过程中的重重挑战与固有限制时, 笔者建议采取全面且深入的革新策略, 这要求从数据获取到系统运维的每一个环节都进行精细化重塑。数据的收集不再仅仅是量的积累, 而是质的飞跃, 意味着要从海量的医疗信息中精挑细选, 确保每一份数据都具备高度代表性、准确性和可用性。这一过程不仅需要先进的技术手段支持, 更需医学专家的深度参与, 以实现数据的精准筛选与价值挖掘。在基座模型的选择上, 应摒弃传统的简单问答框架, 转而探索构建专家数字人分身的可能性。这样的转变能够让患者仿佛直接面对经验丰富的医生, 获得更加个性化、专业化的医疗咨询服务, 极大地提升了交互体验与信任度。同时, 为了确保医疗信息的安全与准确性, 建议应用基于 AI 的智能质量控制机制来替代过往的盲目依赖, 通过算法自动审核与人工复核相结合的方式, 严把质量关。此外, 模型的训练评估与优化也应更加注重实践经验的融合。在循证医学的基础上, 倡导将大医的临床智慧与经验融入模型之中, 使医学 GPT 技术不仅能够依据最新的科研成果, 还能结合临床实际, 为患者提供更为精准、个体化的诊疗建议。简言之, 要实现从数据清洗到精选、从简单咨询到专家分身、从盲目信任到质控把关、从单纯循证到结合大医经验的四大转变。

[关键词] 人工智能; 生成型预训练变换模型; 医学 GPT; 自然语言处理; 公开证据

[中图分类号] R-0 **[文献标志码]** A

My opinion on the development and application of MGPT

BAI Chunxue*

Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai Engineer & Technology Research Center of Internet of Things for Respiratory Medicine, Shanghai Respiratory Research Institution, Shanghai 200032, China

[Abstract] In order to cope with the challenges and inherent limitations in the development of medical GPT technology, the author suggests a comprehensive and in-depth innovation strategy, which requires a refined reshaping of every link from data acquisition to system operation and maintenance. Data collection is no longer just a quantitative accumulation but a qualitative leap, which means carefully selecting from a vast amount of medical information to ensure that each piece of data is highly representative, accurate, and usable. This process requires not only the support of advanced technical means, but also the in-depth participation of medical experts to achieve accurate data screening and value mining. In the selection of the pedestal model, the traditional simple question and answer framework should be abandoned, and the possibility of building an expert digital human doppelganger should be explored. This transformation allows patients to receive more personalized and professional medical consultation services as if they were directly facing experienced doctors, which greatly improves the interactive experience and trust. At the same time, in order to ensure the security and accuracy of medical information, it is recommended to apply an AI-based intelligent quality control mechanism to replace the blind reliance in the past, and strictly control the quality through a combination of automatic review by algorithm and manual review. In addition, the training, evaluation and optimization of models should also pay more attention to the integration of practical experience. On the basis of evidence-based medicine, it advocates the integration of the clinical wisdom and experience of big doctors into the model, so that medical GPT technology can not only provide patients with more accurate and individualized diagnosis and treatment suggestions based on the latest scientific research results, but also combine with clinical practice. In short, it is necessary to realize the four major transformations from data cleaning to selection, from simple consultation to expert clone, from blind trust to quality control, and from simple evidence-based to combined with the experience of doctors.

[Key Words] artificial intelligence; generative pretrained transformer; medical generative pretrained transformer; natural

[收稿日期] 2025-03-19

[接受日期] 2025-03-26

[基金项目] 癌症、心脑血管、呼吸和代谢性疾病防治研究国家科技重大专项(2024ZD0529300). Supported by Major Project—Research on Cancer, Cardiovascular, Respiratory and Metabolic Diseases (2024ZD0529300).

[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

language processing; open evidence

伴随着人工智能 (artificial intelligence, AI)、大数据和深度学习技术的进步,生成型预训练变换模型 (generative pretrained transformer, GPT) 的研究及应用也日新月异^[1-3]。医学 GPT (medical generative pretrained transformer, MGPT) 的研发和应用在医学界更引起了广泛的关注,并在多个领域取得了显著的成果^[4-5]。

医学 GPT 的涌现,可以助力推动“患者为核心,元医为模版,专病为抓手,质控为保障”的医疗模式与时俱进地实施,旨在达成“名医治未病,元医惠众生”的宏伟目标,从而全面满足患者及社会对医疗与大健康领域的深切期待。然而,要实现这一愿景,必须依托新兴的医学新质生产力。GPT 的适时出现,恰逢其时地填补了这一需求空白。我们的初步研究已显示,大型语言模型凭借其快速响应本质,能够提供丰富的数据共享资源,正逐渐成为关注的焦点。不过,挑战也随之而来。对于缺乏医学基础知识的人群而言,理解和恰当运用 GPT 提供的医疗建议显得尤为困难。加之看不到医生本人,患者难以建立起对医疗服务的信任与安全感^[6-7]。

为了克服这些挑战与限制,让回答内容既易于被基层医生理解,也便于被具备一定文化知识的患者理解,我们在开发医学 GPT 技术时,必须对各个环节进行全面革新。这涵盖了数据的收集与精选、基座模型的选定、模型的训练评估与优化,以及系统的持续升级与维护。其具体改革措施是将数据清洗升级为数据精挑细选,将简单问答模式转变为专家数字人分身替代,用 AI 质量控制取代盲目依赖以保证安全,以及在循证基础上融入大医临床实践经验满足个体化需求。简言之,即“改清洗数据为数据精选,改简单咨询为直面分身,改盲目宠信为质控核对,改单纯循证加大医经验”。这利于在继承原有研发成果的基础上进一步推动医学 GPT 技

术转型,构建一个以“患者为中心,名医为模版,专病为抓手,质量为保障”的新型医疗模式,从而更有效地服务于患者,造福社会^[8]。

1 改清洗数据为数据精选

在医学 GPT 研发中,将数据清洗转变为数据精选是一个革命性转折。这一转变的动因深植于效率、模型性能及诊疗准确性的多方面考虑。数据精选致力于提升数据质量,它不仅易于剔除错误与无效信息,更易于从浩瀚数据中筛选出高质量、与需求紧密相关的内容。这些数据精准反映医学知识的精华,利于为模型奠定扎实基础,进而增强诊疗建议的准确性。基于精选,使模型确保数据集富含医学诊断、治疗及药物使用等核心信息,减少噪声干扰。精选数据优化了模型训练。数据集虽小但质量优异,助力模型训练快速收敛,节省时间与计算资源。高质量数据也会助力模型精准学习医学知识与语言模式效率,提升预测性能与泛化能力。通过排除误导性信息,避免模型受不良信息影响。精选数据更贴近医学实践,富含专业术语与经验,将使模型生成的诊疗建议更加专业准确。数据精选还节省了人力物力。虽然初步标注与分类也需人力,但是相较于全面清洗与标注,工作量将大大减少。精选会使资源应用更为高效,集中精力于关键数据,提升研发效率。数据精选符合医学的特殊性,也确保模型学习知识的准确性与严谨性,并满足医学的高标准要求^[2,5,8-9]。

数据精选在医学 GPT 研发中展现出显著优势,它不仅节省资源与时间,更关键的是大幅提升了回答问题的针对性和准确性。因此,对于医学 GPT,以及任何基于大型语言模型的的研发过程中,将数据清洗升级为数据精挑细选是一个提升模型质量和可靠性的重要步骤(表 1)^[7-12]。

表 1 将数据清洗升级为数据精挑细选的方法和技术路线

方法	技术路线
明确数据需求	(1)定义目标:首先明确医学 GPT 的应用场景和目标,比如是用于辅助诊断、患者咨询还是医学教育等,以便决定所需数据的类型和范围。(2)确定关键特征:明确对于模型性能至关重要的数据特征,如疾病描述、诊断、治疗、康复方案、检查技术的细节,药物的副作用,以及疾病预防等。
确定精选标准	(1)质量优先:确保数据的高质量,包括信息的准确性、完整性和时效性。(2)相关性:选择与医学 GPT 应用紧密相关的数据,排除无关或噪声信息。(3)多样性:涵盖不同医学领域、疾病类型、患者群体等,以确保模型的泛化能力。(4)合规性:确保数据收集和使用符合医疗隐私法规,如 HIPAA (美国)或 GDPR (欧盟)。

续表

方法	技术路线
实施数据筛选	(1)自动筛选:应用自然语言处理(natural language processing, NLP)和机器学习技术,开发自动筛选工具,根据预设标准快速精选数据。(2)人工审核:在关键数据或自动筛选难以判断时,进行人工审核,确保数据的准确性和适用性。(3)迭代优化:根据模型训练结果和反馈,不断调整筛选标准,优化数据集。
增强数据	(1)数据增强:通过同义词替换、句式变换等方式,增加数据的多样性,提高模型的鲁棒性。(2)标注数据:对于特定任务(如命名实体识别、关系抽取等),进行人工标注,提供高质量的监督学习数据。
持续监控与更新	(1)监控数据质量:建立质量监控机制,定期评估数据集的准确性和时效性。(2)更新数据集:随着医学知识的更新和临床实践的变化,定期更新数据集,确保模型与最新医学知识同步。
应用专业资源	(1)合作与共享:与医疗机构、研究机构和同行合作,共享高质量数据资源。(2)应用公开数据集:关注并应用医学领域的公开数据集,如PubMed、MIMIC-III等,丰富数据集内容。
评估与反馈	(1)模型评估:通过交叉验证、A/B测试等方式,评估不同数据集对模型性能的影响。(2)用户反馈:收集用户反馈,了解模型在实际应用中的表现,指导数据精选和模型优化。

在医学 GPT 的研发过程中,改清洗数据为数据精选具有更加重要意义。通过实施上述策略,可以将数据清洗升级为数据精挑细选,为医学 GPT 的研发提供高质量、可靠的数据基础,从而提升模型的性能和可靠性。例如在构建“公开证据 (Open

Evidence)”这样的医疗 AI 助手时,已经体现出多种优势(表 2)^[1,7-8,13-14]。对于像公开证据这样的医疗 AI 助手来说,数据精选是其持续发展和成功的关键要素之一^[13-14]。

表 2 公开证据体现的数据精选意义

方法	技术路线和内容
提升数据质量	数据精选意味着从海量医学文献中筛选出最相关、最准确的信息。与简单的数据清洗相比,这一过程更加注重数据的价值和可靠性,从而确保 AI 助手提供的建议基于高质量的医学证据。
增强决策支持	对于医生而言,面对罕见病例和复杂情况时,需要快速而准确的决策支持。数据精选能够确保 AI 助手提供的信息更加精准,帮助医生在更短的时间内做出更明智的诊疗决策。
优化用户体验	公开证据之所以受到医生的广泛欢迎,部分原因在于其易用性和高效性。数据精选能够进一步提升 AI 助手的响应速度和准确性,从而优化用户体验,使其更加愿意使用并信赖这款工具。
知识快速更新	促进医学领域知识的迅速更新,数据精选能够确保 AI 助手及时捕捉到最新的医学研究成果和临床指南,为医生提供最新的诊疗建议。
提高 AI 竞争力	在医疗 AI 市场竞争激烈的环境下,数据精选能够提升 AI 助手的智能水平和专业性,利于在众多竞争者中脱颖而出。对于公开证据这样的产品来说,持续数据精选优化是保持领先地位的关键。
降低误诊风险	通过精挑细选的数据, AI 助手能够更准确地识别病例特征,提供个性化的诊疗建议,从而降低因信息不准确或过时而导致的漏诊和误诊风险。

2 改简单咨询为直面分身

在医学 GPT 深入研发中,我们尝试了从简单咨询向名医、大医数字人直面回应的深刻转变。这一变革背后,蕴含着多维度的深思熟虑,极大地增强了用户的亲切感与信任感。用户面对的是名医的数字化身,其形象、语气乃至交互方式,都如同真人般自然亲切。例如,数字人医学 GPT 在回答用户提问时(图 1)^[15],可使用户得到这种感觉。名医、大医的权威形象和口碑,专业性与准确性也得到了显著提升。这些数字人掌握庞大的医学知识库和丰富

的临床案例,能够精准引用专业知识,为患者提供个性化、高质量的诊疗建议。随着持续的学习与优化,这些建议会始终保持时效性和准确性。患者的依从性也大大提高。名医数字人的权威指导,增强了患者的诊疗和康复的信心与动力。这一转变还利于减少误解和沟通障碍,提升诊疗效率。同时,这种创新的咨询方式也利于更多患者使用,促进了医疗资源的合理分配^[6-8]。

名医、大医数字人直面回应的咨询模式,是医学 GPT 研发中的一大创新,开辟了医疗咨询服务的智能化、个性化和高效化新道路。例如,BAIMGPT,

即是一个涉及技术、用户体验和医疗专业性的综合过程(表3)^[4-5,7-8,15-16]。

Q: So how did BAIMGPT answer?

A: ChatGPT can't see us directly. It is just an AI-based language model with no actual medical knowledge and abilities. In medical practice, we need to rely on professional doctors. We need to be cautious about ChatGPT's accuracy. While it may be able to provide some useful information and advice in some cases, it is not a substitute for professional medical diagnosis and treatment. If you have any health problems, you should consult your doctor or medical institution directly.

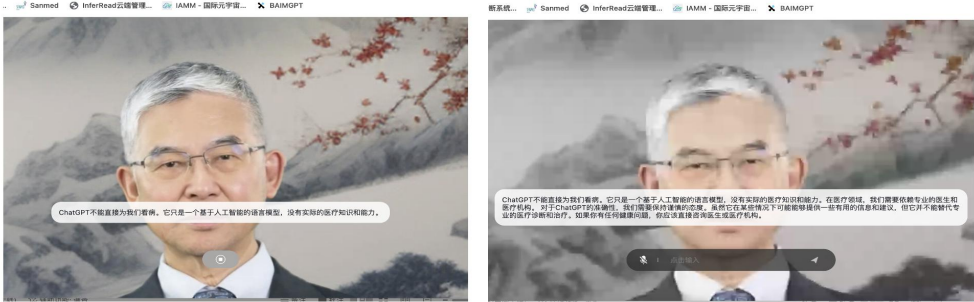


图1 BAIMGPT在回答用户问题

表3 BAIMGPT研发的方法和技术路线

方法	技术路线
明确目标与定位	(1)确定目标用户:明确BAIMGPT用户为基层医生和患者,以及他们的具体需求。(2)定义专家数字人分身:明确数字人分身的具体背景为呼吸系统疾病,使其更具专业性和亲和力。
技术准备	(1)NLP技术:提升GPT模型在呼吸系统疾病的理解能力,包括医学术语、病历数据等。(2)多模态交互技术:结合语音、图像、视频等多种交互方式,使数字人分身更加生动和真实。(3)个性化与定制化:根据用户需求,为数字人分身提供个性化的外观、声音和交互风格。
数据收集与训练	(1)医学数据收集:收集大量专家相关的对话数据、病历数据等,用于训练模型。(2)模型训练:应用收集到的数据,对GPT模型进行训练,使其能够准确理解并回答医学问题。(3)专家知识融入:邀请医学专家参与模型训练过程,提供专业知识指导,确保模型的准确性和可靠性。
数字人分身设计	(1)外观设计:根据专家数字人的定位,设计其外观形象,包括面部特征、服装等。(2)交互设计:设计数字人分身与用户的交互方式,如对话流程、表情变化、动作反应等。(3)用户体验测试:通过用户测试,收集反馈,不断优化数字人分身的设计和交互体验。
部署与迭代	(1)部署许可:如获得国家知识产权局的核定使用商品/服务项目注册商标。(2)平台部署:将数字人分身集成到相应的应用平台(如移动应用、网页等),确保稳定运行。(3)持续迭代:根据用户反馈和医学领域的发展,不断更新和优化数字人分身功能和表现。
合规与隐私保护	(1)遵守医疗法规:确保数字人分身提供的医疗信息和服务符合相关法律法规要求。(2)隐私保护:加强用户数据保护,确保用户隐私安全。
推广与应用	(1)用户教育:引导用户了解并正确使用数字人分身,提升用户体验。(2)市场推广:通过多渠道宣传,提高数字人分身的知名度和使用率。

NLP:自然语言处理;GPT:生成型预训练变换模型。

在医学GPT的研发过程中,将传统的简单问答模式转变为直面专家数字人分身的形式,能更全面地体现GPT技术在医学领域的应用优势。仍以BAIMGPT为例,该项目通过与白春学教授团队、国际元宇宙医学协会以及中国肺癌防治联盟的合作,成功研发出针对肺结节评估管理和阻塞性睡眠呼吸暂停(OSA)诊治管理的专病知识库。这种基于

GPT技术的专病知识库,医学GPT技术不仅拥有强大的信息处理和诊治推理能力,还能够通过专家数字人的形式,将复杂的医学知识以更加直观、易懂和沉浸感的方式呈现给用户。专家数字人分身作为GPT技术在医学领域的一种创新应用,有利于为用户提供更加专业、便捷、个性化的医疗服务(表4)^[4,7-8,15,17-19]。

表 4 数字人医学GPT的优势

效果	方法和技术路线
视觉赋能	将原来的简单咨询模式转变为专家数字人分身替代,通过逼真的数字人形象,用户能够感受到与真实专家面对面的交流体验。这种视觉上的沉浸感,使得用户更容易接受和信任所获取的信息。
亲切感与信赖感	专家数字人不仅能够提供准确的医学知识,还能通过表情、语气等细节,传递出亲切和关怀的情感。这种人性化的交流方式,有助于建立患者与专家之间的信任关系,甚至也有利于对医学生、归培生、进修生和基层医生的培训。
安全感与依从性	在医学领域,用户的安全感和依从性至关重要。专家数字人通过提供专业的建议和指导,能够增强患者对治疗方案的信心和遵从度,从而提高治疗效果。
深度医学知识	大量医学文献和病例数据训练,使BAIMGPT对肺结节和OSA具备更加深厚的医学知识。利于根据用户病史和症状,智能推荐更有针对性的相关医疗信息和建议。
元宇宙医学元素	基于专家数字人分身具有元宇宙医学元素,更利于推动医学知识的普及和共享,促进学术交流和科技创新。这种顶层设计有助于构建更加开放、协同的医学生态系统。
多场景应用	支持在线咨询、远程诊疗、医学教育等多种场景,满足不同用户需求。

MGPT:医学GPT;OSA:阻塞性睡眠呼吸暂停。

这种创新的应用方式不仅能够提升医学信息的传递效率和准确性,还能够增强用户的信任度和依从性,为医学领域的发展注入新的活力。未来,随着技术的不断进步和应用场景的拓展,专家数字人分身有望在医学领域发挥更加重要的作用。

3 改盲目宠信为质控核对

在医学GPT或任何医疗相关AI系统的研发历程中,用“AI质量控制核对”替代“盲目宠信”标志着一次深刻且必要的转型。这一转变有多方面的重要意义:(1)利于提升诊疗的准确性。盲目接受AI结果可能导致误诊,而质量控制核对则要求对每项AI建议进行严格验证,确保其基于精确可靠的数据与算法,有效降低误诊风险。(2)患者安全得到更有力的保障。医疗领域首要原则是患者安全,盲目依赖AI可能忽视潜在风险。质量控制核对机制能及时发现并纠正错误,确保提供给患者的建议安全有效。(3)利于增强医生的信心与责任感。医生对经过严格核对的AI建议更为信赖,同时保持独立思

考,提升了决策能力与责任感。(4)利于促进AI系统的持续优化。质量控制核对不仅验证当前输出,还反馈系统性能问题,为算法、数据优化及训练改进提供宝贵信息。(5)符合医疗行业的高标准监管要求。医疗行业对诊疗准确性与安全性要求严苛,实施质量控制核对是满足监管要求、确保AI合法合规应用的关键^[13-14,20]。

简言之,改盲目宠信为质控核对,对医学GPT等医疗AI系统而言至关重要。它不仅利于提升诊疗质量与安全,增强医生信心,推动系统优化,还利于确保行业合规性,为医疗AI的成熟与广泛应用奠定坚实基础,是确保系统安全性和可靠性的关键步骤(表5)^[2,4,7-8,11-12]。

这些措施可以将医学GPT的研发过程从盲目宠信转变为基于质控核对的科学流程,从而显著提高医疗AI系统的安全性和可靠性和准确性。为此,笔者建议借鉴公开数据AI助手的研究方法和技术路线研发医学GPT(表6)^[2,5,7,14,21]。

表 5 将盲目宠信改为质控核对方法和技术路线

方法	技术路线
建立严格的数据验证和清洗流程	(1)数据收集:从多个可靠来源收集医学数据,包括文献、病例报告、临床试验等。(2)数据清洗:使用自动化工具和算法去除重复、错误或不一致的数据。数据标注:对医学文本进行准确标注,以便模型能够正确理解和生成医学内容。
实施多层次的模型验证	(1)内部验证:在模型开发过程中,使用交叉验证等技术评估模型的性能。(2)外部验证:在独立的、未参与模型训练的数据集上测试模型,以确保其泛化能力。(3)专家审核:邀请医学专家对模型生成的输出进行审核,确保其准确性和可靠性。

续表

方法	技术路线
引入质量控制机制	(1)自动校对:使用NLP技术,自动检查模型生成的文本中的语法、拼写和医学术语错误。(2)一致性检查:确保模型生成的内容与已知的医学知识和实践保持一致。(3)风险评估:对模型生成的每个建议或诊断进行风险评估,以确定其可能对患者造成的影响。
持续监控和更新	(1)性能监控:实时监控模型在实际应用中的性能,包括准确率、召回率等关键指标。(2)反馈循环:建立用户反馈机制,收集医生、患者和其他用户对模型输出的反馈,用于改进模型。(3)定期更新:根据新的医学研究和数据,定期更新模型,以确保其与时俱进。
强化伦理和法规遵循	(1)伦理审查:在模型开发和使用过程中,遵循医学伦理原则,确保患者隐私和数据安全。(2)法规遵循:确保模型符合相关医疗法规和行业标准,如美国健康保险流通与责任法案(HIPAA)等。
透明度和可解释性	(1)模型透明度:提供关于模型如何工作、如何做出决策的详细信息。(2)可解释性:确保模型生成的输出可以解释,以便医生和患者能够理解其背后的逻辑和依据。

NLP:自然语言处理。

4 改单纯循证加大医经验

在医学 GPT 的研发历程中,整合单纯循证医学与资深医生临床经验(即大医经验)的举措,其背后蕴含着深刻的考量。循证医学虽应用已发表的研究为基石,却难免受制于研究设计、样本量等局限,导致结论存在偏差,尤其在罕见病或新兴治疗领域,高质量证据更是稀缺。因为它侧重于平均效应,难以充分顾及个体差异和临床复杂性。相比之下,大医经验则凝聚了资深医生长期实践的智慧,超越了现有文献的边界,对复杂多变的临床情况有着独到的见解与处理策略,对指导治疗决策至关重

要。将名医、大医的宝贵经验融入医学 GPT,能显著提升系统处理特殊病例与复杂病情的能力。结合循证医学与大医经验,可构建一个更为全面的临床决策支持框架。这一综合方法不仅吸纳了科学研究的严谨性,还融入了临床实践的灵活性,有利于减少误诊与漏诊,提升了治疗的有效性与安全性。它也利于促进医学知识的有效传承,让年轻医生得以快速汲取前辈的智慧,同时也利于医学研究开辟新路径,推动了知识的创新与发展。更为重要的是,这种融合模式回应了患者对医生经验与专业性的期待,提供了更加贴心、精准的医疗服务,从而增强了患者的信任与接受度^[4,7,9]。

表 6 应用公开证据 AI 助手方法研发医学 GPT 之吾见

方法	技术路线
使用专门的小型模型	开发或采用专门针对医学领域设计的小型模型,而非直接应用通用大模型。这样的小型模型能够更深入地理解医学术语和上下文,从而提供更准确的信息。
依赖顶级医学文献	训练数据严格筛选,只采用如柳叶刀、新英格兰医学杂志等顶级医学文献的数据,可以确保模型学习的内容具有高度的权威性和准确性,避免垃圾信息的干扰。
实施多模型协作架构	通过构建多模型协作系统,综合应用不同模型的优势,相互验证和纠正信息,从而进一步提高输出的准确性。这种架构有助于防止单一模型可能产生的偏见或错误。
严格的数据校验机制	在输出阶段,实施严格的数据校验机制。这包括对生成的内容进行医学逻辑检查、事实核对以及与已知医学知识库的对比,以确保信息的准确性和可靠性。
强调用户反馈和持续改进	建立用户反馈机制,收集医生、患者等用户的实际使用体验和问题反馈。通过不断迭代和优化模型,以便逐步提升其性能和准确性。
注重医学知识的公平获取	致力于促进医学知识的公平获取,特别是为偏远地区的医生提供便利。这可以通过提供免费或低成本的访问权限、开发适合不同语言和文化背景的界面等方式实现。
借鉴公开证据创始人经验	研发团队应借鉴公开证据创始人丹尼尔的经验,深入了解医学领域的真实需求,以用户驱动增长为核心理念。同时,应关注错位竞争,寻找与其他 AI 医疗产品的差异化点,并将潜在的弱点转化为优势。

GPT:生成型预训练变换模型。

在医学GPT的研发过程中,将原来的单纯循证方法提升为结合大医临床经验的方法,是一个复杂但富有成效的任务。其中比较重要的是理解循证医学与大医经验各自的优缺点和互补性。循证医学是基于科学证据,通过系统综述、临床试验等方法得出的结论,具有普遍性和客观性。而大医经验则是基于临床实践积累的大量个案经验,具有独特性和主观性,能够反映患者的个体差异和复杂病情。以下建议是帮助我们在循证医学基础上融入大医临床实践经验,以满足个体化医疗需求的方法(表7)^[2,5,7-8]。

在医学GPT的研发中,融合循证医学与大医经验不仅是对循证医学局限性的有力补充,更是提升临床决策质量、促进医学知识传承与创新迭代发展的重要方式。例如笔者研发的PNapp 5A(肺结节诊

治5步小程序)即是从三加二式诊断法更新迭代而来(图2)^[22-26]。随着CT的普及,特别是开展CT筛查肺癌之后,肺结节的发现越来越多。究竟如何处理?是手术切除还是观察?为了达到既易学习,又可用于临床的目的,笔者提出“三加二式诊断法”。“三”为三步检查法,“二”为两个备用方案。三步检查法为采集病史、无创检查和有创检查。两个备用方案为手术切除和随访观察^[27]。随后,为融入AI助手的功能,笔者又提出了PNapp 5A这一人工智能肺结节诊治5步小程序(图2)。这利于通过“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”的策略,将肺结节诊治中国共识和亚太指南融入PNapp5A和初评与研判二流程体系,更利于将手工业作坊式诊疗模式提升为达到国家和国际标准的物联网流水作业工程^[22-26]。

表7 整合循证医学与大医经验的方法和技术路线

方法	技术路线
数据收集与整理	收集大医的临床案例、经验总结、患者反馈等数据。对这些数据进行结构化处理,便于后续的分析和整合。
建立知识图谱	构建包含循证医学知识和大医临床经验的医学知识图谱。在图谱中明确标注循证证据的来源、等级以及大医经验的适用场景和限制条件。
算法融合	在医学GPT的算法中融入对大医经验的识别和处理能力。设计算法能够根据患者的具体情况,自动匹配最相关的循证证据和大医经验。
个体化推荐	基于患者的病史、症状、体征等信息,使医学GPT能够生成个性化的医疗建议。在建议中同时呈现循证证据和大医经验,并说明两者的关系和互补性。
持续学习与优化	医学GPT应具备持续学习的能力,能够不断吸收新的循证证据和大医经验。通过用户反馈和临床验证,不断优化算法的性能和准确性。

GPT:生成型预训练变换模型。

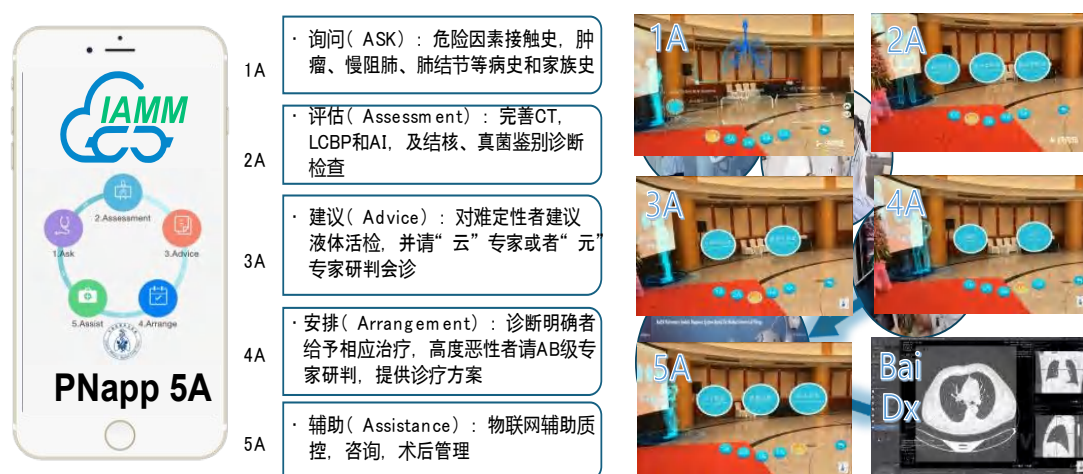


图2 PNapp5A

在医学 GPT 的研发过程中,将原来的单纯循证方法提升为结合大医临床实践经验是与时俱进的时代需求,利于满足个体化医疗需要,具有深远的临床意义。(1)提升决策精准度与个性化治疗水平:单纯循证医学主要基于已有的研究证据进行决策,但往往难以充分考虑到患者的个体差异。融入大医的临床实践经验,可以使得 AI 系统更加贴近实际临床场景,更准确地识别患者的特殊需求和病情细微差别,从而提供更加个性化的治疗水平。(2)增强 AI 系统的可信度和接受度:名医、大医的临床经验是融合了理论与实践的医学领域宝贵的财富,是经过长期实践验证的有效方法。将这些经验融入 GPT 系统,可以显著提升其可信度和临床医生的接受度,促进 AI 技术在医疗领域的广泛应用。(3)促进医学知识的传承与创新:通过 GPT 技术,大医的临床经验可以被系统地记录、整理和传播,这有助于年轻医生快速学习和掌握前辈的经验,减少学习曲线,加速将陈述性知识转变为程序性知识。同时, AI 系统还能助力医生在分析病例和医学期刊的过程中,发现新的治疗方法和疾病模式,推动医学知识的创新和发展。(4)优化公开证据在医学领域的应用:公开证据强调公开、透明的医学证据,而融入大医经验可以视为对循证医学的一种补充和丰富。GPT 技术可以高效地处理和分析这些综合信息,为医生提供更加全面、准确的决策支持。(5)拓展 AI 在医疗领域的市场空间:中国丰富的病例资源为 AI 技术的发展提供了得天独厚的条件。结合名医、大医经验, GPT 系统能够更精准地定位市场需求,开发出更具针对性的医疗产品和服务,从而拓展市场空间,为 AI 创业公司提供更多的发展机遇。(6)进一步强化患者安全与医疗质量: AI 技术通过融合循证医学与大医经验,能够更全面地评估患者的健康状况,预测潜在风险,并提前采取预防措施。这有助于降低医疗差错,提高患者安全性,同时提升医疗服务的整体质量^[2-3,6,11-14,28]。

综上所述,在医学 GPT 的研发过程中,改单纯循证为加上大医经验不仅有助于提升医疗决策的精准度和个性化水平,还能增强 AI 系统的可信度和接受度,促进医学知识的传承与创新,优化公开证据的应用,拓展 AI 在医疗领域的市场空间,并强化患者安全与医疗质量。这一转变对于推动医学 GPT 技术的发展和应用将具有重大的意义。

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:选题、撰写、修改文章。

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 (7990): 39-41.
- [2] MINSEN T, VAYENA E, GLENN COHEN I. The challenges for regulating medical use of ChatGPT and other large language models[J]. *JAMA*, 2023, 330(4): 315-316.
- [3] ARONSON J K. When I use a word. ChatGPT: a differential diagnosis[J]. *BMJ*, 2023, 382: 1862.
- [4] YANG D W, ZHOU J, SONG Y L, et al. Metaverse in medicine [J]. *Clin eHealth*, 2022, 5: 39-43.
- [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] 顾建英, 宋振举, 白春学. 拥抱新质生产力, 开创医学新时代[J]. *元宇宙医学*, 2024, 3(1): 1-2.
- [7] 白春学. 医学新质生产力之我见[J], *元宇宙医学*, 2024; 3 (1): 3-10.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] SINGHAL K, AZIZI S, TU T, et al. Large language models encode clinical knowledge [J]. *Nature*, 2023, 620 (7972): 172-180.
- [12] MARKS M, HAUPT C E. AI chatbots, health privacy, and challenges to HIPAA compliance [J]. *JAMA*, 2023, 330(4): 309-310.
- [13] SCHWALBE N, WAHL B. Artificial intelligence and the future of global health[J]. *Lancet*, 2020, 395(10236): 1579-1586.
- [14] 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.
- [15] Newsletter: the first metaverse medical digital human GPT launches[J]. *Clin eHealth*, 2024, 7: 51.
- [16] 胡 洁. 元宇宙医学数字人 GPT 研究快报[J]. *元宇宙医学*, 2024, 1(1):2.
- [17] 国际元宇宙医学协会睡眠呼吸专家组. 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): 613-9,32.
- [18] 白春学, 陆俊羽, 蒋维芃, 等. 医学新质生产力赋能阻塞性睡眠呼吸暂停诊疗新模式[J]. *元宇宙医学*, 2024, 3(1): 22-8.

- [19] 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.
- [20] RAJPURKAR P, CHEN E, BANERJEE O, et al. AI in health and medicine[J]. Nat Med, 2022, 28(1): 31-38.
- [21] SHANAHAN M, MCDONELL K, REYNOLDS L. Role play with large language models [J]. Nature, 2023, 623 (7987): 493-498.
- [22] YANG L, YANG D W, YAO M, et al. Concept and prospect of the Human-Computer Multi-Disciplinary team (MDT) in pulmonary nodule evaluation [J]. Clin eHealth, 2023, 6: 172-181.
- [23] 中华医学会呼吸病学分会, 中国肺癌防治联盟专家组. 肺结节诊治中国专家共识(2024年版). 中华结核和呼吸杂志, 2024, 47(8): 716-29.
- [24] YANG D W, LAM S, KAI W, et al. Expert consensus on the evaluation and management of high-risk indeterminate pulmonary nodules[J]. Clin eHealth, 2024, 7: 27-35.
- [25] 王 源, 杨达伟, 白春学. 元宇宙时代的肺癌筛查与管理[J]. 元宇宙医学, 2024, 2(1): 13-5.
- [26] 中国物联网辅助评估管理肺结节专家组. 物联网辅助评估管理肺结节中国专家共识[J]. 国际呼吸杂志, 2022, 42(1): 5-12.
- [27] 白春学. 肺结节“三加二式诊断法”[J]. 国际呼吸杂志, 2013, 33(6): 401-402.
- [28] 宋元林, 宋振举, 钱菊英, 等. 元宇宙技术在医疗质量控制中的应用[J]. 元宇宙医学, 2024, 2(1): 1-8.

引用本文

白春学. 医学GPT研发应用之吾见[J]. 元宇宙医学, 2025, 2(1): 6-14.

BAI C X. My opinion on the development and application of MGPT[J]. Metaverse Med, 2025, 2(1): 6-14.

DOI:10.61189/352997cxjrfg

· 专家述评 ·

新质生产力医学中心

白春学^{1,2,3*}, 阳世雄⁴, 梁 琼⁴, 蒋维芃^{1,5}

1. 复旦大学附属中山医院, 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

4. 南宁市第一人民医院, 南宁 530022

5. 上海市老年医学中心, 上海 201104

【摘要】 新质生产力医学中心是一个致力于推动医疗领域创新和发展的机构。该中心将采用前沿的新质生产力技术和方法, 如人工智能、物联网医学、元宇宙医学和数字人医学 GPT, 元宇宙技术和物联网技术, 同时融合新质生产力质量控制体系、简化流程、强化监督、加强信息管理和效果评估, 以及实现患者、社区医师与医学中心专家之间的联动等方法来改善医疗服务质量和效率。此外, 新质生产力医学中心还将注重培养和使用虚实人才, 管理医疗平台(包括诊室和病房), 以及进行社会和经济效率管理。这一中心的愿景是提供以患者为中心、元医为重点、专病为抓手、质控为保障的同质化医疗服务平台和相应新质生产力医疗模式, 助力实现强基层广覆盖的“健康中国 2030”规划的目标。

【关键词】 人工智能; 物联网医学; 元宇宙医学; 数字人医学 GPT; 新质生产力

【中图分类号】 R 197.3 **【文献标志码】** A

The center for new-quality productive forces in medicine

BAI Chunxue^{1,2,3*}, YANG Shixiong⁴, LIANG Qiong⁴, JIANG Weipeng^{1,5}

1. 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

4. The First People's Hospital of Nanning, Nanning 530022, Guangxi, China

5. Shanghai Geriatric Medical Center, Shanghai 201104, China

【Abstract】 The center for new-quality productive forces in medicine is an institution dedicated to driving innovation and development in the medical field. The center will adopt cutting-edge new qualitative productive forces technologies and methods, such as artificial intelligence, the Internet of Things in medicine, metaverse in medicine and digital human medical GPT, metaverse technology and Internet of Things technology, while integrating new-quality productive forces quality control system, streamlining processes, strengthening supervision, strengthening information management and effect evaluation, and realizing the linkage between patients, general practitioners and medical center experts to improve the quality and efficiency of medical services. In addition, the center will focus on the cultivation and use of virtual and real talents, the management of medical platforms (including clinics and wards), and the management of social and economic efficiency. The vision of this center is to provide a homogeneous medical service platform with patient-centered, meta-medicine as the focus, special diseases as the starting point, and quality control as the guarantee, as well as a corresponding new-quality productive forces medical model, to help achieve the goal of the Healthy China 2030 plan with strong grassroots and wide coverage.

【Key Words】 artificial intelligence; Internet of Things in medicine; metaverse in medicine; digital human medical GPT; new quality productive forces

医学新质生产力是指应用现代科技手段, 尤其是信息技术和生物技术, 来提高医疗服务质量、效率和效果的能力^[1-2]。设立医学新质生产力医学中心的需求源于当前医疗体系面临的多重挑战。传

【收稿日期】 2025-03-20

【接受日期】 2025-03-25

【基金项目】 癌症、心脑血管、呼吸和代谢性疾病防治研究国家科技重大专项(2024ZD0529300). Supported by Fund of Major Project—Research on Cancer, Cardiovascular, Respiratory and Metabolic Diseases (2024ZD0529300)

【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

统的医疗模式往往以医院和专家为中心,这种模式虽然能够提供高水平的专业医疗服务,但却存在资源分配不均、医患比例失衡等问题。这些因素导致了许多地区,尤其是基层和农村地区的医疗服务水平低下,无法满足广大民众的健康需求。相比之下,医学新质生产力医学中心应用物联网(Internet of Things, IoT)、人工智能(artificial intelligence, AI)、元宇宙和 ChatGPT 等数字技术,倡导一种以患者为中心、以元宇宙医生为重点的新型医疗模式^[1-4]。这种模式的优势在于它能够更加公平地分配医疗资源,通过虚拟现实(virtual reality, VR)和增强现实(augmented reality, AR)等技术手段,实现医疗服务的广泛覆盖和同质化。此外,借助元宇宙环境,该中心能够为患者提供定制化的治疗方案,并促进跨地域的医疗合作与交流^[1-2]。

医学新质生产力医学中心在以下几个方面显示出其优势。(1)提升基层医疗服务水平:通过元宇宙医学技术,基层医生可以获得著名专家的程序化知识,从而提高他们的诊疗能力和服务水平。(2)实现资源共享:无论身处何地,患者都能接受高质量的医疗服务,因为元宇宙医学允许专家和资源在全球范围内共享。(3)优化疾病预防和管理:借助物联网医学技术,可以对患者的病情进行实时监测,实现疾病的早期发现和干预,从而提高治疗效果。(4)强化医学教育和培训:元宇宙医学为医学教育和培训提供了新的平台,有助于培养更多具备高技能和良好医德的医疗人才^[1-2,5-7]。

1 医学新质生产力可赋能精准医疗实践

医学新质生产力在精准医疗实践中扮演着至关重要的角色。借助基因测序、生物信息学等技术,我们可以为每个患者量身定制最佳的治疗方案,提高治疗的成功率和安全性。通过应用基因测序、生物信息学等先进技术,我们能够获取关于患者的详尽遗传信息,进而为患者量身打造最适合其独特基因构成的治疗方案^[8-10],提高了治疗的针对性和有效性。例如,在肿瘤治疗领域,基于新一代测序技术(NGS)的基因测序可以揭示肿瘤细胞的遗传变异,帮助医生选择针对这些变异的靶向药物。相较于传统的化疗或放疗,这种方法能够更为精准地攻击癌细胞,同时减少对正常细胞的损害^[9]。此外,生物信息学在分析大量基因数据方面发挥着关键作用。它能够处理、分析和解释从基因测序实验

中获得的庞大数据集,为医生提供有关疾病机理和治疗策略的深入见解^[11-12]。简言之,医学新质生产力通过促进个性化医疗和精准治疗,极大地增强了我们对疾病的理解和治疗能力,为患者带来了更加安全、有效的治疗体验。

2 医学新质生产力将推动物联网医疗发展

医学新质生产力在推动远程医疗和移动医疗的发展上起着至关重要的作用。通过应用物联网和移动通信技术,它可以实现随时随地访问物联网医疗服务,克服地理障碍,并提高医疗资源的应用率^[13-17]。医学新质生产力应用现代通信技术,打破了传统医疗模式的局限,使医疗服务更加便捷、高效和安全。这不仅改善了患者的就医体验,也为医疗行业带来了前所未有的发展机遇(表1)^[1-2]。

3 新质生产力将助力元宇宙医学发展

元宇宙医学将以新质生产力形式发挥关键作用,通过结合重要的生产力元素,元宇宙医学将在未来的医疗大健康服务中扮演至关重要的角色,新质生产力将通过多个方面助力元宇宙医学的发展(表2)^[5-6,18-20]。

随着科技的进步,特别是物联网和元宇宙技术的发展,医疗领域正在经历一场前所未有的变革。通过深度挖掘和分析医疗质量数据,可以发现潜在规律,为持续改进医疗质量提供有力的依据^[21]。在教育与培训方面,元宇宙医学平台能够提升医疗质量教育和培训水平,有效提升医护人员的质量意识和技能。通过模拟真实医疗场景,医护人员可以在安全的环境中学习和练习,从而提高临床决策能力和操作技能。在预测和预警方面,元宇宙医学应用先进的数据分析技术和去中心化技术,对医疗质量数据进行实时分析和监测,以预测可能出现的问题,并给予及时提醒纠正。一旦监测数据触及或接近预设的阈值,会自动触发预警系统,向相关人员发送警示信息,以便及时采取措施防止潜在问题的发生^[1,18]。

4 新质生产力医学中心社会效益

通过其创新性的服务模式和技术应用,能够带来显著的社会效益。新质生产力医学中心的社会效益主要来自于其在医疗服务、教育和研究方面的创新实践(表3)^[1-4]。

表 1 物联网医学彰显新质生产力的作用

方法	技术路线
本质强基层	通过互联网,患者可以与远在他乡的专家进行视频咨询,无论他们身处何地,都能获得专业医疗建议。
保障全时空	各种医疗设备和传感器能够相互连接和交流数据,意味着医生可以远程监控患者的健康状况,并在必要时立即采取行动。
地域不受限	让医疗服务触手可及。通过手机应用程序,患者可以轻松管理自己的健康状况,接收定制化的健康建议,甚至进行无地域远程医疗。
急救全时空	在任何紧急情况下,这些技术均可以迅速确定患者的位置,为救援争取宝贵的时间。例如,如果患者佩戴的可穿戴设备检测到异常生命体征,它可以立即发送警报给最近的医疗机构。
维保低成本	医学新质生产力可以实现医疗设备的远程维护和升级,降低运营成本,并提高设备性能和使用寿命。
管理高大上	对于医疗管理者来说,这些技术提供了实时的数据支持,使他们能够做出更准确的管理决策。通过对医疗数据的深度挖掘和分析,他们可以优化资源分配,提高服务质量。

表 2 元宇宙医学彰显新质生产力的作用

方法	技术路线
技术创新	新质生产力将推动元宇宙医学的技术创新,包括 VR、AR、IoT、云计算和 AI 等技术的进一步发展和应用。这些技术将共同构建一个高度互联、智能化的医疗健康生态系统。
服务模式变革	新质生产力将推动医疗服务模式的变革,实现从传统的面对面医疗服务向数字化、远程化和个性化的医疗服务转变。元宇宙医学将应用这些新技术,为患者提供更加便捷、高效和个性化的医疗服务。
数据驱动决策	新质生产力将推动数据驱动的医疗决策,通过收集、分析和应用大量的医疗健康数据,元宇宙医学将能够帮助医生和医疗机构做出更准确的诊断和治疗决策,提高医疗服务的质量和效率。
教育与培训	新质生产力将推动医疗教育和培训的创新,通过元宇宙医学平台,可以实现虚拟仿真手术、远程医疗教学等新型教育方式,提高医疗人员的技能和素质。
跨学科合作	新质生产力将推动跨学科的医疗合作,元宇宙医学将能够将不同领域的专家(如医生、研究人员、工程师等)聚集在一起,共同解决复杂的医疗问题,推动医学科学的进步。

VR:虚拟现实;AR:增强现实;IoT:物联网;AI:人工智能。

应用物联网技术实现医疗服务的智能化和个性化,这有助于提高医疗效率和患者满意度,同时降低医疗成本。中心倡导的分级诊疗和真实世界临床研究对于推动慢病管理和肿瘤等重大疾病的二级预防具有重要意义,从而提高了公共卫生水平并减轻了社会医疗负担。新质生产力医学中心强调的名医治未病和元医惠众生的理念,有助于提升公众的健康意识和自我保健能力,进一步促进健康公平和社会和谐^[5-6,15]。

5 新质生产力医学中心的经济效益

新质生产力医学中心的经济效益将来源于其创新实践,及其对于相关产业发展的推动作用和对经济增长的贡献^[1-2,7]。在经济方面,新质生产力医学中心的创新实践不仅促进了相关产业的发展,如

医疗器械、远程医疗和大数据处理等,还为经济增长提供了新的动力,在推动医疗科技进步、提升医疗服务质量和促进经济社会可持续发展方面发挥着重要作用(表 4)^[1-2]。

6 医学新质生产力将面临的挑战

尽管新质生产力给医学带来了诸多机遇,但是仍面临一些挑战,包括技术成熟度、数据安全和隐私保护、技术接受度以及成本问题(表 5)^[4,23-24]。

虽然有众多挑战,但是随着科学技术的进步和发展,我们可以有效地应对挑战,推动医疗行业的持续创新和发展(表 6)^[1-2,5-6,18]。要充分应用这些技术的潜力,不断地实践反馈和模型优化,以提高预警系统的准确性和敏感性。同时,关注并解决相关的技术和政策问题,以保护数据的安全和隐私^[4,23]。

表 3 新质生产力医学中心社会效益

方法	技术路线
促进健康公平	新质生产力医学中心倡导的名医治未病和元医(元宇宙医生)惠众生的理念,有助于提升公众的健康意识和自我保健能力,进而促进健康公平和社会和谐。
全面提升医疗质量	通过引入物联网技术,新质生产力医学中心可以实现医疗服务的智能化和个性化,从而提高医疗效率和患者满意度。此外,还可强调分级诊疗和真实世界临床研究,这对于推动慢病管理和重大疾病的早期诊断具有重要意义。
教育和研究	新质生产力医学中心还可以在教育领域发挥重要作用,通过培养具有创新精神和实践能力的人才,为社会的发展做出贡献。同时,中心的研究成果可以为政策制定者和实践者提供有价值的参考,从而推动社会进步。
提升医院管理水平	通过将元宇宙去中心化和数据共享技术应用于医疗质控,新质生产力医学中心可以构建去中心化医疗质控平台,实现医疗数据的实时采集、传输与分析,保障医疗质量实时监控与反馈,从而提升医院的管理水平。
加强医疗质量监管	新质生产力医学中心可以应用去中心化技术优化医疗流程,提升效率并降低错误率,同时实施远程医疗质控,让专家远程指导基层医疗工作,从而加强医疗质量的监管。
提升医护人员素质	新质生产力医学中心可以通过开展医疗质量教育与培训,提升医护人员的质量意识与技能,从而提高医疗服务质量。
促进医疗质量持续改进	新质生产力医学中心可以通过深度挖掘与分析医疗质量数据,发现规律并为持续改进提供依据,从而促进医疗质量的持续改进。
提升患者的信任和满意度	新质生产力医学中心通过提升医院的管理水平、加强医疗质量监管、提升医护人员素质以及促进医疗质量的持续改进,可以提高患者的信任度和满意度,从而产生积极的社会效益。
推动医疗领域的创新	新质生产力医学中心通过应用元宇宙等新技术赋能医疗质控,可以推动医疗领域的创新,为患者提供更高质量的医疗服务。
推动相关产业发展	新质生产力医学中心的创新实践可以促进医疗器械、远程医疗和大数据处理等相关产业的发展,为经济增长提供新的动力。

表 4 新质生产力医学中心的经济效益

方法	技术路线
软件和硬件赋能应用增益	新质生产力医学中心的创新实践为这些产业提供了新的发展机遇和市场空间。促进医疗器械、远程医疗和大数据处理等相关产业的发展,从而带动了经济增长。
提升医疗服务效率和质量	通过引入物联网技术,新质生产力医学中心可以提高医疗服务的效率和质量,降低医疗成本,从而提高医疗机构的经济效益。
教育和研究推动经济增益	新质生产力医学中心在教育领域的创新实践可以培养出更多具有创新精神和实践能力的人才,这些人才将成为推动经济社会发展的重要力量。同时,该中心的研究成果也可以为政策制定者和实践者提供有价值的参考,从而推动经济社会的进步。
构建去中心化医疗质控平台增益	新质生产力医学中心应用去中心化技术优化医疗流程,提升效率并降低错误率,从而减少医疗资源的浪费,提高医疗机构的经济效益。
实施远程医疗赋能增益	新质生产力医学中心可以让专家远程指导基层医疗工作,提高基层医疗机构的服务质量,从而吸引更多的患者,增加医疗机构的收入。
医疗质量教育与培训增益	新质生产力医学中心通过开展医疗质量教育与培训,提升医护人员的质量意识与技能,从而提高医疗服务质量,增加医疗机构的收入。
深度挖掘分析医疗数据增益	新质生产力医学中心通过深度挖掘与分析医疗质量数据,可以发现规律并为持续改进提供依据,从而促进医疗质量的持续改进,提高医疗机构的经济效益。
推动医疗领域的创新增益	新质生产力医学中心通过应用元宇宙等新技术赋能医疗质控,可以推动医疗领域的创新,为患者提供更高质量的医疗服务,从而吸引更多的患者,增加医疗机构的收入。

续表

方法	技术路线
提升患者的信任和满意度增益	新质生产力医学中心通过提升医院的管理水平、加强医疗质量监管、提升医护人员素质以及促进医疗质量的持续改进,可以提高患者的信任度和满意度,从而吸引更多的患者,增加医疗机构的收入。

表 5 医学新质生产力在发展中将面临的挑战

方法	技术路线
技术成熟度	虽然物联网和元宇宙技术具有很大的潜力,但目前它们还不够成熟,特别是在医疗领域的应用。这需要时间和更多的研发投资来改进和优化这些技术。
数据安全和隐私保护	由于这些技术需要处理大量的敏感医疗数据,因此数据安全和隐私保护成为一个重大的挑战。必须采取严格的安全措施来保护这些数据,防止任何未经授权的访问或泄露。
技术接受度	医生和患者可能对新技术持谨慎态度,因为他们可能担心这些技术的安全性、有效性和易用性。提高公众对这些技术的认识和信任至关重要。
成本问题	开发和实施这些新技术需要大量的初始投资和持续的运营成本。医疗机构需要考虑这些成本,并找到可持续的资金来源。

表 6 解决医学新质生产力面临挑战的对策

方法	技术路线
建立完善的医疗质控体系	医疗机构应建立完善的医疗质控体系,明确质控的标准和流程,确保质控的有效执行。
简化质控流程	通过信息化手段,简化医疗质控流程,减少人力物力的投入,降低质控的成本。
加强技术研发和创新	加大对物联网、元宇宙等关键技术的研发投入,提高技术的成熟度和可靠性,以满足医疗领域的特殊需求。
重视数据安全和隐私保护	制定严格的数据安全管理制度,采用先进的数据加密和匿名化处理技术,确保患者数据的安全和隐私。
提高技术接受度	通过培训和宣传教育,提高医生和患者对新技术的好处和价值的认识,增加他们对新技术的接受度。
寻求政府和社会的支持	通过与政府、企业和社会组织合作,共同推动医学新质生产力的发展,分担成本和风险。

7 展 望

新质生产力医学中心有着充满创新和机遇的未来。随着科技进步,特别是物联网和元宇宙技术

的发展,新质生产力医学中心有望成为推动医疗服务改革和提升医疗质量的重要力量^[1-2],为患者提供更好、更个性化的医疗服务,引领医疗服务进入一个全新的时代(表 7)。

表 7 新质生产力医学中心的发展前景

方法	技术路线
优化医疗资源配置	新质生产力医学中心将应用大数据和人工智能技术,对医疗资源进行优化配置,避免资源浪费,提高医疗系统的整体效率。
实现医疗服务的数字化转型	新质生产力医学中心将应用物联网和元宇宙技术,实现医疗服务的数字化转型。这将包括电子病历的普及、远程医疗服务的推广以及虚拟现实技术在医疗培训和教育中的应用。
提高医疗服务的可及性和质量	通过去中心化的数据共享技术和虚实融合的人机交互技术,新质生产力医学中心将能够提高医疗服务的可及性和质量。无论患者身在何处,他们都能够获得及时、高质量的医疗服务。
推动医学研究和创新	新质生产力医学中心将成为一个创新的实验室,推动医学研究和创新。这里将会有更多的跨学科合作项目,旨在开发新的治疗方法和技术,以改善患者的健康和福祉。
培养新一代医疗人才	新质生产力医学中心将承担起培养新一代医疗人才的责任。通过虚拟现实和增强现实技术,医学生可以获得更加真实和直观的学习体验,从而提高他们的临床技能和专业素养。

8 小 结

医学新质生产力医学中心对于实现医疗服务的个性化、精准化和智能化具有重要意义^[1-2]。借助基因测序、生物信息学等技术,我们可以为每个患者量身定制最佳的治疗方案,提高治疗的成功率和安全性^[9-10]。通过物联网和移动通信技术,患者可以随时随地获取医疗服务,打破地域限制,提高医疗资源的应用效率^[13-15]。具有重要新质生产力元素的元宇宙医学,在未来医疗大健康服务中将扮演至关重要的角色^[5-6]。

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 阳世雄、梁琼:撰写文章;蒋维芃:撰写、检索文献;白春学:选题、撰写、修改文章。

参考文献

- [1] 白春学. 医学新质生产力之我见[J]. 元宇宙医学, 2024, 3(1): 3-10.
- [2] 顾建英, 宋振举, 白春学. 拥抱新质生产力, 开创医学新时代[J]. 元宇宙医学, 2024, 3(1): 1-2.
- [3] 刘晨曦, 王 茜, 姚 岚. 新质生产力助力健康中国建设研究[J/OL]. 中国卫生经济, 2024: 1-4. (2024-08-07). [2025-03-10]. <http://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?>
- [4] 周 雪, 毛荟妍, 王雪梅, 等. 新质生产力驱动卫生系统重塑的当前表现与潜在挑战[J]. 中国医院管理, 2024, 44(5): 17-21.
- [5] YANG D W, ZHOU J, SONG Y L, et al. Metaverse in medicine [J]. Clin eHealth, 2022, 5: 39-43.
- [6] YANG D W, ZHOU J, CHEN R C, et al. Expert consensus on the metaverse in medicine[J]. Clin eHealth, 2022, 5: 1-9.
- [7] 黄凌波, 覃娴静, 冯启明. 新质生产力赋能数字医联体建设——内涵、逻辑与路径[J]. 广西医学, 2024, 46(3): 329-332.
- [8] KÖNIG I R, FUCHS O, HANSEN G, et al. What is precision medicine?[J]. Eur Respir J, 2017, 50(4): 1700391.
- [9] BHINDER B, GILVARY C, MADHUKAR N S, et al. Artificial intelligence in cancer research and precision medicine [J]. Cancer Discov, 2021, 11(4): 900-915.
- [10] DENNY J C, COLLINS F S. Precision medicine in 2030—seven ways to transform healthcare [J]. Cell, 2021, 184(6): 1415-1419.
- [11] CHEN Z H, LIN L, WU C F, et al. Artificial intelligence for assisting cancer diagnosis and treatment in the era of precision medicine[J]. Cancer Commun (Lond), 2021, 41(11): 1100-1115.
- [12] BERA K, SCHALPER K A, RIMM D L, et al. Artificial intelligence in digital pathology – new tools for diagnosis and precision oncology [J]. Nat Rev Clin Oncol, 2019, 16(11): 703-715.
- [13] 白春学, 赵建龙. 物联网医学[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [14] 白春学. 实用物联网医学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2014.
- [15] BAI C X. Letter from China [J]. Respiriology, 2018, 23(7): 718-719.
- [16] 国际元宇宙医学协会睡眠呼吸专家组. 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): 613-9, 32.
- [17] 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.
- [18] 白春学. 元宇宙医学之我见[J]. 中国医药导刊, 2023, 25(1): 1-6.
- [19] WANG G, BADAL A, JIA X, et al. Development of metaverse for intelligent healthcare [J]. Nat Mach Intell, 2022, 4(11): 922-929.
- [20] 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.
- [21] XU N, YANG D W, ARIKAWA K, et al. Application of artificial intelligence in modern medicine [J]. Clin eHealth, 2023, 6: 130-137.
- [22] 谈在祥, 刘逸天. 卫生健康领域新质生产力的内涵特征及发展路径[J]. 卫生经济研究, 2024, 41(6): 1-4.
- [23] KOSTICK-QUENET K, RAHIMZADEH V. Ethical hazards of health data governance in the metaverse [J]. Nat Mach Intell, 2023, 5(5): 480-482.
- [24] 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.

引用本文

白春学, 阳世雄, 梁 琼, 等. 新质生产力医学中心[J]. 元宇宙医学, 2025, 2(1): 15-20.

BAI C X, YANG S X, LIANG Q, et al. The center for new-quality productive forces in medicine [J]. Metaverse Med, 2025, 2(1): 15-20.

DOI:10.61189/080599azodao

· 专家述评 ·

新质生产力时代康养

白春学^{1,2,3,4*}, 张黎川⁵, 朱文思^{1,2}, 蔡沁怡^{1,2}

1. 复旦大学附属中山医院呼吸与危重症医学科, 上海 200032

2. 上海市呼吸病研究所, 上海 200032

3. 上海呼吸物联网医学技术工程研究中心, 上海 200032

4. 国际元宇宙医学联盟, 苏州 215163

5. 大连大学附属中山医院呼吸与危重症医学科, 大连 116001

[摘要] 应用物联网、元宇宙和医学 GPT 赋能康养领域, 提升健康照护的质量与效率。物联网技术通过部署传感器和监控设备, 实时监控个体健康状况并收集数据, 为制定个性化健康计划提供科学依据。元宇宙则构建一个三维立体的虚拟空间, 使用户能以虚拟身份参与多样化的健康促进活动, 享受沉浸式的健康教育体验, 如虚拟现实中的运动训练和康复课程。医学 GPT 利用自然语言处理技术, 结合用户的基因、生理指标等信息, 提供个性化的健康咨询和预防策略, 生成定制化的健康管理计划, 并评估健康风险, 提供专业咨询与教育。这些技术的结合不仅提升了健康管理的个性化和智能化水平, 还扩大了健康教育资源的可及性, 使偏远地区居民也能享受优质资源。此外, 它们降低了对传统医疗资源的依赖, 减少了成本, 提高了服务效率, 并通过提供互动性强、趣味性高的虚拟现实体验, 增强了用户对健康促进活动的参与度和满意度。这些技术有利于推动医疗健康服务的创新, 促进健康资源的公平分配, 提升全民健康水平。

[关键词] 虚拟现实; 增强现实; 物联网; 生成型预训练变换模型

[中图分类号] R 197.7 **[文献标志码]** A

Health and wellness in the era of new quality productive forces

BAI Chunxue^{1,2,3,4*}, ZHANG Lichuan⁵, ZHU Wensi^{1,2}, CAI Qinyi^{1,2}

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

2. Shanghai Respiratory Research Institution, Shanghai 200032, China

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

4. International Alliance for Metaverse in Medicine, Suzhou 215163, Jiangsu, China

5. Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, Affiliated Zhongshan Hospital of Dalian University, Dalian 116001, Liaoning, China

[Abstract] The Internet of Things, Metaverse and Medical GPT are used to empower the field of health care, and the quality and efficiency of health care are improved through high-tech means. IoT technology provides a scientific basis for developing personalized health plans by deploying sensors and monitoring devices to monitor individual health status in real-time and collect data. The metaverse builds a three-dimensional virtual space, allowing users to participate in a variety of health promotion activities as virtual identities and enjoy immersive health education experiences, such as exercise training and rehabilitation courses in virtual reality. Medical GPT uses natural language processing technology, combined with the user's genetic, physiological indicators and other information, to provide personalized health consultation and prevention strategies, generate customized health management plans, assess health risks, and provide professional consultation and education. The combination of these technologies not only improves the personalized and intelligent level of health management, but also expands the accessibility of health education resources, so that residents in remote areas can also enjoy high-quality resources. In addition, they reduce reliance on traditional healthcare resources, reduce costs, improve service efficiency, and enhance user engagement and satisfaction with health promotion activities by providing interactive and fun virtual reality experiences. These technologies are conducive to promoting innovation in medical and health services, promoting the equitable distribution of health resources, and improving the health level of the whole people.

[Key Words] virtual reality; augmented reality; Internet of Things; generative pretrained transformer

[收稿日期] 2025-03-20

[接受日期] 2025-03-28

[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

新质生产力康养的概念可以理解为在现代信息技术的支持下,通过整合和创新康养服务模式,提升个体身心健康状态的全新概念^[1]。它不仅仅关注传统意义上的健康和养老,而是扩展到了更为全面的康养管理与促进领域。新质生产力康养依托于先进的人工智能(artificial intelligence, AI)、物联网(Internet of Things, IoT)、元宇宙医学、医学生成预训练模型(generative pretrained transformer, GPT)等科技手段^[2],旨在为个体提供定制化的健康服务方案,从而实现更高水平的健康维护和生活质量的提升。这种新型的康养模式强调了科技在推动健康服务创新中的核心作用,并致力于通过技术手段来解决传统康养服务中存在的问题和挑战,比如服务效率、成本控制以及个性化需求的满足等。

1 新质生产力赋能康养医学契合时代需求

尽管近年来我国在健康领域的改革和发展上取得了显著成就,人民的健康水平和身体素质得到了持续提高,但仍有许多挑战存在。例如,尽管有政策支持,以及医务人员的长期努力,我国人均预期寿命已达到 76.3 岁^[3],优于中高收入国家的平均水平,但距离理想的健康长寿目标还有一定差距。

在康养管理方面,虽然有一部分人开始主动参与体检和健康活动,但由于认识和成本问题,多数人对体检的认识仍停留在不必要或不划算的阶段,导致每年参加体检的人数仅占很小一部分^[4]。此外,现有的康养管理模式并不成熟,难以满足不同人群的需求。元宇宙医学大健康的出现为康养带

来了新的机遇。它可以对个体和群体的健康状况及其影响因素进行全面检测、评估,并提供有效的干预措施和连续跟踪服务^[5]。这有助于提高人们的自我管理意识和水平,并通过虚实互动的方式干预与生活方式相关的健康风险因素。

移动健康应用程序和设备的普及,它们在提供健康建议、监测生命体征等方面发挥着越来越重要的作用^[6]。然而,这些设备和应用的使用也带来了社会、行为和法律上的监管挑战,尤其是在保证安全和隐私方面。虚拟环境中的另一个挑战是人类建模能力的限制。为此,在设计虚拟医疗环境时,必须考虑到广泛的人为因素,包括知觉、认知和社会问题。在虚拟环境中对个人进行的信任评估与面对面交流有所不同。

2 物联网医学赋能康养

2.1 物联网医学赋能康养的思路 物联网医学在康养领域的应用,可以为康养体系的顶层设计和学术引领提供强大的技术支持。通过物联网医学,可以实现对个体健康的实时监测、数据分析和智能化管理,从而为康养服务提供更加精准和个性化的解决方案^[7]。物联网医学可以在多个方面赋能康养顶层设计和学术引领(表 1)^[8-10]。

物联网医学在康养领域的应用,不仅可以提高康养服务的效率和效果,还可以推动康养领域的学术发展和创新。因此,我们应该充分重视物联网医学在康养体系顶层设计和学术引领中的作用,积极推动其在实际中的应用。

表 1 物联网医学赋能康养的思路

思路	方法和技术路线
康养管理	物联网医学可以通过各种传感器和设备,实时收集个人的健康数据,包括生理指标、生活习惯和环境因素等,这些数据经过分析处理后,可及时发现异常,为诊治方案调整提供依据,从而为个体提供个性化的健康建议和管理方案,实现精准的康养管理。
疾病预防	通过对大量健康数据的分析,物联网医学可以发现潜在的健康风险和疾病趋势,例如监测到血压长期处于临界值且心率变异性异常往往提示心血管疾病风险高,进而及时推送预警信息并制定个性化的饮食、运动计划,从而实现疾病的早期预防和干预。这对于降低疾病发生率、提高生活质量具有重要意义。
康复治疗	对于需要康复治疗的患者,物联网医学可以提供个性化的康复计划和服务。例如,通过智能康复设备,可以实时监测患者的康复进度,并根据实际情况调整康复方案。
养老服务	在养老服务领域,物联网医学可以通过智能化的设备和系统,为老年人提供安全、便捷的日常生活服务。同时,还可以实现对老年人健康状况的实时监测,并提供紧急救援服务。
学术研究	物联网医学的发展,也为康养领域的学术研究提供了新的方向和课题。例如,可以通过大数据分析,研究不同因素对健康的影响,从而为制定更加科学合理的康养政策提供依据。

2.2 物联网医学赋能康养的方法 物联网医学在赋能康养方面的研究成果主要体现在科技创新上,这些创新成果为康养服务带来了革命性的变化(表2)。随着技术的不断进步和创新,我们可以期待更多革命性的成果出现,为人类的健康长寿做出贡献。

2.3 物联网医学赋能康养的意义 物联网医学在康养领域的智能应用,其所展现的惠众意义和效果广泛而深远。作为新质生产力的核心要素,物联网医学通过各类传感器和网络通讯技术实现的远程监测和疾病预警成功地打破了地理和身体的限制,使得医疗服务能够触及偏远地区或行动不便的人群,从而让更多人有机会享受到高质量的医疗服务^[13]。该领域还深度融合了大数据分析 with AI 技术,实现多模态数据的智能化管理及分发,对每个人的健康数据进行细致全面的分析,从而提供精准个性化的健康干预方案,极大提升了康养管理的精细化水平。此外,物联网医学减少了传统医疗模式中的人工介入环节,通过对医护人员及医疗设备等医疗资源的

智能化动态调配与优化,显著提高了医疗服务的响应速度和资源利用效率,有效缓解了医疗资源紧张的局面。综上所述,物联网医学在康养领域的应用不仅广泛提高了服务的可及性和便利性,也赋能个性化的精准康养管理,提高了医疗资源的利用效率,实现了数据驱动的康养管理模式,推动了康养管理从治疗为主向预防为主的转变。

3 元宇宙医学赋能康养

3.1 元宇宙医学赋能康养的思路 元宇宙医学在康养领域的应用,可以为康养体系的顶层设计和学术引领提供全新的视角和技术支持。通过元宇宙医学,可以实现对个体健康的虚拟化、数字化和智能化管理,从而为康养服务提供更加创新和个性化的解决方案。元宇宙医学可以赋能康养顶层设计和学术引领(表3)^[14]。我们应该充分重视元宇宙医学在康养体系顶层设计和学术引领中的作用,积极推动其在实际中的应用。

表 2 应用物联网医学赋能康养的策略或方法

策略或方法	技术路线
实时健康监测	通过部署在各种场景的传感器和网络,物联网医学可以实现对个体健康的实时监测。例如,可穿戴设备可以全天候监测用户的生理指标,如心率、血压、血糖等,并将数据实时上传至云端进行分析 ^[11] 。这种实时监测能力对于及时发现健康问题、预防疾病具有重要意义。
远程医疗赋能	物联网医学使得远程医疗成为可能。通过高速网络连接,医生可以远程查看病人的健康数据,甚至通过视频通话进行诊断和治疗。这对于偏远地区的居民或者行动不便的人来说,是一种非常宝贵的服务。
智能家居健康系统	物联网医学可以将家居环境与康养管理结合起来,创建智能家居健康系统。例如,通过智能床垫可以监测睡眠质量,智能冰箱可以根据用户的健康状况推荐合适的饮食,智能空气净化器可以实时监测室内空气质量 ^[12] 。
大数据分析 with AI	物联网医学产生的大量健康数据,为大数据分析提供了丰富的素材。通过 AI 算法,可以对这些数据进行深度挖掘,发现潜在的健康规律和趋势 ^[9] 。例如,通过分析大量用户的心率数据,可以预测心脏病的风险。
由 VR 和 AR 再赋能	物联网医学还可以结合 VR 和 AR 技术,为用户提供更加沉浸式和交互式的健康体验。例如,通过 VR 技术可以模拟康复训练场景,帮助患者更好地进行康复训练。

AI:人工智能;VR:虚拟现实;AR:增强现实。

3.2 元宇宙医学赋能康养的方法 元宇宙医学赋能康养(表4)。随着技术的不断进步和创新,我们可以期待更多革命性的成果出现,为人类的健康长寿做出贡献。

3.3 元宇宙医学赋能康养意义 元宇宙医学在康养领域的应用展现了深远的惠众意义和多元化效果,代表了一种助力个性化医疗的创新诊疗模式,将新质生产力进一步具象化,表现在拓展了康养服务范

围,促进康养资源的共享,打破医院时空限制,提升诊疗的便捷性,将不同地区的康养资源整合到元宇宙平台上,也促进了康养资源的均衡分配^[20]。元宇宙医学创建虚拟诊疗环境为康养训练等提供了创新手段,提升了康养服务的可及性及体验感;同时也降低了康养学习的成本及风险,此外,元宇宙医学跨地域医疗资源的共享,促进了普惠化的医疗服务,为实现更具个性化的康养管理创造了条件。

表 3 应用元宇宙医学赋能康养的思路

思路	方法和技术路线
数字化健康档案	元宇宙医学可以为每个人建立一份全面、动态的健康档案。这份数字化健康档案不仅可以记录个体的健康状况,还可以记录个体的生活习惯、环境因素等信息,为个性化康养管理提供数据支持 ^[15] 。
智能化健康服务	元宇宙医学可以应用 AI 技术,实现健康服务的智能化。例如,通过 AI 技术可以对个体的健康数据进行深度分析,发现潜在的健康风险;通过 AI 技术可以自动生成个性化的健康建议和治疗方案。
虚拟康养管理	元宇宙医学可以通过 VR 和 AR 技术,为个体提供沉浸式的康养管理体验。例如,通过 VR 技术模拟运动场景,帮助用户进行康复训练;通过 AR 技术将健康数据可视化,让用户更直观地了解自己的健康状况 ^[16] 。
学术研究与创新	元宇宙医学的发展,也为康养领域的学术研究提供了新的方向和课题。例如,可以通过元宇宙医学研究虚拟环境对人体健康的影响;可以通过元宇宙医学研究数字化技术在康养管理中的应用 ^[17] 。

4 医学 GPT 赋能康养

4.1 医学 GPT 赋能康养的思路 医学 GPT 在康养领域的应用,可以为康养体系的顶层设计和学术引领提供强大的技术支持。医学 GPT 通过自然语言处理,对大量医学文献、病历、临床指南等大数据进行

学习和训练,根据输入的医学问题运用其学习到的知识,可以实现对个体健康的智能化管理和决策支持,从而为康养服务提供更加精准和个性化的解决方案^[21]。医学 GPT 可以在以下几个方面赋能康养顶层设计和学术引领(表 5)。

表 4 应用元宇宙医学赋能康养的方法

方法	技术路线
全息构建与仿真技术	通过全息构建与仿真技术,可以在元宇宙中创建出高度逼真的虚拟环境和对象,为用户提供沉浸式体验。这种技术可以应用于康复训练、手术模拟等领域,帮助用户更好地理解和掌握复杂的技能 ^[18] 。
虚实融合与联动技术	虚实融合与联动技术可以实现虚拟世界与现实世界的无缝对接,为用户提供实时、交互式的体验。这种技术可以应用于远程医疗、在线教育等领域,打破地域和时间的限制,让更多人能够享受到高质量的服务。
智能处理与分析技术	智能处理与分析技术可以对海量数据进行快速、准确的分析和处理,为用户提供个性化的建议和方案。这种技术可以应用于康养管理、疾病预测等领域,帮助用户更好地了解 and 改善自己的健康状况。
虚拟化智慧健康照护	通过元宇宙医学,可以实现虚拟化智慧健康照护,为用户提供全方位的医疗服务。这种服务不仅可以覆盖传统的医疗领域,还可以延伸到心理健康、社会交往等领域,满足用户多样化的需求 ^[19] 。

表 5 应用医学 GPT 赋能康养的思路

思路	方法和技术路线
康养管理	医学 GPT 可以通过分析个体的遗传背景、既往病史、健康数据和生活习惯,为每个人提供个性化的健康建议和管理方案,从而实现精准的康养管理 ^[21] 。如为患有高血压的个体定制低盐饮食计划。
疾病预防	通过对大量健康数据的分析,医学 GPT 可以发现潜在的健康风险和疾病趋势,并对高风险人群发出预警,如对长期吸烟者,建议定期 LDCT 检查,从而实现疾病早期的预防和干预 ^[22] 。
康复治疗	对于需要康复治疗的患者,医学 GPT 可以提供个性化的康复计划和服务。例如,为脑卒中患者规划包括肢体运动、平衡训练、语言功能恢复等不同阶段的康复计划,并通过智能康复设备,可以实时监测患者的康复进度,并根据实际情况调整康复方案 ^[23] 。
养老服务	医学 GPT 可以通过智能化设备和系统,为老年人提供安全、便捷的日常生活服务、个性化健康建议和精神慰藉。如为骨质疏松的老人制定运动方案,包括适当的散步、晒太阳时间及识别焦虑、抑郁情绪并提供简单的心理疏导,同时,还可以实现对老年人健康状况的实时监测,并提供紧急救援服务 ^[21, 24] 。
学术研究	医学 GPT 的发展,也为康养领域的学术研究提供了新的方向和课题。例如,可以通过大数据分析,研究不同因素对健康的影响,从而为制定更加科学合理的康养政策提供依据 ^[24] 。

4.2 医学GPT赋能康养的方法

医学GPT在赋能康养领域的科技创新主要体现在以下方面(表6)。随着技术的不断进步和创新,我们可以期待更多革命性的成果出现,为人类的健康长寿做出贡献。

表 6 应用医学 GPT 赋能康养的方法

方法	技术路线
康养管理与预防	医学 GPT 可以整合用户的基因、生理和病生理指标及既往检查数据等信息,为用户提供个性化的健康建议和预防措施。如对于疑似糖尿病前期患者制定个体化低糖、高纤维饮食计划及规划合理的运动方案。这种服务可以帮助人们更好地管理自己的健康,预防疾病的发生。
智能诊断与治疗建议	医学 GPT 可以通过分析患者的病历、症状和体征等数据,为患者提供智能化的诊断建议和个性化的治疗方案。这种服务不仅可以提高诊断的准确性和治疗的效率,还可以为患者提供更加人性化的医疗体验。
医学教育与培训	医学 GPT 可以作为智能教学辅助工具,帮助教师解答学生疑问,提供有关疾病、药物和治疗方案的信息,并帮助学生理解复杂的医学概念 ^[25] 。通过提供大量真实和模拟的医学案例,培养学生的临床思维能力和解决问题的能力,这种服务可以提高医学教育的质量和效率,培养更多优秀的医疗人才。
药物研究与优化	医学 GPT 可以通过大量医学文献及疾病相关组学数据,挖掘潜在药物靶点,分析药物分子结构、药效数据等信息,预测药物的疗效和副作用,从而加速药物的研究和优化 ^[26] 。这种服务可以为药物研发提供更加高效、精准的工具,推动医药行业的创新与发展。

4.3 医学 GPT 赋能康养的意义 医学 GPT 通过 AI 赋能,将整合的医学数据转化为可用的医学知识,打破了信息壁垒,促进了康养知识的普及,其智能应用的惠众意义和效果展现在多个层面。首先,通过智能化的自然语言处理,整合海量医疗数据分析和先进算法,提供疾病诊疗的参考依据,尤其辅助复杂状态下疾病的准确识别。医学 GPT 可结合对个体多维度数据的监测并进行深入剖析,快速生成精准优化的专属诊疗方案,并预测潜在疾病风险,不但提升了康养服务的效率及个性化水平,也促进了健康管理水平。其次,与物联网医学及元宇宙医学相似,医学 GPT 能够实现远程医疗模式,让患者在基层医疗机构或者家中获得优质的医疗建议和指导,推动了分级诊疗制度的落实,缓解了大医院的就诊压力,利于实现了医疗资源的均衡分配。最后,通过传递个性化的健康信息和康养管理服务,医学 GPT 的崛起助力公众更深入地了解自身健康状况,从而提升了整体的健康认知和自我管理能力。此外,通过快速总结医学文献,促进康养研究人员之间的学术共享和交流,推动行业的创新与发展,助力新兴产业的深度融合。

医学 GPT 在康养领域的应用,增强了服务的普及性和便捷性,实现了个性化的康养管理,优化了资源利用,推动了行业创新,对于提升公众整体健康意识和自我管理的能力并提高生活品质起到了不可或缺的作用。

总之,无论物联网医学、医学元宇宙和医学 GPT 都是新质生产力的重要代表,与传统生产力相比,

更强调技术赋能、智能化及协作创新,共同推动康养行业从传统模式向数据化、虚拟化和智能化转变。它们依赖于海量医疗数据为基础,从不同维度提高用户、医务人员的相互体验,满足临床个体化、多样化需求。在医学康养领域三者互为补充、协调发展,如物联网医学的数据支持可以用于医学 GPT 的智能分析,同时其结果可以在元宇宙医学虚拟场景中得以展示和互动。跨领域融合的新质生产力有助于降低康养医疗成本、提高康养效率、重塑康养服务生态系统,并催生、孕育出一系列基于新质生产力的新产品和服务,为整个康养行业注入了新的活力。

5 新质生产力康养面临的挑战和解决方法

5.1 新质生产力康养面临的挑战 新质生产力在康养领域的应用虽然有广阔前景,同时也面临一系列复杂的挑战。这些调整既来源于技术本身的局限性,也涉及社会、伦理、政策等多重因素,主要来自以下方面(表7)^[27-28]。

5.2 新质生产力康养面临的挑战的解决方法 新质生产力康养面临的挑战涉及技术接受度、培训和教育、数据安全和隐私保护、法规和政策以及经济因素等多个方面^[29-30]。以下是针对这些挑战的可能解决方案(表8)。解决新质生产力康养面临的挑战需要多方面的努力和合作,只有这样,才能充分释放新质生产力的潜力,确保新质生产力康养能够真正惠及广大老年人,提高他们的健康意识和生活质量。

表 7 新质生产力康养面临的挑战

挑战	形成原因
技术接受度	新质生产力康养依赖于先进的信息技术,如 AI、大数据分析和云计算等。然而,一些老年人可能对新技术感到恐惧或不信任,担心其安全性和隐私保护。因此,如何提高老年人对新技术的接受度和信任度是一个重要挑战。其次,一些康养技术设备操作复杂、界面不够友好,给用户带来不便。
培训和教育	实施新质生产力康养需要相应的培训和教育,包括对老年人的教育和培训,让他们了解和使用新技术,和对护理人员和家属的培训,使他们能够有效地应用这些技术提供高质量的护理服务。
数据安全和隐私保护	新质生产力康养涉及大量个人健康信息,确保数据的保密性、完整性和可用性是一个重大的挑战。这需要建立完善的数据安全管理制度和规范,同时还需要加强技术研发,提高数据安全防护能力。
法规和政策	新质生产力康养的发展需要相应的法规和政策的支持。目前,许多国家 and 地区的相关法规和政策还不完善,这可能会制约新质生产力康养的发展。因此,推动相关法规 and 政策的制定和完善是推动新质生产力康养发展的重要任务。
经济因素	新质生产力康养的实施需要一定的经济投入,包括购买和维护相关设备、软件和服务等。对于一些经济条件较差的家庭和个人来说,这可能是一个负担。因此,如何降低新质生产力康养的成本,使其更加普及和可负担,也是一个重要的挑战。

表 8 解决新质生产力康养挑战的方法

方法	技术路线
提高技术接受度	通过优化产品设计,开发易于使用、直观且安全的技术解决方案,降低老年人对新技术的恐惧和不信任。此外,可以通过社区活动、工作坊和示范等方式,提高老年人对新技术的认识和理解。此外,建立完善的技术支持体系为用户解答技术使用困难。
加强培训和教育	为老年人、护理人员和家属提供全面的培训项目,包括技术操作、健康护理知识和技能等。这些培训项目可以通过线上和线下相结合的方式提供,以满足不同用户的需求。
确保数据安全和隐私保护	建立健全的数据安全管理制度和规范,包括数据加密、访问控制和审计等措施。同时,加强技术研发,提高数据安全防护能力,例如使用 AI 和区块链等技术来保护数据安全。
完善法规和政策	推动相关法规 and 政策的制定和完善,为新质生产力康养的发展提供法律保障。这可能包括制定关于数据保护、知识产权和健康保险等方面的新法规。
解决经济因素	探索多种经济模式,如政府补贴、社会捐赠和企业合作等,以降低新质生产力康养的成本。同时,努力提高相关技术和服务的性价比,使其更加普及和可负担。

6 展望

在新质生产力时代,康养产业面临着前所未有的发展机遇。首先,人工智能技术在康养领域的应用日益广泛。例如,智能机器人可以协助医护人员进行日常护理工作,减轻他们的劳动强度;同时,智能机器人还可以陪伴老人,提供心理慰藉和生活照料。人工智能还可以通过大数据分析,对老年人的健康状况进行实时监测,及时发现潜在的健康风险,为老年人提供更加精准的医疗服务。其次,大数据技术在康养产业中的应用也日益凸显。通过对大量健康数据的收集和分析,康养机构可以更好地了解消费者的需求,提供更加个性化的服务。例如,根据消费者的身体状况、生活习惯等信息,为其量身定制个性化的饮食和运动计划。同时,大数据技术还可以帮助康养机构优化资源配置,提高运营效率。最后,云计算技术在康养产业中的应用也不

容忽视。通过云计算,康养机构可以将各种业务系统整合在一起,实现数据共享和业务协同,提高了工作效率,也方便了消费者获取服务。云计算还可以提供强大的计算能力,支持更加复杂的数据分析和挖掘,从而为消费者提供更加精准的服务。

针对老龄化社会需求,康养经济可能成为未来增长引擎,康养产业在健康监测与管理的精准化、远程医疗服务的便捷化、医疗培训的创新化,医疗服务的个性化及医疗资源配置的合理化方面等都将迎来更加广阔的发展前景。我们应该抓住机遇,积极推动科技创新在康养领域的应用,不断提升服务质量,为人民群众的健康福祉做出更大的贡献。

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 白春学:贡献选题、撰写、修改文章;张黎川,朱文思,蔡沁怡:撰写、修改文章。

参考文献

- [1] 郭明月. 新质生产力驱动智慧养老高质量发展的逻辑与路径[J]. 老龄化研究, 2024, 11(3): 917-922.
- [2] 何 萍. 何谓新质生产力[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2024, 77(5): 5-17.
- [3] 卫健委: 70年来中国人均预期寿命从35岁提高到77岁[J]. 现代养生(下半月版), 2019(10): 1-2.
- [4] 曹东平. 健康体检与健康管理[C]//全国健康科技高层论坛暨新特药博览会论文集. 2009: 366-369.
- [5] ZHANG X W. Research on smart health care application in meta cosmic perspective [J]. Aging Res, 2024, 11 (2) : 312-317.
- [6] 龚 辉, 严惟力, 杨晓青. 移动健康应用程序的应用现况与展望[J]. 中国全科医学, 2018, 21(33): 4157-4162.
- [7] YANG D W, ZHOU J, SONG Y L, et al. Metaverse in medicine [J]. Clin eHealth, 2022, 5: 39-43.
- [8] JIN X F, LIU C H, XU T L, et al. Artificial intelligence biosensors: challenges and prospects [J]. Biosens Bioelectron, 2020, 165: 112412.
- [9] SUBRAHMANYA S V G, SHETTY D K, PATIL V, et al. The role of data science in healthcare advancements: applications, benefits, and future prospects [J]. Ir J Med Sci, 2022, 191 (4): 1473-1483.
- [10] WAKILI A, BAKKALI S. Internet of Things in healthcare: an adaptive ethical framework for IoT in digital health [J]. Clin eHealth, 2024, 7: 92-105.
- [11] KIM K, YANG H, LEE J H, et al. Metaverse wearables for immersive digital healthcare: a review [J]. Adv Sci (Weinh), 2023, 10(31): e2303234.
- [12] UMER M, SADIQ S, ALHEBSHI R M, et al. IoT based smart home automation using blockchain and deep learning models [J]. PeerJ Comput Sci, 2023, 9: e1332.
- [13] TAO P Z, LIU N, DONG C L. Research progress of MIoT and digital healthcare in the new era [J]. Clin eHealth, 2024, 7: 1-4.
- [14] 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.
- [15] SUN M T, XIE L S, LIU Y, et al. The metaverse in current digital medicine [J]. Clin eHealth, 2022, 5: 52-57.
- [16] 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.
- [17] KYE B, HAN N, KIM E, et al. Educational applications of metaverse: possibilities and limitations [J]. J Educ Eval Health Prof, 2021, 18: 32.
- [18] CHAVANNES N H, BAI C X. Welcome to the New Era of metaverse in medicine [J]. Clin eHealth, 2022, 5: 37-38.
- [19] USMANI S S, SHARATH M, MEHENDALE M. Future of mental health in the metaverse [J]. Gen Psychiatr, 2022, 35 (4): e100825.
- [20] WANG Y S, LI C C, QU L, et al. Application and challenges of a metaverse in medicine [J]. Front Robot AI, 2023, 10: 1291199.
- [21] ALANEZI F. Examining the role of ChatGPT in promoting health behaviors and lifestyle changes among cancer patients [J]. Nutr Health, 2024: 2601060241244563.
- [22] KUMARESAN A, UDEN L, ASHRAF S. Potential role of ChatGPT in healthcare in the prevention and management of non-communicable diseases [M]// Knowledge Management in Organisations. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023: 430-442.
- [23] LI Z Z, ZHANG J F, ZHOU W, et al. GPT-agents based on medical guidelines can improve the responsiveness and explainability of outcomes for traumatic brain injury rehabilitation [J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 7626.
- [24] KOCUVAN P, ZADOBOVŠEK M, GAMS M. Enhancing healthcare with intelligent environments: integrating medical knowledge into GPT for advanced medical personal chatbots [J]. J Smart Cities Soc, 3(3): 177-192.
- [25] 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.
- [26] YANG J M, WALKER K C, BEKAR-CESARETLI A A, et al. Automating biomedical literature review for rapid drug discovery: Leveraging GPT-4 to expedite pandemic response [J]. Int J Med Inform, 2024, 189: 105500.
- [27] AUNG Y Y M, WONG D C S, TING D S W. The promise of artificial intelligence: a review of the opportunities and challenges of artificial intelligence in healthcare [J]. Br Med Bull, 2021, 139(1): 4-15.
- [28] 周 雪, 毛荟妍, 王雪梅, 等. 新质生产力驱动卫生系统重塑的当前表现与潜在挑战[J]. 中国医院管理, 2024, 44(5): 17-21.
- [29] 朱 江, 弓荣荣, 游 莉, 等. 新质生产力驱动智慧康复发展的价值意蕴、现实挑战与推进路径[J]. 保健医学研究与实践, 2024, 21(5): 19-24.
- [30] 黄凌波, 覃娴静, 冯启明. 新质生产力赋能数字医联体建设——内涵、逻辑与路径[J]. 广西医学, 2024, 46(3): 329-332.

引用本文

白春学, 张黎川, 朱文思, 等. 新质生产力时代康养[J]. 元宇宙医学, 2025, 2(1): 21-27.

BAI C X, ZHANG L C, ZHU W S, et al. Health and wellness in the era of new quality productive forces [J]. Metaverse Med, 2025, 2(1): 21-27.

DOI:10.61189/977285vvilzw

· 专家述评 ·

新质生产力赋能慢性呼吸病健康旅游

白春学^{1,2,3,4*}, 蒋维芃^{1,5}, 王 洵⁶

1. 复旦大学附属中山医院呼吸与危重症医学科, 上海 200032
2. 上海市呼吸病研究所, 上海 200032
3. 上海呼吸物联网医学技术工程研究中心, 上海 200032
4. 国际元宇宙医学联盟, 苏州 215163
5. 上海市老年医学中心, 上海 201104
6. 无锡市第二人民医院(江南大学附属中心医院)呼吸与危重症医学科, 无锡 214002

[摘要] 新质生产力赋能慢性呼吸病健康旅游,即运用现代科技与创新手段,增强患者旅游体验与生活质量。具体包括完善远程医疗体系,实时监控与诊断患者健康,保障及时医疗援助;应用智能设备,追踪生理指标,调整治疗方案;制定个性化健康计划,设计适合患者的旅游项目,降低疾病风险;提供心理支持,帮助应对旅行挑战;政府引导资源整合,鼓励社会各界参与,形成共赢局面;推动跨学科合作,研发全面服务方案;加强旅游人员培训,提升照护能力;定期监测评估,优化服务内容,确保最佳旅游体验。这些措施将为患者旅游与健康提供双重保障。

[关键词] 人工智能;物联网医学;元宇宙医学;医学GPT;新质生产力

[中图分类号] R 56 **[文献标志码]** A

The new quality productivity empowers chronic respiratory disease health tourism

BAI Chunxue^{1,2,3,4*}, JIANG Weipeng^{1,5}, WANG Xun⁶

1. Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China
2. Shanghai Respiratory Research Institution, Shanghai 200032, China
3. Shanghai Engineer & Technology Research Center of Internet of Things for Respiratory Medicine, Shanghai 200032, China
4. International Alliance for Metaverse in Medicine, Suzhou 215163, Jiangsu, China
5. Shanghai Geriatric Medical Center, Shanghai 201104, China
6. Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, Wuxi No.2 People's Hospital (JUMC), Wuxi 214002, Jiangsu, China

[Abstract] The new quality productivity empowers chronic respiratory disease health tourism, that is, the use of modern technology and innovative means to enhance the travel experience and quality of life of patients. Specifically, it includes: improving the telemedicine system, monitoring and diagnosing patients' health in real time, and ensuring timely medical assistance; applying smart devices to track physiological indicators and adjust treatment plans; developing personalized health plans, designing travel programs that are suitable for patients, and reduce the risk of disease; providing psychological support to help cope with travel challenges; the government guides the integration of resources and encourages the participation of all sectors of society to form a win-win situation; promote interdisciplinary collaboration and research and development of comprehensive service solutions; strengthen the training of tourism personnel and improve the care capacity; regular monitoring and evaluation to optimize the service content to ensure the best travel experience. These measures will provide a dual guarantee for the travel and health of patients.

[Key Words] artificial intelligence; Internet of Things in medicine; metaverse in medicine; medical GPT; new quality productive forces

随着中国医疗和大健康产业的蓬勃发展,人均寿命不断延长,慢性呼吸病患者对健康旅游的需求持续增长^[1-2]。为满足这一迫切需求,并进一步推动“健康中国2030”规划的落地实施,我们应积极运用

新质生产力,打造安心、舒适的旅游环境与健康保障^[3-4]。具体来说,需要构建全方位的远程医疗服务网络,利用物联网、大数据及人工智能等技术,提供即时的健康监测与咨询服务,确保医疗需求迅速响

[收稿日期] 2025-03-19

[接受日期] 2025-03-26

[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

应^[5-6]。同时,推广智能穿戴设备和移动医疗应用,让患者轻松了解自身健康状况并获取专业建议^[7-8]。此外,还需根据患者的个体差异,制定个性化健康旅游计划,充分考虑特殊需求。提供全面的心理与社会支持也必不可少,以帮助患者克服旅行中的焦虑与困扰^[9]。我们还应倡导跨学科合作,汇聚多元团队,研发更周到的服务方案。政府及相关部门应通过政策扶持和资金投入,引导和激励社会各界参与健康旅游事业,构建共赢格局。同时,加强对旅游人员的专业培训,提升对慢性呼吸病患者的关怀与服务水平。最后,不断优化服务流程,定期收集并分析旅游数据,完善服务内容,力求提供最优质的健康旅游体验。这些举措的实施,将满足慢性呼吸病患者对健康旅游的期望,为大健康产业注入新活力,共同推动“健康中国 2030”规划的实现^[3-4]。

1 慢性呼吸病患者健康旅游的需求

慢性呼吸病患者在规划健康旅游时需要考虑多个方面以确保安全和舒适^[10]。(1)在出行前应该进行全面的健康检查,包括肺功能检测和动脉血气分析,确保在飞行中维持足够的氧合水平^[11]。(2)在医生的建议下制定旅行计划,避免前往高海拔地区,除非医生认为其身体条件能够适应^[12-13]。(3)器

官功能处于临界状态的游客需进行及时地治疗予以控制,避免旅途中诱发器官功能障碍。(4)事先进行良好的救治并保持病情的稳定,避免旅游过程中出现不适。(5)出发前需保证睡眠良好,有足够的时间休息,养精蓄锐,保证有良好的体力应对长途。(7)避免目的地偏远、基础设施较差、旅行时间较长或者出国旅游,以减少因为语言和环境不熟悉带来的医疗资源困扰。(8)在旅行过程中,慢性呼吸病患者应随身携带必需的医疗用品,包括吸入器、处方药物以及急救设备。他们还应该了解目的地的医疗服务情况,并尽可能选择靠近医疗机构的住宿地点。此外,适量的日常活动和规律的作息对维持呼吸健康同样重要^[2,10,14]。

2 慢性呼吸病患者健康旅游的限制和挑战

尽管通过妥善的准备和合理的规划,他们仍然可以享受安全的旅行体验。但是,慢性呼吸病患者在规划健康旅游时面临着许多挑战,包括身体、心理和经济方面的困难(表 1)^[1-2,10-11,14]。

为应对慢性呼吸疾病患者在健康旅游过程中面临的痛点和难点,需要综合考虑各种因素,制定合适的旅游计划,应用新质生产力赋能慢性呼吸病患者健康旅游,以确保安全和舒适的旅游体验^[1,4]。

表 1 慢性呼吸病患者健康旅游的限制和挑战

方法	技术路线
旅游过程中呼吸负担	慢性呼吸疾病患者通常存在呼吸困难、呼吸急促等问题,在旅游过程中,特别是在进行户外活动或长时间行走时,可能会感到呼吸负担加重,影响旅游体验。
气候变化的适应能力	不同地区的气候条件差异较大,慢性呼吸疾病患者可能难以适应寒冷、干燥或潮湿的气候变化,导致病情恶化或引发其他健康问题。
旅游过程中健康问题	旅游过程中可能存在饮食不规律、缺乏休息等问题,这些都会影响慢性呼吸疾病患者的健康状况,导致病情恶化或诱发其他并发症。
心理压力与情绪管理	慢性呼吸疾病患者可能因病情影响而产生心理压力,如焦虑、抑郁等情绪问题,这些情绪问题在旅游过程中可能会加重,影响患者的心理健康和整体体验。
医疗资源可及性	在旅游过程中,慢性呼吸疾病患者可能需要随时就医,但不同地区的医疗资源差异较大,患者可能面临就医困难或医疗条件不佳的问题。
经济负担	慢性呼吸疾病患者的治疗和康复可能需要一定的经济支持,而旅游过程中的额外医疗和护理费用可能会增加患者的经济负担。

3 新质生产力赋能慢性呼吸病患者健康旅游

新质生产力是指通过新的生产方式和技术手段提高生产效率和质量的能力。通过了解新质生产力、分析患者需求、制定健康旅游计划、应用新质生产力赋能以及监测和评估效果等步骤,可以有效

地应用新质生产力赋能慢性呼吸病患者的健康旅游(表 2)^[4,9]。

4 新质生产力评估慢性呼吸病患者健康旅游能力

在应用新质生产力赋能慢性呼吸病患者健康旅游之前,进行全面的评估是至关重要的。

表 2 新质生产力保障慢性呼吸病患者健康旅游

方法	技术路线
应用大数据和人工智能	为患者提供个性化的旅行建议和服务。例如,可以根据患者的病史、症状和体质数据,为其推荐合适的旅行目的地、住宿和交通方式,以及提供定制化的健康管理方案。
分析慢性呼吸病患者的需求	慢性呼吸病患者通常需要长期的医疗和护理,以及适当的旅游和休闲来放松心情。因此,需要分析他们的具体需求,包括医疗需求、旅游需求等。
制定健康旅游计划	根据患者的需求和偏好,可以制定个性化的健康旅游计划。这可能包括选择合适的旅游目的地、安排适当的医疗和护理、提供舒适的住宿和餐饮等。
推广数字化健康教育	帮助患者更好地了解自己的病情,掌握自我管理技能,提高生活质量。例如,可以通过手机应用程序、在线课程等形式,为患者提供有关慢性呼吸病防治、健康生活方式等方面的教育内容。
应用新质生产力赋能	在旅游过程中,可以充分应用新质生产力来提高患者的体验和质量。例如,应用先进的医疗技术监测患者的健康状况,提供及时的医疗干预;使用智能化旅游设备提高患者的旅游便利性;推广健康旅游理念,让患者更加重视健康等。
监测和评估效果	在健康旅游结束后,需要对应用新质生产力赋能的效果进行监测和评估。这可以帮助了解新质生产力在实际应用中的效果,为未来的应用提供改进建议。
应用远程医疗技术	为患者提供及时的医疗咨询和支持。即使在远离家乡的地方,患者也可以通过视频会议、在线咨询等方式,与医生保持联系,获取专业的医疗建议和治疗。
建立跨学科的合作模式	整合医疗、旅游、信息技术等多领域的资源和力量,共同推动慢性呼吸病患者健康旅游的发展。例如,可以与旅游机构合作,推出针对慢性呼吸病患者的特色旅游产品,提供一站式的旅行解决方案。

应用新质生产力做好慢性呼吸病患者健康旅游之前评估是一个复杂而重要的过程。通过综合考虑患者的具体情况、制定个性化的旅游计划、提

供紧急医疗支持以及进行总结与反馈等措施,我们可以确保患者得到安全、舒适的健康旅游体验(表 3)^[3-4]。

表 3 精准评估慢性呼吸病患者健康旅游计划

方法	技术路线
制定健康旅游计划	根据患者的具体情况,制定个性化的健康旅游计划。包括选择合适的旅游目的地、安排适当的行程、提供必要的医疗支持等。计划应该注重患者的舒适性和安全性,同时考虑到可能的风险因素。
个性化旅行计划	根据患者的具体健康状况和需求,制定个性化的旅行计划。包括选择合适的旅行目的地、活动强度、交通工具和住宿条件等。
全面健康评估	在旅行前,患者应进行彻底的健康评估,包括肺功能测试、动脉血气分析、共患病,以确定其是否适合旅行,并制定相应的健康管理计划。
个体化健康评估	在健康旅游之前,需要对患者的健康状况进行个体化评估。包括患者的慢性呼吸病病情、病程、治疗情况、身体状况等。通过综合考虑这些因素,可以制定出更适合患者的健康旅游计划。
风险评估	对患者进行风险评估,包括潜在的健康风险、旅行风险和心理压力评估。这有助于识别可能的问题并采取预防措施。
新教育与培训	为患者提供新质生产力有关其病症的管理、旅行健康和安全管理方面的教育,包括自我监测技巧、应急处理知识和心理调适策略。
物联网技术支持	应用现代信息技术,如移动健康应用、远程监控设备和电子健康记录,为患者提供持续的健康支持和数据追踪。
多学科团队支持	对需要个体化服务患者,可建立一个由医生、护士、药师、营养师、心理咨询师等多学科团队组成的协作网络,共同为患者的旅行健康保驾护航。
紧急医疗支持备案	在健康旅游过程中,应提供紧急医疗支持服务。这可能包括设立紧急医疗热线、提供紧急医疗咨询和救援服务等。这些服务可以确保患者在紧急情况下得到及时有效的医疗帮助。
实时随访跟进	在旅行期间和旅行后,定期跟进患者的健康状况,及时调整健康管理计划。

5 新质生产力赋能慢性呼吸病患者旅途健康

应用移动健康应用和远程监控设备,患者可以实时监测自己的健康状况,包括脉搏、血压、血氧饱和度等关键指标。这些数据可以帮助患者及时发现潜在的健康问题,并采取相应的措施。在旅行过程中,患者可以使用智能吸入器或其他便携式医疗设备,及时进行药物治疗。这些设备通常体积小、重量轻,便于携带^[7-8]。通过云计算和大数据分析,医生可以远程访问患者的医疗数据,提供实时的医疗建议和支持,包括调整治疗方案、提供心理支持

等。在旅行目的地,患者可以应用当地的医疗服务资源,如远程医疗咨询、紧急医疗救助等^[16-17]。这些服务可以通过互联网快速获取,为患者提供及时的医疗援助。应用虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术,患者可以进行康复训练和心理健康治疗。这些技术可以提供沉浸式的学习体验,帮助患者更好地理解和掌握自我管理技能。通过社交媒体和网络社区,患者可以与其他慢性呼吸病患者分享经验、互相支持和鼓励,以减轻患者的心理压力,提高其生活质量。在旅游途中,新质生产力可以通过以下方式赋能慢性呼吸病患者的健康管理(表4)^[18-19]。

表 4 新技术赋能保障慢性呼吸病患者旅途健康

方法	技术路线
量身定制	根据患者的身体状况和兴趣,设计个性化的旅游方案,如选择气候宜人、空气清新、海拔适中的旅游目的地。
实时监测	为患者提供智能呼吸监测设备,如呼吸带、呼吸睡眠监测仪等,实时监测患者的呼吸状况,确保病情稳定。
数据分析	通过收集患者的呼吸数据,进行大数据分析,预测病情发展趋势,为医生提供精准的治疗建议。
健康提示	在旅游过程中提供健康提示,如避免剧烈运动、保持室内空气湿度等,确保患者在旅游过程中保持舒适。
在线咨询	提供远程医疗咨询服务,允许患者随时向医生咨询旅游过程中的健康状况。
视频问诊	通过视频问诊技术,医生可以远程查看患者的身体状况,提供更为精准的诊断和治疗建议。
健康用品	提供舒适的睡眠用品、呼吸保健用品等,帮助患者改善睡眠质量,缓解病情。
健康食品	开发针对慢性呼吸病患者的健康食品,如富含抗氧化成分、低糖、低脂等食品,帮助患者改善营养状况。
紧急救援	与当地的急救机构合作,提供紧急救援服务,确保患者在紧急情况下能够得到及时的医疗救助。
医疗保险	为患者提供专门的医疗保险服务,确保在旅游过程中遇到突发状况时能够得到及时的经济支持。

总的来说,新质生产力为慢性呼吸病患者在旅游途中的健康管理提供了多种可能性。通过合理应用这些技术,患者可以在享受旅行的同时,确保自己的健康安全。通过以上措施,可以有效地应用新质生产力赋能慢性呼吸病患者旅游途中健康的管理和保障^[3-4]。

6 新质生产力赋能慢性呼吸病患者旅游中健康咨询

新质生产力赋能慢性呼吸病患者旅游中健康咨询可以从多个方面进行(表5)^[1,4,10,19]。从而提高

患者的旅游体验和生活质量。

7 新质生产力赋能慢性呼吸病患者健康旅游的挑战

新质生产力赋能慢性呼吸病患者健康旅游的挑战包括旅游过程中的健康管理、旅游资源的适应性、旅游过程中的安全保障、旅游与医疗资源的结合以及患者自我管理 with 教育等方面(表6)^[2,4,10,14]。这些挑战需要在新质生产力的发展过程中得到充分考虑和解决。

表 5 慢性呼吸病患者旅游中健康咨询

方面	技术路线
建立健康咨询平台	应用新质生产力,如人工智能、大数据分析等技术,建立专门的健康咨询平台。该平台可以集成在线医疗、健康管理和旅游服务等功能,为患者提供全方位的旅游健康支持。
个性化健康方案	根据患者的具体情况,如病情、年龄、性别等,制定个性化的旅游健康方案。包括选择适合患者的旅游目的地、活动类型、持续时间等,以确保旅游过程中患者的安全和舒适。
实时健康监测与预警	应用可穿戴设备、智能手机等实时监测患者的健康状况。通过数据分析,及时发现潜在的健康风险,并发出预警,以便患者及时调整行程或采取必要的医疗措施。

续表	
方面	技术路线
在线医疗与紧急救援	在旅游过程中,如果患者遇到紧急情况或突发疾病,可以通过手机应用或在线医疗平台寻求帮助。紧急情况下,还可以联系当地的医疗机构或救援组织,以确保患者得到及时有效的救治。
健康教育与预防	针对慢性呼吸病的特点,开展健康教育和预防工作。通过宣传健康生活方式、疾病预防知识等,提高患者对疾病的认识和重视程度,从而降低发病率和复发率。
旅游保险与健康保障	为患者提供专门的旅游保险服务,以应对旅游过程中可能出现的各种意外情况。这包括医疗费用的保障、紧急救援服务的提供等,以确保患者在旅游过程中的健康和安

表 6 呼吸病患者健康旅游的新挑战

方法	技术路线
旅游过程中的健康管理	新质生产力的发展为慢性呼吸病患者提供了更多旅游选择,但同时也需要关注旅游过程中的健康管理。患者需要在旅游过程中注意保持健康的生活方式,避免病情恶化。
旅游资源的适应性	对于慢性呼吸病患者来说,旅游资源的适应性是一个重要考虑因素。新质生产力的发展需要关注旅游资源的多样性和可选择性,以满足不同患者的需求。
旅游过程中的安全保障	慢性呼吸病患者在旅游过程中可能面临更多的安全风险,如气候变化、环境变化等。新质生产力的发展需要关注旅游过程中的安全保障问题,确保患者的健康和安
旅游与医疗资源的结合	新质生产力的发展需要探索如何将旅游和医疗资源相结合,为慢性呼吸病患者提供更好的健康旅游体验。这包括提供便捷的医疗服务、健康咨询等。
患者自我管理 with 教育	新质生产力的发展也需要关注患者自我管理 with 教育的问题。通过提供健康旅游指南、患者教育等方式,帮助患者更好地管理自己的健康状况,提高生活质量。

8 克服新质生产力赋能慢性呼吸病患者健康旅游的挑战

要克服新质生产力赋能慢性呼吸病患者健康旅游的挑战,可以考虑以下几个策略。(1)加大技术研发投入:持续投入研发,优化现有技术,并开发更适合发展中国家和偏远地区的低成本、易操作的医疗技术解决方案。(2)强化数据安全和隐私保护:建立健全的数据安全管理制度,采用先进的数据加密和匿名化处理技术,确保患者信息的安全。同时,加强对医护人员的隐私保护培训,提高他们的安全意识。(3)完善政策法规:政府和相关机构应制定和完善相关政策法规,为新质生产力的应用创造有利条件。包括明确远程医疗、人工智能诊疗等新兴实践的法律地位和规范,简化审批流程,提供政策支持等。(4)实施经济补贴和保险覆盖:对于经济条件有限的慢性呼吸病患者,政府和社会可通过经济补贴、医疗保险等方式,降低他们使用新质生产力服务的经济负担。(5)开展教育和培训:组织针对不同受众(如医护人员、患者等)的培训课程,提高他们对新技术的认知度和操作能力。同时,加强跨学科合作,促进不同领域专业知识的融合和交流。(6)构建多方参与的合作机制:鼓励企业、医院、科研机

构、患者组织等多方主体共同参与,形成协同推进新质生产力应用的良好格局。通过合作,可以实现资源共享、优势互补,共同应对挑战。通过上述策略的综合运用,可以有效克服新质生产力赋能慢性呼吸病患者健康旅游的挑战,推动这一领域的健康发展^[4,9,20]。

患者可以通过以下几种方式克服新质生产力赋能慢性呼吸病患者健康旅游的挑战。(1)了解新质生产力:首先,需要了解新质生产力是如何赋能慢性呼吸病患者的。这包括了解新质生产力的定义、技术原理、应用场景等方面的信息。(2)评估需求:针对慢性呼吸病患者的具体需求,评估新质生产力技术是否能够满足这些需求。例如,患者可能需要更便捷的呼吸辅助设备或更个性化的治疗方案^[21-24]。(3)制定旅游计划:慢性呼吸病患者在制定旅游计划时,应充分考虑自己的身体状况和旅行目的地的环境。计划应包括适当的休息和锻炼时间,以及避免诱发症状的预防措施。(4)使用新质生产力技术:在旅游过程中,患者可以使用新质生产力技术来监测和管理自己的健康状况。例如,使用智能手环或智能手表来监测心率和步数,或者使用呼吸训练器来提高呼吸功能^[7,25]。(5)寻求专业帮助:如果患者在旅游过程中遇到健康问题或疑虑,应及

时寻求专业医生的帮助。医生可以根据患者的具体情况提供个性化的治疗建议和指导。(6)总结与反馈:旅游结束后,患者可以总结旅行过程中的经验教训,并反馈到新质生产力技术的改进和优化中。这将有助于不断完善相关技术,更好地满足慢性呼吸病患者的健康旅游需求。通过以上方式,新质生产力赋能慢性呼吸病患者健康旅游的挑战可以得到有效克服^[2,4,10]。

9 如何应用新质生产力赋能保障慢性呼吸病患者健康旅游途中安全

应用新质生产力保障慢性呼吸病患者健康旅游途中的安全,可以采取以下几种方法(表7)^[4]。

表 7 保障慢性呼吸病患者健康旅游健康新方法

方法	技术路线
应用远程医疗技术	通过远程医疗应用,患者可以与医生进行实时沟通,随时报告自己的健康状况,并获得及时的医疗建议。这对于处理突发的健康问题至关重要。
使用可穿戴健康监测设备	这些设备可以持续监测患者的生命体征,如心率、血压和血氧饱和度,并在数据异常时发出警报。这有助于早期发现潜在的健康问题并采取行动。
借助人工智能辅助系统	这些系统可以根据患者的历史数据和实时监测结果,提供初步的诊断意见。这可以帮助患者更快地获得专业的医疗建议。
应用物联网技术优化旅行安排	通过分析患者的旅行数据和健康状况,可以为其提供更合适的旅行建议,如调整行程安排、选择更合适的交通工具等。
提供数字化的健康教育	通过在线教育平台和移动应用,患者可以方便地获取有关慢性呼吸病管理和旅行健康的信息,提高自我管理能力。
建立紧急响应机制	通过与当地医疗机构合作,建立紧急医疗救援网络,确保患者在需要时能够得到及时的医疗援助。

表 8 慢性呼吸病患者健康旅游质量控制

方法	技术路线
了解患者的需求和限制	在规划旅游活动之前,详细了解患者的身体状况和旅行需求。评估患者的呼吸功能、健康状况和旅行中的潜在风险。
选择合适的旅游目的地	根据患者的需求和限制,选择适合他们的旅游目的地。考虑目的地的气候、海拔、旅游资源等因素,以确保患者能够在舒适的环境中旅行。
制定个性化的旅游计划	根据患者的具体情况,制定个性化的旅游计划。包括适当的休息、饮食、活动和应急措施,以确保患者在旅行中的健康和安全。
提供必要的医疗支持	在旅行过程中,提供必要的医疗支持,如携带吸氧设备、急救药品等。确保患者能够随时获得必要的医疗帮助。
鼓励健康的生活方式	在旅行中,鼓励患者保持健康的生活方式,如合理饮食、适量运动等。提供健康的生活建议,帮助患者更好地管理他们的健康状况。
建立应急响应机制	制定应急响应机制,以应对可能出现的紧急情况。包括与医疗机构的联系、紧急救援措施等,以确保患者的安全。
持续监测和评估	在旅行结束后,持续监测患者的健康状况,评估旅行对其产生的影响。收集反馈,为未来的旅行提供改进建议。

10 新质生产力赋能慢性呼吸病患者健康旅游质量控制

新质生产力赋能慢性呼吸病患者健康旅游质量控制是一个重要的议题,涉及到如何为慢性呼吸疾病患者提供更好的旅游体验,同时确保他们在旅游过程中的健康和安全,这涉及到了解患者需求和限制,并以此来选择合适的旅游目的地、制定个性化的旅游计划(表8)^[26-27]。

在健康旅游结束后,应对整个旅游过程进行总结和反馈。这包括评估旅游计划的有效性、总结患者反馈、提出改进建议等。通过总结经验教训,我们可以不断改进和优化未来的健康旅游服务。

11 展望

未来,新质生产力将在赋能慢性呼吸病患者健康旅游方面发挥越来越重要的作用。随着科技的进步和创新,我们可以期待以下几个方面的应用和发展。(1)更加个性化的健康管理:通过大数据分析、人工智能算法,未来的健康管理将更加个性化。系统将能够根据患者的具体情况,提供定制化的旅行建议、健康计划以及实时监测,确保患者在旅行中的安全和舒适^[4,28]。(2)无缝的远程医疗服务:远程医疗技术将进一步发展,实现与本地医疗系统的无缝对接。无论患者身在何处,都能享受到及时、高效的医疗服务。这将包括远程诊断、治疗建议、药物配送等服务^[16,29]。(3)智能可穿戴设备的普及:智能可穿戴设备将变得更加普及和多功能,不仅能够实时监测患者的生理指标,还能提供预警、干预建议等功能。这些设备将帮助患者更好地管理自己的健康,减少旅行中的健康风险^[7-8]。(4)虚拟现实技术在康复训练中的应用:虚拟现实技术将被广泛应用于慢性呼吸病患者的康复训练中。通过模拟各种真实环境,患者可以在安全的环境中进行康复训练,提高治疗效果^[18]。(5)社会支持网络的增强:通过社交媒体、在线社区等平台,患者可以更容易地找到志同道合的病友,分享经验、互相支持。这将有助于缓解患者在旅行中的孤独感和焦虑情绪。总之,新质生产力将为慢性呼吸病患者的健康旅游带来更多的可能性,让患者在享受旅行的同时,也能得到更好的健康管理和医疗服务^[3-4]。

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:选题、撰写、修改;蒋维芃、王洵:撰写修改,查核文献。

参考文献

- [1] LEUNG D T, LAROCQUE R C, RYAN E T. Travel medicine [J]. *Ann Intern Med*, 2018, 168(1): ITC1-ITC16.
- [2] SENIOR K. Have chronic respiratory disease, will travel? [J]. *Lancet Respir Med*, 2015, 3(8): 609.
- [3] 顾建英, 宋振举, 白春学. 拥抱新质生产力, 开创医学新时代[J]. *元宇宙医学*, 2024, 3(1): 1-2.
- [4] 白春学. 医学新质生产力之我见[J]. *元宇宙医学*, 2024, 3(1): 3-10.
- [5] 白春学, 赵建龙. *物联网医学* [M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [6] SCHWALBE N, WAHL B. Artificial intelligence and the future of global health[J]. *Lancet*, 2020, 395(10236): 1579-1586.
- [7] KIM J, CAMPBELL A S, DE ÁVILA B E, et al. Wearable biosensors for healthcare monitoring[J]. *Nat Biotechnol*, 2019, 37(4): 389-406.
- [8] YETISEN A K, MARTINEZ-HURTADO J L, ÜNAL B, et al. Wearables in medicine [J]. *Adv Mater*, 2018, 30(33): e1706910.
- [9] 白春学, 王悦虹, 蒋维芃. 元宇宙赋能健康管理的意义及展望[J]. *元宇宙医学*, 2024, 3(1): 16-21.
- [10] COKER R K, ARMSTRONG A, CHURCH A C, et al. BTS Clinical Statement on air travel for passengers with respiratory disease[J]. *Thorax*, 2022, 77(4): 329-350.
- [11] TANG P K. Travelling with copd [J]. *Lancet Respir Med*, 2014, 2(11): 876.
- [12] ERGAN B, AKGUN M, PACILLI A M G, et al. Should I stay or should I go? COPD and air travel [J]. *Eur Respir Rev*, 2018, 27(148): 180030.
- [13] LUKS A M, HACKETT P H. Medical conditions and high-altitude travel[J]. *N Engl J Med*, 2022, 386(4): 364-373.
- [14] SØRENSEN H T. Patients with chronic diseases who travel: need for global access to timely health care data [J]. *Clin Epidemiol*, 2022, 14: 513-519.
- [15] 刘晨曦, 王 茜, 姚 岚. 新质生产力助力健康中国建设研究[J/OL]. *中国卫生经济*, 2024: 1-4. (2024-08-07)[2025-03-10]. <http://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=WEIJ20240801002&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
- [16] BOURBEAU J, FARIAS R. Making sense of telemedicine in the management of COPD [J]. *Eur Respir J*, 2018, 51(5): 1800851.
- [17] 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.
- [18] VENKATESAN M, MOHAN H, RYAN J R, et al. Virtual and augmented reality for biomedical applications [J]. *Cell Rep Med*, 2021, 2(7): 100348.
- [19] KUEHN B M. Virtual and augmented reality put a twist on medical education[J]. *JAMA*, 2018, 319(8): 756-758.
- [20] 周 雪, 毛荟妍, 王雪梅, 等. 新质生产力驱动卫生系统重塑的当前表现与潜在挑战[J]. *中国医院管理*, 2024, 44(5): 17-21.
- [21] PORSZASZ J, CAO R, MORISHIGE R, et al. Physiologic effects of an ambulatory ventilation system in chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013, 188(3): 334-342.
- [22] NONOYAMA M L, BROOKS D, GUYATT G H, et al. Effect of oxygen on health quality of life in patients with chronic obstructive pulmonary disease with transient exertional hypoxemia[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2007, 176(4): 343-349.
- [23] LATSHANG T D, NUSSBAUMER-OCHSNER Y, HENN R M,

- et al. Effect of acetazolamide and autoCPAP therapy on breathing disturbances among patients with obstructive sleep apnea syndrome who travel to altitude: a randomized controlled trial[J]. JAMA, 2012, 308(22): 2390–2398.
- [24] TAN L, LATSHANG T D, AESCHBACHER S S, et al. Effect of nocturnal oxygen therapy on nocturnal hypoxemia and sleep apnea among patients with chronic obstructive pulmonary disease traveling to 2048 meters: a randomized clinical trial[J]. JAMA Netw Open, 2020, 3(6): e207940.
- [25] MISHRA T, WANG M, METWALLY A A, et al. Pre-symptomatic detection of COVID-19 from smartwatch data[J]. Nat Biomed Eng, 2020, 4(12): 1208–1220.
- [26] LEATHERMAN S, BERWICK D M. Accelerating global improvements in health care quality [J]. JAMA, 2020, 324(24): 2479–2480.
- [27] 宋元林, 宋振举, 钱菊英, 等. 元宇宙技术在医疗质量控制中的应用[J]. 元宇宙医学, 2024, 2(1): 1–8.
- [28] DENNY J C, COLLINS F S. Precision medicine in 2030——seven ways to transform healthcare [J]. Cell, 2021, 184(6): 1415–1419.
- [29] DORSEY E R, TOPOL E J. State of telehealth [J]. N Engl J Med, 2016, 375(2): 154–161.

引用本文

白春学, 蒋维芃, 王 洵. 新质生产力赋能慢性呼吸病健康旅游[J]. 元宇宙医学, 2025, 2(1): 28–35.

BAI C X, JIANG W P, WANG X. The new quality productivity empowers chronic respiratory disease health tourism [J]. Metaverse Med, 2025, 2(1): 28–35.

DOI: 10.61189/718939wlaqyc

· 专家述评 ·



DeepSeek 在医学及相关领域的应用

高承实^{1*}, 程元骏²

1. 安徽栈谷科技有限公司, 池州 247100

2. 池州市人民医院, 池州 247000

[摘要] DeepSeek 作为中国自主研发的通用大语言模型, 凭借其高效、低成本的训练与推理能力和本土化优势, 正在医学及相关领域引发广泛而深刻的变革。本文探讨了 DeepSeek 在医学及相关领域的应用可能, 梳理和总结了 DeepSeek 在诊断环节、治疗环节、数据管理与知识发现场景、患者服务与教育环节、资源优化与管理、基因与生物技术领域的应用方式和具体案例, 归纳了医学及相关领域的机构使用 DeepSeek 由浅到深的 4 个层次, 深入探讨了 DeepSeek 应用层面浅、用户隐私泄露以及大语言模型所固有的“幻觉”问题, 并给出了应对方案。未来, 随着医学知识库的持续完善与模型可解释性的增强, DeepSeek 有望进一步推动精准医疗与智能决策的发展, 成为医学新质生产力的关键引擎。

[关键词] DeepSeek; 大语言模型; 医学; 企业应用

[中图分类号] R 3 **[文献标志码]** A

Applications of deepseek in the medical field and related areas

GAO Chengshi^{1*}, CHENG Yuanjun²

1. Anhui Stack Alley Technology Co., Ltd, Chizhou 247100, Anhui, China

2. The People's Hospital of Chizhou, Chizhou 247000, Anhui, China

[Abstract] As a Chinese indigenous general-purpose large language model, DeepSeek is transforming the medical field with its efficient, low-cost training and reasoning, and localization advantages. This paper explores DeepSeek's application possibilities in medicine, covering its uses in diagnosis, treatment, data management, patient services, resource optimization, and gene - biotechnology. It also outlines four levels of DeepSeek adoption by medical institutions, addresses challenges like superficial application, user privacy risks, and model hallucinations, and suggests solutions. Looking ahead, as medical knowledge bases grow and model interpretability improves, DeepSeek is set to boost precision medicine and intelligent decision-making, becoming a key driver of medical productivity.

[Key Words] DeepSeek; large language model; medicine; enterprise applications

DeepSeek 是中国自主研发的通用大语言模型。该模型采用混合专家 (MoE) 架构和数据蒸馏技术, 具有训练和推理成本低、效率高的特点。DeepSeek 在自然语言处理、代码生成、数据分析等方面表现出色, 广泛应用于智能客服、教育辅助、金融分析等垂直领域。

自 2025 年春节前发布具有推理功能的 R1 版以来, DeepSeek 在各行各业开始得到广泛应用。在金融行业, DeepSeek 被用于智能投顾和市场分析, 比如 Tiger Brokers (老虎证券) 采用 DeepSeek 提升了投资决策的精准度。一些银行和券商也通过本地化部署 DeepSeek, 提升智能合同质检和资产对账的自

动化能力^[1]。DeepSeek 还能够进行高质量的文本分析、翻译、摘要生成等任务, 这为教育工作者和学生提供了非常大的帮助。在智能制造方面, DeepSeek 帮助中小制造企业实现了工艺优化与知识管理, 如宁德时代 (CATL) 在电解液注液工序中, 基于 DeepSeek 的时序预测模型实现工艺参数动态调整, 良品率提升 1.2%, 年节省成本约 1.5 亿元^[2]。DeepSeek 还被引入政务系统, 加速了政府的智能化转型。如深圳市福田区引入 DeepSeek-R1 技术, 打造了 70 名 AI 数智员工, 覆盖政务服务全链条的 11 大类、240 个业务场景^[3]。DeepSeek 也用于智能客服、文档处理等通用型应用, 还延伸至专业领域深

[收稿日期] 2025-03-14

[接受日期] 2025-03-24

[作者简介] 高承实, 博士, 副教授。

* 通信作者 (Corresponding author). Tel: 056-62028361, E-mail: 13838001036@163.com

耕。还是在深圳福田区,通过引入 AI 智能员工,公文格式修正准确率超 95%,审核时间缩短 90%,错误率控制在 5% 以内;执法文书生成助手可秒级生成执法文书初稿;民生诉求分拨准确率从 70% 提升至 95%,民情周报日报实现初稿一键生成等^[3]。

1 DeepSeek 在医学及相关领域应用的必要性

在医学及相关领域使用 DeepSeek,首先是医学数字化转型的需要。其次,因为 DeepSeek 是国产大语言模型且允许本地化部署,在使用环节不涉及数据跨境,能够带来更大的安全性。最后,医学及相关领域数字化程度相对较高,这也是 DeepSeek 适宜在医学及相关领域率先应用的原因。

1.1 医学数字化转型的需要 DeepSeek 不仅是人工智能技术和应用的进步,更代表着以人工智能为代表的一系列数字技术及其应用的进步。当前,数字技术越来越成熟,影响越来越广泛,应用也越来越深入。数字技术对各行各业的影响,也从一开始工具层面的赋能,到开始成为各行各业实现数字化转型的工具。

在医学及相关领域,DeepSeek 更成为其进行数字化转型的急先锋。一方面,DeepSeek 能够带来诊疗效率与质量的提升。医学数字化转型过程中,医疗机构需要更高效、更精准的诊疗工具。DeepSeek 能够快速处理海量医学数据,为医生提供诊断建议和治疗方案参考,从而提高诊疗效率和质量。另一方面,DeepSeek 还能够帮助优化医疗资源配置。通过智能化的分诊和诊断辅助,DeepSeek 可以帮助医疗资源更加合理地分配。在各级医疗机构,DeepSeek 都可以作为医生的智能助手,提升基层医疗服务水平,缩小城乡医疗服务差距,缓解医疗资源紧张的问题。再一方面,DeepSeek 还能够加速医学科研创新。数字化转型推动医学研究向数据驱动的方向发展。DeepSeek 能够帮助科研人员更高效地分析医学文献、探索疾病机制、预测药物疗效,加速医学知识的积累和创新,推动医学科学的进步。实际上,DeepSeek 可以在医学及相关领域的多个层次、多个环节发挥巨大作用,从而成为医学数字化转型的重要推手。

1.2 DeepSeek 具有更强安全保障 人工智能的安全涉及方方面面内容。DeepSeek 虽然不可能完全解决其自身可能存在或面临的安全问题,但其国产和自主研发的特点,还是为其在医学及相关领域的

应用提供了更多可能。

DeepSeek 相对而言能够更好地保护患者隐私。人工智能时代,数据的重要性与日俱增。在成为人工智能“燃料”的同时,数据在微观层面还会表达或隐含个人方方面面的隐私信息,医疗数据就更涉及到患者的个人隐私和敏感信息。DeepSeek 支持本地化部署,避免了数据跨境传输可能带来的泄露风险;数据在内网处理,也避免了数据在公网中更大范围的传播。这些设置可以使 DeepSeek 的应用更加符合信创安全要求,也能够更好保护患者隐私。

DeepSeek 在使用上具有加大的自主可控性。使用 DeepSeek 可以减少对国外技术的依赖,增强医疗机构在数据管理和应用方面的自主可控能力。这有助于保障医疗行业的信息安全和稳定运行,符合国家对关键信息基础设施保护的要求,也有助于确保医院数据安全。

1.3 医学及相关领域数字化程度高 一方面,医学及相关领域的数字化基础好。医学及相关领域积累了大量数据,类型也非常丰富,如电子病历、医学影像、基因数据等。这些数据为 DeepSeek 的应用提供了丰富的资源。如果这些数据能够被充分挖掘和利用,再发挥 DeepSeek 在数据分析和处理方面的优势,医疗系统将能够实现更加精准的医疗服务。另一方面,医学及相关领域应用场景丰富。医学及相关领域涉及多个环节和场景,如疾病诊断、治疗方案制定、患者管理、医学科研等,DeepSeek 可以在这些场景中发挥重要作用。例如,在临床决策支持方面,DeepSeek 能够整合患者的电子病历、实验室数据与影像结果,提供动态决策建议,优化诊疗全流程。

因此,医学及相关领域的数字化程度较高,具备率先开展 DeepSeek 应用的基础和条件。通过引入 DeepSeek,可以推动医学及相关领域从“经验驱动”迈向“数据智能驱动”的新阶段,促进医疗服务的智能化、精准化发展,为患者提供更加优质、高效的医疗体验。

2 DeepSeek 在医学及相关领域的可能应用

DeepSeek 在医学及相关领域众多场景不仅有着广泛的应用可能,而且在很多场景下,DeepSeek 的应用已经在大范围展开过程中。

2.1 诊断环节 诊断在医学及相关领域的作用至关重要,它贯穿于医疗过程的始终,并对医疗质量、

患者管理、医疗资源分配以及医学发展等方面产生深远影响。DeepSeek在诊断环节最直接的应用,可能莫过于辅助诊断和医学影像分析。

2.1.1 辅助诊断 (1)医学影像诊断。DeepSeek能够快速、准确地分析X光、CT、MRI等各类医学影像,自动识别出影像中的异常区域,如肺部的结节、肿瘤,脑部的病变等,为医生提供关键的诊断信息。杭州市第一人民医院借助DeepSeek的算力和模型,推出了“云影像+AI报告解读”服务。患者通过手机即可查看AI生成的初步报告。一位患者在体检中发现肺部小阴影,通过该服务在检查完成后1 min内就收到了AI生成的初步报告。报告显示“高危肺结节,恶性概率70%”,并建议尽快就医。经医生复核,这位患者被确诊为早期肺癌并立即安排手术。该服务不仅缩短了患者等待报告的时间,还提高了病灶检出率,使更多早期病变能够被及时发现^[7]。(2)症状分析与初步分诊。患者输入症状描述后,DeepSeek结合医学知识库生成可能的疾病列表,并建议优先检查项目,减少患者因挂错号而导致的时间浪费,还能使医院更合理地分配医疗资源,提高门诊的诊疗效率。

2.1.2 医学影像分析 DeepSeek在医学影像分析方面表现出色,能够帮助医生更准确地识别病灶和异常,提高诊断的准确性。广西科技大学第一附属医院与广西科技大学电子工程学院携手,结合DeepSeek的人工智能技术和YOLO目标检测算法,成功实现了医学影像的快速、精准检测。通过在PC端部署YOLO模型,实现了对医学影像的高效分析,提高了诊断的准确性和效率^[8]。

2.2 治疗环节 在医学及相关领域,对于患者来说,治疗可能是最为核心的环节了。DeepSeek在治疗多个层面,都可以得到全面的应用。

2.2.1 个性化治疗建议 DeepSeek能够根据患者的个体情况,结合医学数据和研究成果,为医生提供个性化的治疗建议,帮助医生制定更精准的治疗方案。在北京西城区德胜社区卫生服务中心,国内首个基于DeepSeek推理大模型的肾脏共病临床决策支持系统正式投入使用。该系统可自动分析患者电子病历数据及检验检查结果,实时为社区医生提供诊疗决策支持,为每一位患者生成个性化诊疗方案^[9]。

个性化治疗建议可以在以下环节发挥作用:

(1)用药方案优化。结合患者基因数据、身体个性

化指标和药物相互作用数据库,推荐剂量调整或替代药物。(2)慢性病管理,如为糖尿病患者提供动态饮食建议,或为高血压患者预警服药时间。(3)治疗方案推荐。DeepSeek能够结合患者的个体情况、临床经验以及最新的医学知识,为医生提供科学、精准的治疗方案推荐。对于癌症患者,它通过对大量癌症病例数据的学习和分析,建立精准的治疗模型,综合考虑多方面因素后为患者推荐最适合的治疗方案。(4)手术辅助。在术前规划阶段,DeepSeek可以对患者的医学影像数据进行三维重建和分析,帮助医生全面了解患者的病变部位、周围组织和器官的结构以及血管、神经的分布情况,为医生制定手术方案提供详细、准确的信息,选择最佳的手术入路,避开重要的神经和血管,帮助减少手术风险。(5)个性化健康管理。DeepSeek通过对体检数据的深度分析,可生成个性化健康评估报告,并为用户定制预防性干预方案,帮助用户直观理解健康状况,为慢性病管理提供技术支持。

2.2.2 临床决策支持 DeepSeek可以为医生提供全面的临床决策支持,包括治疗方案的推荐、药物选择的建议等,帮助医生做出更科学的决策。DeepSeek可以整合患者电子病历、实验室数据与影像结果,提供动态决策建议,如在麻醉管理中生成个性化风险评分与药物推荐,降低术后并发症发生率。DeepSeek还可以通过知识图谱平台整合最新临床指南与病例数据,帮助医生快速调取相关研究,支持多学科会诊支持。例如青岛市第三人民医院的疑难罕见病诊疗中心引入DeepSeek,结合多学科专家团队,为复杂病例制定个性化诊疗方案。在接诊一位系统性红斑狼疮患者时,医生们借助DeepSeek对患者病史资料进行快速梳理和分析,结合多学科前沿资料,与北京协和医院专家远程会诊,达成最佳会诊意见^[4]。

2.3 数据管理与知识发现场景 数据管理与知识发现贯穿于医疗过程的各个环节,对提高医疗质量、促进医学研究、优化医疗资源配置发挥着关键的支撑和推动作用。

2.3.1 医疗数据处理与知识管理 DeepSeek能够高效地处理和分析大量的医疗数据,帮助医疗机构进行数据管理、知识发现和知识共享。例如,DeepSeek可以帮助医院优化病历管理系统,提高病历的检索和分析效率。通过将非结构化的电子病历(EMR)文本自动转换为标准化字段进行结构化处理,可以

提升病历数据利用率和医保审核效率。科研人员输入临床问题, DeepSeek 也会进行文献研究与证据整合, 自动筛选最新论文、提取关键数据并生成证据总结, 缩短新药临床试验方案设计周期。

青岛大学附属医院(青大附院)是一所大型三甲医院, 每天产生大量的医疗数据, 包括电子病历、检查报告、影像资料等。为了更好地管理和利用这些数据, 提升医疗服务质量和效率, 医院引入了 DeepSeek 大模型, 并与电子病历系统实现高度集成, 推出了临床智能助手 Copilot 与“青医爱问”两大应用实例^[10]。

2.3.2 医学科研与论文写作 DeepSeek 能够帮助科研人员更高效地分析医学文献、探索疾病机制、预测药物疗效, 加速医学知识的积累和创新, 推动医学科学的进步。在文献研究与证据整合方面, DeepSeek 能够帮助科研人员快速检索最新论文、提取关键数据并生成证据总结, 缩短新药临床试验方案设计周期, 推动医学知识的积累和创新。在相关数据收集与分析方面, DeepSeek 能实时收集分析数据, 结合最新医学研究成果和临床经验, 为医生提供客观、科学的决策建议。如在肿瘤治疗决策中, 能依据患者的肿瘤类型、分期、基因特征等, 制定个性化治疗方案, 提高治疗的精准性和有效性。

梅斯医学科研平台最初部署了 Llama3-8B 模型, 用于数据治理和洞察, 但为了进一步提升科研平台的能力, 该平台成功切换至 DeepSeek 模型。DeepSeek 在处理医疗文本数据方面展现出更高的准确率和更强的语义理解能力, 优化了数据处理和分析的效率。通过脚本与正确数据的比对校验, 最终将准确率成功提升至 95% 以上, 该成果得到了专科医生的验证与认可, 为后续的科研分析提供了可靠的数据支持。至今, 该团队已成功为 100 余家医院提供服务, 涉及 50 个专病数据库的建设与科室研究能力的评估, 支持百万级临床医生开展临床研究^[6]。

2.3.3 药物研发 DeepSeek 在药物研发过程中能够提供数据支持和分析, 帮助研究人员更快地发现和开发新的药物, 提高药物研发的效率。比如在靶点发现与化合物筛选方面, DeepSeek 通过分析基因组与蛋白质组数据, 缩短了传统靶点验证周期, 生成数百万虚拟分子结构并预测其生物活性, 缩短新药开发周期^[11]。

针对新冠病毒主蛋白酶(3CLpro), DeepSeek 在

两周内生成了 237 个候选分子, 其中 5 个在体外实验显示 $IC_{50} < 100$ nM, 而传统高通量筛选方法需要 6~8 个月^[12]。这些案例充分展示了 DeepSeek 在靶点发现与化合物筛选方面的强大能力, 通过分析海量数据、生成虚拟分子结构并预测其生物活性, 显著缩短了传统靶点验证和化合物筛选的周期, 加速了新药开发的进程。

2.4 患者服务与教育环节 好的患者服务与教育, 能够提高患者满意度、增强患者依从性、促进患者自我管理、减轻患者心理负担等作用, 同时对优化医疗资源配置、提高医疗效率、降低医疗纠纷发生率也有着直接的影响。对医学研究而言, 好的患者服务与教育, 还能够提高患者参与度、促进研究成果的转化。在公共卫生领域, 患者服务与教育还能够起到疾病预防与健康促进和提高公共卫生政策的知晓度和执行率的作用。

在患者沟通与健康教育方面, DeepSeek 可以为医生提供患者沟通的辅助工具, 帮助医生更好地与患者沟通, 提高患者的满意度。同时, DeepSeek 还可以为患者提供健康教育服务, 帮助患者更好地了解自己的病情和治疗方案。具体而言, DeepSeek 可以更好地将医学术语通俗化, 通过将专业医学术语转化为患者容易理解的语言, 帮助医生更好地与患者沟通。针对不同患者群体需求, 生成个性化健康科普内容, 提高患者依从性。同时, DeepSeek 还能够进行智能随访系统。如徐州医科大学附属医院通过 DeepSeek 的 AI 智能随访系统, 将原本需要 7 h 的工作压缩至 10 min, 效率提升了 40 倍, 减轻了医护人员的工作负担, 提升了患者的随访体验^[13]。

在远程医疗支持方面, DeepSeek 能够支持远程医疗的应用, 为远程医疗提供智能化的辅助, 提高远程医疗的效率和质量。DeepSeek 可以实现患者与医生之间的远程沟通和诊断, 打破医疗服务的时空限制, 使患者能够随时随地获得专业的医疗服务。对于一些行动不便的患者、偏远地区的患者以及患有慢性疾病需要长期随访的患者, 远程医疗提供了极大的便利。成都市中西医结合医院(成都市第一人民医院)成功将 DeepSeek 人工智能大模型应用于远程医疗服务, 提升了医疗服务的连续性、便捷性与安全性。通过互联网医院入口试点患者端口, 在随访中接入 DeepSeek 技术, 方便医患交流, 实现医疗服务的连续性、便捷性与安全性, 为远程医疗随访开辟新路径^[14]。

2.5 资源优化与管理 资源优化与管理在医学及相关领域能够起到提高医疗服务效率和质量、降低医疗成本、促进医疗资源均衡发展、提升医疗资源利用效率等作用。就优化医疗资源方面,DeepSeek能够通过智能化的分诊和诊断辅助,帮助医疗资源更加合理地分配,提高医疗资源的利用效率。比如通过对医院历史医疗数据的分析,DeepSeek可以预测不同科室、不同时间段的患者流量和医疗需求,帮助医院合理安排床位、设备和医护人员,提高医疗资源的利用率。通过综合考虑手术的复杂程度、手术时间、医生的工作负荷等因素,制定最优的手术排期方案。

2025年,武汉同济医院部署了DeepSeek-Hospital系统。该系统通过实时分析14个科室的132个诊间就诊数据,动态调整号源分配,并基于症状自述的语义理解实现精准分诊。应用后,门诊候诊时间中位数从127 min降至49 min。在测试期间,儿科发热患者的首诊准确率从78%提升至94%,避免了32%的无效转诊,有效优化了医疗资源的配置,提高了医院的诊疗效率和患者的满意度^[5]。

2.6 基因与生物技术领域 基因与生物技术在疾病诊断、疾病治疗、药物开发、疫苗研发、医疗保健等多个领域都有着重要的地位。DeepSeek在基因与生物技术研究与应用等诸多方面发挥着重要作用。

DeepSeek在生物信息学中的应用主要集中在基因数据分析和预测上。通过处理和分析大量的基因数据,DeepSeek能够帮助研究人员发现新的生物标志物和疾病相关基因。DeepSeek在疾病诊断和治疗方案优化方面也展现了强大的能力。基于第二代测序结果,DeepSeek可自动生成包含突变注释、致病性评估和治疗建议的结构化报告。DeepSeek通过模拟药物与靶点的相互作用,加速新药筛选过程,降低研发成本。DeepSeek还能够预测蛋白质的三维结构,为药物设计和疾病机制研究提供重要参考。在细胞治疗领域,DeepSeek的AI模型分析数万例T细胞受体数据,可以设计出更高效的嵌合抗原受体(CAR)结构。此外,通过模拟转录因子调控网络,AI预测诱导多能干细胞分化为特定细胞类型的最佳因子组合,可以大幅提高分化效率。

思路迪科技(上海)有限公司(思路迪诊断)将DeepSeek的推理模型DeepSeek-R1接入其自主研发的肿瘤临床知识库(CKB),显著提升了基因变异临床解读的效率与准确性。采用“AI智能提取+专

家审核”模式,实时更新药物获批文件、临床指南和公共数据库,深度解析超过40万篇专业文献,已收录超过13 000条专家审核证据,覆盖600余种肿瘤类型和1 900多种抗肿瘤药物。通过接入DeepSeek-R1,CKB在处理医学文献的深度挖掘方面表现出色,特别擅长识别和提取变异-肿瘤-药物(Variant-Tumor-Drug, VTD)关系,帮助发现潜在的临床证据和新的研究趋势^[15]。

此外,DeepSeek在甲基化检测试剂盒开发中也有应用。例如,在结直肠癌研究中,DeepSeek通过分析TCGA和GEO数据,识别出15个新型差异甲基化区域(DMRs),包括SYNE1和THBD基因。基于这些发现,研究团队构建了早期筛查模型,具有较高的灵敏度和特异性^[16]。

以上仅是DeepSeek在医学及相关领域的一些典型应用。在医学及相关领域的其他场景下,DeepSeek也有着更多的可能应用空间有待拓展。

3 DeepSeek在医学及相关领域应用的4个层次

尽管DeepSeek在医学及相关领域有着巨大的应用前景,但由于DeepSeek刚刚面世,因此,对DeepSeek的应用也存在用户教育、本地部署、领域知识预训练和微调等一系列问题。不同医学机构限于其自身的技术能力和应用需求,在DeepSeek的使用和部署上也会存在巨大的差异。

DeepSeek在医学及相关领域的应用存在以下4个不同的层次。第1个层次,医学及相关领域中的个体由于工作需要,直接访问DeepSeek。但这种方式可能受限于机构内部信息泄露、服务器不稳定、DeepSeek缺少医学专有领域知识等缺陷。第2个层次,医学及相关领域的机构本地或边缘侧部署DeepSeek,但缺少医学专有领域知识训练。这种方式一是解决了服务器服务不稳定的问题,二是在受保护的情况下可以就一些可能涉及机构内部信息的问题访问本地DeepSeek服务器。第3个层次是在本地部署的基础上对DeepSeek服务器进行了医学专有领域知识训练。这种方式下,DeepSeek就成为医学及相关领域的专有领域大语言模型。第4个层次是在第3个层次基础上,将本地所有内容,包括业务流程、客户信息等内部信息,全部上传到本地DeepSeek服务器。在这种情况下,DeepSeek服务器不但具有人类建立在语言基础上的通用知识,还具有医学及相关领域的专有领域知识,而且还具备机

构内部的知识,成为机构独有的大语言模型。在这个基础上,只需要略加封装,就可以生成相应的医学智能体 Agent。

前面涉及到的诊断、治疗两个环节,都不仅涉及到医学领域知识,而且涉及到患者的个性化数据,因此,就需要第 4 个层次上的 DeepSeek 服务。数据管理与知识发现、患者服务与教育、基因与生物技术,至少需要第 3 个层次的 DeepSeek 服务。资源优化与管理因为涉及到医学及相关领域机构内部数据作为工作对象,因此也需要第 4 个层次上的 DeepSeek 服务。

4 DeepSeek 在医学及相关领域面临的问题及应对

尽管各行各业都在快速推进 DeepSeek 的本地化部署和应用,但由于 DeepSeek 刚刚出现,因此目前几乎所有行业对 DeepSeek 的应用相对来说还处于比较浅的层面。尽管 DeepSeek 是中国国产的大语言模型,但也仍然存在用户隐私泄露的可能。此外,大语言模型所固有的幻觉问题,以及可解释性和可靠性等问题,也仍然是影响 DeepSeek 在医学及相关领域大面积应用并深入落地的重要因素。

4.1 应用层面较浅问题及解决路径 应用层次浅主要表现在以下两个方面。一是核心业务渗透不足。目前 DeepSeek 在医疗领域的应用多集中在辅助诊断、文献检索等外围环节,尚未深入到医疗核心业务流程中。在临床决策支持方面,其应用也较有限,难以直接为医生提供精准诊疗建议,无法满足医疗行业对 AI 技术在核心业务中的深度需求。二是专业领域适配性不足。DeepSeek 作为通用大模型,在处理医学专业术语、复杂诊疗流程等方面存在理解偏差和适应性不足。与医疗垂直领域专业模型相比,其在专业深度和场景穿透能力上存在差距,限制了其在医学及相关领域的广泛应用。

DeepSeek 是建立在通用语料库基础上的语言大模型。相当多的医学及相关领域专业知识并没有形成数据,也没有投喂给 DeepSeek。这也是目前 DeepSeek 应用层次浅的最主要原因。因此,在 DeepSeek 本地化部署以后,最重要的工作是将更多的医学知识数字化,然后将这些数据投喂给 DeepSeek,并利用这些数据进一步对 DeepSeek 进行训练和调优,使其具备更多医学及相关领域知识。在此基础之上,DeepSeek 在医学及相关领域的应用才能进一步深化。我们给 DeepSeek 越多的医学专

业数据,DeepSeek 就能够实现越精准的疾病诊断,也将能帮助科学家更高效地预测药物的药效、副作用以及与其他药物的相互作用,从而缩短药物研发周期,降低研发成本。随着更多患者信息的录入,DeepSeek 就能够根据患者的基因组信息、生活方式和临床数据,为患者量身定制个性化的治疗方案,提高治疗效果,减少副作用。

4.2 用户隐私泄露可能及应对 一是存在数据收集与处理风险。在医疗领域,DeepSeek 需要处理大量包含患者个人隐私的医疗数据,如病历、影像等。如果数据收集和处理过程中存在漏洞,可能导致患者隐私数据泄露,给患者带来不必要的麻烦和损失。二是仍然面临数据共享与合规挑战。医疗数据的共享和使用需要严格遵守相关法律法规,如 HIPAA、GDPR 等。在实际应用中,如何在数据共享与隐私保护之间找到平衡,并确保数据使用的合法性,是 DeepSeek 面临的一大挑战。

当前很多单位本地化部署了 DeepSeek,但这些部署基本都处于“裸奔”状态,没有做任何安全方面的防护。因此,基于等级保护和关键基础设施建设要求,对本地化部署的 DeepSeek 也需要对其安全防护作出相应的部署。同时,引入更多数据安全和隐私保护技术,保护用户和患者的相应信息免于泄露。

此外,对上传到 DeepSeek 的数据也需要分组分类对待。比如,通用的甚至专用的医学知识和经验,应该可以作为训练数据以实现 DeepSeek 模型的进一步训练和调优。但涉及到用户和患者的数据,如何处理其隐私内容,处理之后的数据哪些内容可以用于模型训练和调优,哪些内容仍然还必须作为用户和患者隐私对待,而不能作为模型训练和调优的“燃料”,都需要在技术和伦理层面做出更详细的探讨和安排。

4.3 模型幻觉和安全性问题及应对 DeepSeek 作为生成式大语言模型,“幻觉”现象是其固有属性。即在数据不充分的领域,出于泛化要求,模型又必须要给出对应解答。那么这个时候,大概率“幻觉”现象就出现了。在医学领域,大语言模型也会生成看似合理但实际错误或虚构的诊断信息。这可能导致医生和患者对 AI 生成的诊断结果产生误解,从而做出错误的医疗决策,甚至可能危及患者生命。

DeepSeek 还存在网络攻击与数据安全威胁。随着 AI 技术的发展,针对 DeepSeek 的网络攻击呈上

升趋势。攻击者可能利用僵尸网络等手段对 DeepSeek 发起攻击,干扰其正常运行,甚至篡改训练数据,导致模型输出不可信的结果。

此外,DeepSeek 也存在模型可靠性与可解释性不足的问题。与其他大语言模型一样,DeepSeek 的决策过程复杂且难以完全透明化,像一个“黑匣子”,这使得医生和患者对其信任度较低。在医疗领域,AI 系统的可靠性、可解释性和稳定性至关重要,否则难以获得医疗专业人士和患者的接受。

幻觉是生成式大语言模型的固有问题,采取技术手段可能无法杜绝和根除“幻觉”现象的出现,因此,一方面是通过大模型的对抗训练和鲁棒性优化,尽可能减少“幻觉”现象的出现。但另一方面,我们必须将 DeepSeek 这一类大语言模型的使用严格限定在“助手”这一角色定位上。凡是重要一点的决策和内容,必须以人为主导,而不能完全托付给 DeepSeek 这一类大语言模型。再一方面,基于可靠数据,可解释逻辑推理,构建可信任的医学人工智能,仍然是当前医学人工智能发展不可或缺的一个路径。

持续监测与更新也是必要的安全机制。建立持续监测和更新机制,及时发现和修复模型中的漏洞和问题,确保模型的安全性和可靠性。例如,定期对模型进行安全评估和更新,以应对不断变化的威胁环境。

5 DeepSeek 在医学及相关领域应用的展望

人工智能在医学及相关领域的应用是发展趋势。人工智能应用的深度,在某种程度上既是数字化转型的深度,也是医学新质生产力形成的标志。

DeepSeek 在医学及相关领域的应用虽然具有巨大潜力,但也面临着应用层面浅、用户隐私保护难度大、模型幻觉及安全风险高等诸多问题。要推动其在医学及相关领域的深入应用,需要从技术优化、数据管理、安全防护、伦理规范等多方面入手,不断完善和解决这些问题,以确保 AI 技术在医疗领域的安全、可靠和有效应用。

DeepSeek 在医学及相关领域的应用前景广阔,未来有望在更精准的诊断、更有效的药物研发、个性化的治疗和更便捷的医疗服务等方面发挥更大的作用。同时,通过数据加密、安全硬件设计、数据与模型分离和分层权限管理等措施,用户隐私泄露问题有望得到有效抑制。此外,通过对抗训练、

模型可解释性研究、安全硬件与软件协同防护以及持续监测与更新等手段,模型幻觉及安全问题也有望得到解决。这些技术的发展和应用将推动 DeepSeek 在医疗行业的深入应用,为患者和医疗专业人士提供更优质、更安全的医疗服务。

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,撰写、修改论文;程元骏:选题,修改论文。

参考文献

- [1] Finance. Tiger Brokers adopts DeepSeek model as Chinese brokerages, funds rush to embrace AI [EB/OL]. [2025-02-18]. <https://www.globalbankingandfinance.com/CHINA-DEEPSEEK-INVESTMENT-c2ed87fa-ad2b-4bef-9157-910b842fcb8f>.
- [2] 未来智慧谷. DeepSeek 行业应用案例——制造业篇 [DB/OL]. [2025-02-27]. https://blog.csdn.net/WL_ZHG/article/details/145907108.
- [3] 福田区以 DeepSeek 为引擎加快政务智能化转型 70 名 AI“数智员工”上岗 [EB/OL]. [2025-02-18]. https://www.sz.gov.cn/cn/xxgk/zfxxgj/gqdt/content/post_12006997.html.
- [4] 中新网四川. 成都市三医院智慧医疗 DeepSeek 助力疑难罕见病诊治 [EB/OL]. [2025-02-23]. <https://www.sc.chinanews.com/cn/bwbd/2025-02-23/224297.html>.
- [5] 大模型老炮. DeepSeek“牵手”医疗,开启智能医疗新时代? [EB/OL]. [2025-02-11]. https://blog.csdn.net/2401_85375151/article/details/145568490.
- [6] 江湖人称麻花藤. 深入探索 DeepSeek: AI 赋能医学科研 [EB/OL]. [2025-02-05]. https://blog.csdn.net/m0_59235699/article/details/145460963.
- [7] 五谷杂粮养生星. DeepSeek 读报告,不到 1 分钟 get 初步诊断结果! [EB/OL]. [2025-02-18]. https://www.sohu.com/a/860637776_121118851.
- [8] 辜丽娜. AI+医疗: DeepSeek 赋能医学影像诊断跃上新台阶 [EB/OL]. [2025-02-19]. <http://www.gkdyfy.com/info/1170/5003.htm>.
- [9] 潇湘晨报. “多学科专家+DeepSeek”为复杂病例制定个性化诊疗方案 [EB/OL]. [2025-03-11]. <https://www.ishaanxi.com/c/2025/0311/3376044.shtml>.
- [10] 青岛大学附属医院微信公众号. 青大附院完成 DeepSeek 大模型部署实现电子病历全流程智能化管理 [EB/OL]. [2025-02-26]. <https://chima.org.cn/Html/News/Articles/17248.html>.
- [11] 新康界. 以 DeepSeek 为代表的 AI,如何改写生物医药游戏规则? [EB/OL]. [2025-02-13]. <https://news.qq.com/rain/a/20250213A08CE200>.
- [12] 赵蕴哲. DeepSeek 如何重塑医药行业未来? [EB/OL]. [2025-

- 02-07]. <https://www.sdu-zbpharm.com/news/news/2025-02-07/1896.html>.
- [13] 健识局. DeepSeek 已植入 90 家大三甲, 医院在用 AI 干什么活? [EB/OL]. [2025-02-25]. <https://health.ifeng.com/c/8hFfpAo90M>.
- [14] 天府融媒联合体. 探索 AI 如何赋能医疗行业, 官宣完成本地化部署——四川多地医院“牵手”DeepSeek [EB/OL]. [2025-02-24]. https://www.kangyanghongya.com/news/2988485?utm_source=chatgpt.com.
- [15] 今日闵行. 闵行这家企业接入 DeepSeek, 优化肿瘤临床知识库, 提升精准诊疗效率 [EB/OL]. [2025-02-24]. https://www.sohu.com/a/863092781_121820044?utm_source=chatgpt.com.
- [16] 卢长明. AI 技术在甲基化检测试剂盒开发中的应用: 检测靶标的获取 (以结直肠癌为例) [EB/OL]. [2025-02-06]. https://blog.sciencenet.cn/blog-3419762-1471895.html?utm_source=chatgpt.com.

引用本文

高承实, 程元骏. DeepSeek 在医学及相关领域的应用[J]. 元宇宙医学, 2025, 2(1): 36-43.

GAO C S, CHENG Y J. Applications of deepseek in the medical field and related areas[J]. Metaverse Med, 2025, 2(1): 36-43.

基于病理组学的 AI 模型助力胶质瘤全流程诊疗决策



贺琳茜, 刘欢, 章京*, 张秀明*

浙江大学医学院附属第一医院临床病理科, 杭州 310000

[摘要] 人工智能在精准医疗, 尤其是神经病理学中的应用日益广泛, 展现出显著的作用和潜力。基于先进的深度学习神经网络模型, 人工智能不仅能够对胶质瘤进行分类分型、分级诊断, 提升病理诊断的准确性和效率, 而且能够预测分子改变, 节约人力、物力和财力。更为重要的是, 人工智能可以进行预后预测, 评估患者生存期及复发风险, 为个性化的治疗和随访策略提供参考。随着未来数据孤岛、“黑箱”算法等问题的逐步解决, 人工智能有望在胶质瘤全流程诊疗中, 为病理医生和临床医生的决策提供有力支持。

[关键词] 胶质瘤; 人工智能; 神经网络; 预后

[中图分类号] R 739.41 **[文献标志码]** A

Artificial intelligence in pathomics optimizes end-to-end clinical workflow in glioma

HE Linqian, LIU Huan, ZHANG Jing*, ZHANG Xiuming*

Department of Clinical Pathology, The First Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310000, Zhejiang, China

[Abstract] Artificial intelligence (AI) is increasingly utilized in precision medicine, with notable applications observed in neuropathology. In glioma diagnostics, histological classification, molecular subtyping, and WHO grading are automated by AI-based platforms, enhancing diagnostic consistency and operational efficiency. Critically, AI predicts prognosis, assesses survival and recurrence risks, and guides personalized treatment strategies. As issues like data silos and “black-box” algorithms are resolved, AI is poised to support decision-making by pathologists and clinicians throughout the clinical workflow of glioma management.

[Key Words] glioma; artificial intelligence; neural networks; prognosis

胶质瘤是起源于神经胶质细胞的原发性中枢神经系统肿瘤^[1]。2022 年中国新发脑肿瘤病例数约为 48.9 万例, 其中胶质瘤是最常见的类型之一^[2], 占有所有原发性中枢神经系统 (CNS) 肿瘤的 25%, 占有所有恶性原发性 CNS 肿瘤的 81%。

在传统的组织形态学中, 胶质瘤可以分为星形胶质细胞瘤 (Astrocytoma, A)、少突胶质细胞瘤 (Oligodendroglioma, O) 或室管膜肿瘤, 并依据肿瘤的生物行为学和预后情况, 分级为 WHO I–IV 级。其中, WHO I–II 级为低级别胶质瘤 (Low-grade Glioma, LGG), WHO III–IV 级为高级别胶质瘤 (High-grade Glioma, HGG)。随着对胶质瘤的分子发病机制的理解不断深入, 2016 年和 2021 年的 WHO 分类系统将分子特征纳入病理综合诊断^[3–4]。2021 年的第 5 版 WHO 分类根据组织学诊断、分级和

分型的基本原则, 将胶质瘤分类为成人型弥漫性胶质瘤、儿童型弥漫性低级别和高级别胶质瘤、局限性星形细胞性胶质瘤和室管膜瘤。其中成人型弥漫性胶质瘤又根据分子改变, 包括异柠檬酸脱氢酶 1/2 (IDH1/2) 基因突变和染色体 1p 及 19q 的全臂共缺失 (1p/19q 共缺失) 等, 进行分子分型。目前, 分子诊断已成为神经系统肿瘤分类的金标准^[4]。

不同类型和级别的胶质瘤治疗策略有所不同, 如高级别胶质瘤可能需要更积极的综合治疗, 包括手术、放疗、化疗和新兴的靶向治疗等; 而低级别胶质瘤在某些情况下主要以手术切除为主。准确判断胶质瘤的分类、分级、分子标志物等信息对于制定个性化的治疗方案是必不可少的。

人工智能 (artificial intelligence, AI) 是计算机科学的一个分支, 模拟人类记忆、学习的过程执行任

[收稿日期] 2025-03-16

[接受日期] 2025-03-27

[作者简介] 贺琳茜, 硕士. E-mail: 22218690@zju.edu.cn

* 通信作者 (Corresponding authors). Tel: 0571-87236114, E-mail: jzhang1961@zju.edu.cn; 1508056@zju.edu.cn

务。近年来,在多种学科实现了交叉融合,尤其在医学领域得到了迅速发展。

机器学习(machine learning, ML)是AI的一个子领域,它通过自动学习数据中的规律和模式,执行复杂的认知任务,主要包括监督学习、无监督学习和强化学习^[5]。监督学习利用一组带有标签的数据进行学习,常见的有线性回归、决策树、支持向量机等。无监督学习则是处理没有标签标记的数据,识别数据中的结构和规律,常用的无监督学习算法包括K-均值聚类、主成分分析等。强化学习是让人工智能在环境中采取一系列行动,根据环境反馈的奖励信号来学习最优策略。

深度学习(deep learning, DL)的高级形式,通过构建多层神经网络自动从数据中提取特征。传统ML模型在处理数字病理图像等复杂数据时,往往需要人工提取和选择合适的特征,而DL模型可以自动从原始数据中学习到有意义的特征表示。

随着DL模型的快速发展,基于DL的图像分析的重要神经网络模型,包括卷积神经网络(CNN)、深度神经网络(DNN)、循环神经网络(RNN)、Vision Transformers(ViTs)模型。

随着人工智能在病理领域的飞速发展,病理学正在经历继免疫组织化学和基因组学之后的第三次革命——人工智能革命^[6]。顺应人工智能革命的浪潮,组织学切片数字化为全玻片图像(WSI),其中包含千兆为计的像素,具有海量的信息。在数字病理领域,AI模型的开发通常分为训练和测试阶段。首先,将预处理后的图像数据和对应的标签数据输入到AI模型进行训练。其次,使用测试数据集评估模型的性能。模型的性能是通过准确性(accuracy, ACC)或受试者工作特征曲线下面积(area under the operator receiver characteristic curve, AUC)用于评估分类任务(例如,肿瘤分类、亚型、分级、分子突变预测)或通过一致性指数(C-index)等指标用于生存预测。

本综述研究重点介绍基于病理组学的AI模型在胶质瘤分类、分型、分级诊断,分子标志物预测,治疗指导和生存预测等全流程诊疗任务中的应用。

1 人工智能在全流程诊疗中的应用

1.1 人工智能在胶质瘤组织学分类诊断中的应用
准确诊断胶质瘤的分类,对患者的后续治疗和预后预测至关重要。在2016年之前,WHO分类系统依赖组织病理特征作为诊断标准^[3,7]。例如,少突胶质细胞瘤的特征包括圆形细胞核和核周空晕,表现为

特征性的“煎蛋”样细胞外观;星形细胞瘤由异型细胞组成,具有成团的染色质、嗜酸颗粒小体和支链细胞质;胶质母细胞瘤(Glioblastoma Multiforme, GBM)的细胞异型性则较前两者则更为明显,并伴有栅栏状坏死和/或微血管增生。

1.1.1 基于组织学HE图像 胶质母细胞瘤是胶质瘤中最具侵袭性的组织学亚类,并且具有显著的组织病理特征。在早期人工智能的胶质瘤病理模型领域中,胶质母细胞瘤的分类诊断任务具有重要意义。早期研究通过对公共数据集,例如TCGA-GBM和TCGA-LGG等进行学习分析,可以实现区分胶质母细胞瘤与低级别胶质瘤^[8-9]。多数的研究仅纳入了胶质瘤患者队列,因而对非肿瘤区域识别基于胶质瘤的癌旁组织。Cheung等人^[9]收集了独立的胶质母细胞瘤患者队列和健康队列,实现了区分胶质母细胞瘤与正常脑组织。

由于公共数据集存在组织学切片图像质量参差不齐、病理诊断不够完善等缺陷。越来越多的研究用多中心的独立医院队列进行训练、验证和测试,Jin等人^[10]联合4个医疗中心收集了733例患者,基于MIL多中心测试模型的性能稍有下降,总体准确率为0.73。

2021年的WHO标准,成人型弥漫性胶质瘤分类变更为星形细胞瘤、少突胶质瘤和胶质母细胞瘤3类,删除了“间变性星形细胞瘤”和“间变性少突胶质瘤”的诊断,又根据分子改变将成人型弥漫性胶质瘤进行分子分型。Wang等人^[11]的基于CNN模型的模型,实现对星形胶质细胞瘤、少突胶质细胞瘤和胶质母细胞瘤的分类,同时可以完成IDH突变、1p/19q共缺失的预测。

1.1.2 基于组织学HE图像和IHC图像 病理的分类、分析和整合性诊断依赖组织形态学和免疫组织化学。因此,两项研究除了将HE切片纳入学习模型,还学习了免疫组织化学(IHC)全玻片图像,以提高模型预测准确率^[12-14]。Faust等人将尺度不变特征转换(SIFT)与深度学习(DL)耦合,得到的模型不仅可以通过HE图像区分不同的脑肿瘤类型,而且还可以依靠与HE图像对应的特定分子标志物(IDH、ATRX、MIB1/Ki-67%和Olig2)的IHC图像,整合和执行弥漫性胶质瘤的分子分类。更有趣的是,该研究^[13]发现对MIB1/Ki-67%和Olig2异质表达的IHC图像分布区域具有较强相关性($R=0.62$)。除了对组织层面的IHC图像的探索,Alzoubi等人^[14]研发了分割IHC图像中细胞的双焦点卷积神经网络(BCNN)模型,自动识别胶质母细胞瘤中CD276免

疫反应细胞,并对单个细胞进行分析和计数。随后将识别信号转换为相应的热图,使用离散小波变换(DWT)可视化对应 HE 图像中 CD276 免疫反应细胞的分布。实现免疫反应细胞与间变性组织学特征可视化。

1.1.3 基于组织学 HE 图像和 MR 图像 基于放射组学的人工智能模型在胶质瘤诊断中同样取得了不俗的成绩。某些研究^[15-16]整合影像学数据来提高模型诊断的水平,融合了匹配的放射图像,例如磁共振(MRI)。近年的研究基于卷积神经网络,将病理学与放射学的特征进行后期融合,选择置信度更高的特征,作为预测诊断结果的指标。考虑到 WHO 定义的诊断标准中病理学仍是金标准,Hsu 等人^[17]提高了病理特征在混合全卷积神经网络中的优先级,将基于 WSI 的分型结果作为首要决策,但当其结果置信度小于预定义的阈值时,再将基于多参数磁共振成像(mpMRI)的结果作为补充参考。这一模型在验证集中的准确度为 0.829。

1.1.4 基于组织学 HE 图像和临床信息 研究结果表明,病理特征和临床标记物相结合,在预测模型中的协同价值。Rathore 等人^[18]通过对 WSI 图像和临床信息的单层支持向量机(SVM)的线性模型进行组合,对胶质瘤分级预测准确度可达 0.9148,较单独的病理模型准确度有明显提升。Nakagaki 等人^[19]提出了一种基于 WSI 的 ABMIL 的弱监督学习模型和基于临床数据的 LightGBM 模型融合的方法。将病理图像和临床数据结合起来预测 IDH1 基因突变,提高了预测的准确性。此外,该研究还提供了一种可解释的 AI 模型,通过可视化注意力分数来识别与 IDH1 基因突变相关的组织学特征。

1.2 人工智能在胶质瘤分级诊断中的应用 作为预测肿瘤生物学行为与临床预后的依据,胶质瘤分级仍是脑肿瘤病理诊断的重要依据。根据细胞异型性、增殖活性、坏死和微血管增殖的组织学特征的叠加,肿瘤的恶性程度随之增高,共分为 CNS WHOI-IV 级。其中 WHOI-II 级为低级别肿瘤(LGG),缺乏或罕见上述特征,预后较好;WHO III-IV 级为高级别肿瘤(HGG),具有更多上述的组织学特征,预后较差。但在实际工作中,II 级和 III 级胶质瘤的精细分类仍具有挑战性。

早期的研究同样从高级别胶质瘤里具有特异组织学特征的胶质母细胞瘤与低级别胶质瘤,实现了精准分类。Mousavi 等人基于决策树根据形态学特征识别对高级别和低级别胶质瘤进行分类^[8,20-22]。随后的研究^[23-24]中,WHO-II 级和 III 级的分类,基于

CNN 的分级模型对 GBM 和 LGG 的识别准确率达 0.90 以上,同时对 II 级和 III 级的识别准确率超过 0.70。Sanghyuk Im 等人^[25]在韩国天主教大学圣玛丽医院的独立队列中,用四种基于 CNN 的分类模型的迁移学习对 II 级、III 级和 IV 级弥漫性胶质瘤图像进行了二元分类,准确率可达 0.872 8。传统的单个的深度学习的(DL)模型通常具有较大的变异性,Su 等人^[26]结合集成学习技术建立了集成 DL 模型,通过构建 14 个切片级 DL 模型作为组件分类器,基于 logistic 回归(LR)方法开发集成 DL 模型,以实现胶质瘤分级。在平均患者水平的准确性为 0.801 1。

1.3 人工智能在胶质瘤分子生物标志物预测中的应用 肿瘤有时可能表现为模棱两可的组织学特征,或同时出现少突胶质细胞瘤和星形细胞瘤的组织学特征^[7],从而出现“少突星形细胞瘤”的病理诊断。随后的研究表明,“少突星形细胞瘤”实际上是星形细胞瘤或少突胶质细胞瘤。但要有效区分两者,需要检测 IDH 的基因突变,以及 1p/19q 共缺失,其中少突胶质细胞瘤同时具有 IDH 突变和 1p/19q 共缺失,星形细胞瘤具有 IDH 突变而没有 1p/19q 共缺失^[27]。目前最新的 WHO 指南中已删除“少突星形细胞瘤”的诊断名称。由此可见,分子改变越来越成为胶质瘤分类不可或缺的重要指标,尽管目前还没有从 HE 切片的组织学图像中确定分子改变的诊断标准,但通过人工智能模型通过对组织学切片的全玻片图像,对胶质瘤的基因突变预测研究正在尝试改变这一现状。

1.3.1 分子改变预测 早期的研究^[28-30]基于弱监督的 CNN 模型进行预测 IDH 突变。其中 Zhao 等人^[29]的研究中,混合 CNN-Transformer 模型,纳入了 2 275 个病例,在外部测试中得到了更优的 AUC 为 0.953。由于 IDH 突变情况和患者年龄具有相关性^[31],IDH1/2 突变型星形细胞瘤患者的中位年龄为 37 岁(29~49 岁),而 IDH 野生型星形细胞瘤和胶质母细胞瘤患者的中位年龄为 65 岁(56~72 岁),因此 3 项研究^[18,30,32]将 WSI 图像和临床数据进行结合,提高了预测的准确性。其中,Nakagaki 等人^[18]的研究通过可视化注意力分数来识别与 IDH1 基因突变相关的组织学特征,对人工智能模型诊断分子改变的机制,做出了一定的解释。

依据 2021 年的 WHO 指南,IDH 突变和 1p/19q 共缺失对成人弥漫性胶质瘤的诊断起决定性作用。有 3 项研究^[33-34]同样基于 CNN 模型预测 1p/19q 共缺失,Kim 等人的一项 288 名患者队列单中心研究中,预测了 HE 图像 WSI 的 1p/19q 倍数变化值,同时弱

监督CNN模型为结果提供了具有可解释性的热点区域。最近的2项研究则采用了ViT模型,其结果显示能得到更高的AUC。Nasrallah等人在冰冻切片上实现了IDH突变和1p/19q共缺失状态关键分子改变的预测。

其他分子改变,包括MGMT启动子甲基化、CDKN2A/B纯合缺失、ATRX突变、EGFR扩增、TP53突变和TERT启动子甲基化同样具有重要诊断和预后意义。Hewitt等人^[35]基于MIL从WSI中实现了端到端的分子预测,IDH、ATRX和1p19q共缺失的预测AUROC分别为0.90、0.79和0.87;Li等人将TCGA数据和独立患者队列用于脑肿瘤分类分型,以及预测胶质瘤中的IDH1、TP53和MGMT状态。他们提出的模型具有用于编码图像块的ImageNet预训练ViT,以及用于对补丁之间关系进行建模的基于图形和Transformer的聚合器。ViT-WSI在弱监督环境中通过对同一病例患者的多张组织病理切片图像进行预测、平均聚合结果,IDH1、TP53和MGMT甲基化的准确性分别为0.897 5、0.817和0.791 6。

1.3.2 基因组分析预测 除了对于经典的胶质瘤突变基因预测外,近年来的研究认为全基因组DNA甲基化分析同样是一种脑肿瘤的重要诊断方式。基于DNA甲基化的CNS肿瘤分类器既能够反映细胞来源,也能够反映在肿瘤过程中获得的变化。Hoang等人^[36]开发的DEPLOY模型,整合了3个部分:第1个是从HE图像分类中枢神经系统肿瘤的“直接模型”,第2个是从HE图像中生成DNA甲基化 β 值的预测,随进行肿瘤分类的“间接模型”,第3个直接从患者人口统计数据的临床信息中分类。整合模型得到了0.95的总体准确度。

现有的DL模型对训练数据量级要求较高,Carrillo-Perez等人^[37]通过VAE将胶质母细胞瘤组织的RNA-seq数据投射到较低维度的潜在空间中,并仅从RNA-seq表达数据合成“类HE”图像,所得合成训练数据可用于提高肿瘤分类模型的性能,为数据稀缺问题提供了一个有前途的解决方案。

1.4 人工智能在胶质瘤指导治疗中的应用 及时、准确的术中快速病理诊断是指导胶质瘤手术、确定治疗方案的金标准。然而,快速术中冰冻切片(IFS)的切片,存在组织形态不典型、基因突变无法判读等问题。开发术中快速、精准的评估工具是当前人工智能研究的重要方向。

术中冰冻鉴别诊断胶质瘤与原发性中枢神经系统淋巴瘤(PCNSL)对手术决策至关重要,Zhang等人^[38]开发的LGNet模型可以通过IFS全玻片图像

鉴别两者,在外部队列的AUC分别为0.965和0.972。Shi等人^[39]提出了基于IFS图像的2种弱监督CNN,用于对颅内生殖细胞瘤、少突胶质细胞瘤和低级星形细胞瘤的诊断。相较于3位病理学家独立诊断,在机器学习模型帮助下诊断准确性平均提高20%。

立体定向脑组织活检的手术标本常出现送检标本量少、组织挤压明显等情况,刺激拉曼组织学(SRH)在这类情况下,表现出较为优异的诊断能力。另一项前瞻性单中心的研究纳入了47名受试者的手术标本,同时收集了SRH图像和对应的FFPE全玻片图像(WSI)进行诊断一致性的比较。SRH图像不仅在相较于术中常规诊断时间缩短约10倍,而且在区分神经胶质细胞和肿瘤诊断方面显示出很高的准确性,但稍逊色于病理医师依据FFPE全玻片图像的诊断准确率^[40]。另一项单中心研究^[41]使用激光拉曼散射显微镜对未处理的无标记样品进行成像,收集了84例接受立体定向脑活检的颅内病变不明患者的121张SRH图像。其肿瘤组织识别和成人弥漫性胶质瘤分类准确率分别为0.917和0.895,令人惊喜的是,对胶质瘤IDH和1p/19q状态的识别准确率达0.939。

胶质瘤手术治疗的关键挑战是在手术过程中判断肿瘤浸润范围,以实现最大限度保障患者脑功能的情况下,完整切除肿瘤。Kondepudi等人^[42]在一多中心、国际化弥漫性胶质瘤患者队列中,基于Vision Transformer(ViT)架构,通过大规模自我监督学习进行训练的视觉模型,能够检测和量化新鲜、未处理的手术标本中肿瘤浸润程度,AUC为 $92.1 \pm 0.9\%$ 。

1.5 人工智能在胶质瘤预后预测中的应用 胶质瘤的预后是患者和临床医生都非常关注的问题,通过掌握预后因素、准确预测生存期可以进行有效的疾病管理。肿瘤组织的WSI具有千兆像素分辨率,AI模型从中预测患者预后并非天方夜谭。

绝大多数的研究^[43-45]都以端到端的方式通过HE的WSI图像进行总生存期预测。其中,Elazab等人^[46]使用10倍交叉验证技术在胶质瘤患者中验证了纹理和颜色特征的融合产生更高的准确性,这支持了它们在预测模型中的协同意义。Yuan等人^[47]根据图像特征数据,对TCGA数据集的胶质母细胞瘤患者定义了4种不同的亚型和模块(imClust1-4),imClust2在所有3个生存终点的预后都最好,例如,imClust2在25个月后的存活率高于其他亚型。并且通过分子和免疫分析揭示了不同图像亚型中肿瘤

微环境的不同免疫成分,为患者结果的模式提供生物学解释。

某几项研究通过对肿瘤预后相关基因的表达预测进行风险评估模型。肿瘤相关巨噬细胞(TAM)与促进胶质瘤进展、导致患者预后不良有关,TAMs强相关的FPR3基因在神经胶质瘤中较正常组织升高,并且高表达预示不良结局。Zhou等人^[48]开发基于平均C指数的CD163+FPR3+共定位的巨噬细胞亚群的风险评估模型。一项研究通过ML模型从低级别胶质瘤(LGG)患者的WSI中提取细胞形态学生物标志物CMB,随后定义了两个CMS。与传统生物标志物不同,CMB作为组织学成像生物标志物,捕捉细胞特性及其微环境的异质性,可以作为未来的方向进一步探索^[49]。肿瘤纯度是HGG微环境的内在特征,也是独立的预后因素。研究WHOIV级患者肿瘤纯度(67.59%)低于Ⅲ级患者(76.00%)($P<0.001$),IDH1突变患者的肿瘤纯度高于IDH1野生型($P=0.006$),提示肿瘤纯度越高,预后相对越好。肿瘤突变负荷(TMB)是评估免疫检查点抑制剂预后和反应的潜在生物标志物之一。基于CNN的模型检测TMB相关特征,在OS预测方面表现出优异的性能,低级别胶质瘤患者可以根据特征进一步分为不同的风险组($P=0.00013$;HR=4.004)^[50]。

空间分辨的基因特征与具有明确基因突变的患者的生存率密切相关。进一步的计算机细胞本体分析以及来自切除的胶质母细胞瘤组织样本的单细胞RNA测序数据表明,这些肿瘤区域具有不同的基因特征,其表达是由区域肿瘤微环境中的不同细胞类型驱动的。发生在IT和CTmvp区域的小胶质细胞/周细胞/单核细胞与肿瘤细胞之间的相互作用起着关键作用,这可能导致患者生存率低^[51]。

2 讨论

首先,目前的公开可用的公共数据库、病理数据集仍然非常有限,绝大多数的早期研究仅基于TCGA数据库开展^[8,24]。然而,TCGA数据库也存在困境和挑战,其数据来自多个不同中心,每个中心的组织切片染色强度、切片质量参差不齐,WSI图像的扫描条件、数字化设备各不相同,从而导致混杂因素和批次效应使预测模型的性能预计产生偏差。同时,单数据库或单中心的研究得到的AI模型,用于模型开发和性能预计的数据缺乏不同来源的数据验证,其性能指标可能会被夸大,因此外部验证对于有意义的性能估计至关重要。近年来,越来越

多的研究使用了多中心的医院独立数据集^[10-11],在一定程度上规避公共数据库的弊端,但其数据的广泛可用性仍受到伦理等因素的限制。病理组学、影像组学和临床信息的多模态数据类型的组合,已被证明在癌症检测和预后方面具有优势。然而,大多数可用的数据集都不完整,缺少一些对应模态数据。基于数据保护的原则,实现数据安全共享、打破数据孤岛现状,需要世界范围内共同努力协作。

其次,目前有两种主要的WSI级分析方法:第一个是根据组织成分的分类、分割来构建特征。这些特征通常是根据我们从已知的病理组学和影像组学诊断标准进行特征注释及模型设计的,例如癌上皮周围淋巴细胞的共定位或结肠样本中腺体的变形。尽管它们在预测和可解释性方面有效,但它们主要依赖于带注释的样本,这些样本通常需要多位专业医生花费大量的时间和精力。此外,众所周知,病理医生对组织样本或其成分的标记方式存在高度不一致。相比之下,目前基于无监督的深度学习模型更侧重于提高特征的判别能力,以端到端的方式直接从图像数据对应到预测结果,而不是在手工特征注释引导下实现通用机制。尽管这些方法取得了可喜的结果,但它们的预测缺乏透明度和可解释性。对于组织结构及其空间关系,可以极大地促进结果的验证和交流,这应该成为未来人工智能模型攻克的关键工作领域,深度学习用于发现此类特征并可靠地分割相关结构。

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 贺琳茜:文章撰写;刘欢:文章修改;章京、张秀明:文章定稿。

参考文献

- [1] WELLER M, WICK W, ALDAPE K, et al. Glioma[J]. Nat Rev Dis Primers, 2015, 1: 15017.
- [2] HAN B F, ZHENG R S, ZENG H M, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2022[J]. J Natl Cancer Cent, 2024, 4(1): 47-53.
- [3] LOUIS D N, PERRY A, REIFENBERGER G, et al. The 2016 World Health Organization classification of tumors of the central nervous system: a summary[J]. Acta Neuropathol, 2016, 131(6): 803-820.
- [4] LOUIS D N, PERRY A, WESSELING P, et al. The 2021 WHO classification of tumors of the central nervous system: a summary[J]. Neuro Oncol, 2021, 23(8): 1231-1251.
- [5] LECUN Y, BENGIO Y, HINTON G. Deep learning [J]. Nature, 2015, 521(7553): 436-444.

- [6] SALTO-TELLEZ M, MAXWELL P, HAMILTON P. Artificial intelligence—the third revolution in pathology [J]. *Histopathology*, 2019, 74(3): 372–376.
- [7] HORBINSKI C, BERGER T, PACKER R J, et al. Clinical implications of the 2021 edition of the WHO classification of central nervous system tumours[J]. *Nat Rev Neurol*, 2022, 18(9): 515–529.
- [8] MOUSAVI H S, MONGA V, RAO G, et al. Automated discrimination of lower and higher grade gliomas based on histopathological image analysis [J]. *J Pathol Inform*, 2015, 6: 15.
- [9] CHEUNG E Y W, WU R W K, LI A S M, et al. AI deployment on GBM diagnosis: a novel approach to analyze histopathological images using image feature-based analysis [J]. *Cancers (Basel)*, 2023, 15(20): 5063.
- [10] JIN L, SUN T Y, LIU X, et al. A multi-center performance assessment for automated histopathological classification and grading of glioma using whole slide images[J]. *iScience*, 2023, 26(11): 108041.
- [11] WANG W W, ZHAO Y S, TENG L H, et al. Neuropathologist-level integrated classification of adult-type diffuse gliomas using deep learning from whole-slide pathological images [J]. *Nat Commun*, 2023, 14(1): 6359.
- [12] BAO G Q, WANG X Y, XU R, et al. PathoFusion: an open-source AI framework for recognition of pathomorphological features and mapping of immunohistochemical data[J]. *Cancers (Basel)*, 2021, 13(4): 617.
- [13] FAUST K, LEE M K, DENT A, et al. Integrating morphologic and molecular histopathological features through whole slide image registration and deep learning [J]. *Neurooncol Adv*, 2022, 4(1): vda001.
- [14] ALZOUBI I, BAO G Q, ZHANG R, et al. An open-source AI framework for the analysis of single cells in whole-slide images with a note on CD276 in glioblastoma[J]. *Cancers (Basel)*, 2022, 14(14): 3441.
- [15] KURC T, BAKAS S, REN X H, et al. Segmentation and classification in digital pathology for glioma research: challenges and deep learning approaches [J]. *Front Neurosci*, 2020, 14: 27.
- [16] Bagari Aditya, Kumar Ashish, Kori Avinash, et al. A combined radio-histological approach for classification of low grade gliomas [J]. 2019;416–427.
- [17] HSU W W, GUO J M, PEI L M, et al. A weakly supervised deep learning-based method for glioma subtype classification using WSI and mpMRIs[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 6111.
- [18] RATHORE S, NIAZI T, IFTIKHAR M A, et al. Glioma grading via analysis of digital pathology images using machine learning[J]. *Cancers (Basel)*, 2020, 12(3): 578.
- [19] NAKAGAKI R, DEBSARKAR S S, KAWANAKA H, et al. Deep learning-based IDH1 gene mutation prediction using histopathological imaging and clinical data [J]. *Comput Biol Med*, 2024, 179: 108902.
- [20] WANG X Y, WANG D Q, YAO Z G, et al. Machine learning models for multiparametric glioma grading with quantitative result interpretations[J]. *Front Neurosci*, 2019, 12: 1046.
- [21] MOHAN G, MONICA SUBASHINI M. Intelligent framework for brain tumor grading using advanced feature analysis [J]. *Comput Meth Biomech Biomed Eng Imag Vis*, 2023, 11(3): 485–503.
- [22] BARKER J, HOOGI A, DEPEURSINGE A, et al. Automated classification of brain tumor type in whole-slide digital pathology images using local representative tiles [J]. *Med Image Anal*, 2016, 30: 60–71.
- [23] PEI L M, JONES K A, SHBOUL Z A, et al. Deep neural network analysis of pathology images with integrated molecular data for enhanced glioma classification and grading [J]. *Front Oncol*, 2021, 11: 668694.
- [24] ERTOSUN M G, RUBIN D L. Automated grading of gliomas using deep learning in digital pathology images: a modular approach with ensemble of convolutional neural networks [J]. *AMIA Annu Symp Proc*, 2015, 2015: 1899–1908.
- [25] IM S, HYEON J, RHA E, et al. Classification of diffuse glioma subtype from clinical-grade pathological images using deep transfer learning[J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21(10): 3500.
- [26] SU F, CHENG Y, CHANG L, et al. Annotation-free glioma grading from pathological images using ensemble deep learning [J]. *Heliyon*, 2023, 9(3): e14654.
- [27] HINRICHS B H, NEWMAN S, APPIN C L, et al. Farewell to GBM-O: genomic and transcriptomic profiling of glioblastoma with oligodendroglioma component reveals distinct molecular subgroups[J]. *Acta Neuropathol Commun*, 2016, 4: 4.
- [28] LIECHTY B, XU Z R, ZHANG Z L, et al. Machine learning can aid in prediction of IDH mutation from H&E-stained histology slides in infiltrating gliomas [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 22623.
- [29] ZHAO Y S, WANG W W, JI Y C, et al. Computational pathology for prediction of isocitrate dehydrogenase gene mutation from whole slide images in adult patients with diffuse glioma[J]. *Am J Pathol*, 2024, 194(5): 747–758.
- [30] LIU S D, SHAH Z, SAV A, et al. Isocitrate dehydrogenase (IDH) status prediction in histopathology images of gliomas using deep learning[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 7733.
- [31] OSTROM Q T, PRICE M, NEFF C, et al. CBTRUS statistical report: primary brain and other central nervous system tumors diagnosed in the United States in 2015–2019[J]. *Neuro Oncol*, 2022, 24(Suppl 5): v1–v95.
- [32] JIANG S, ZANAZZI G J, HASSANPOUR S. Predicting prognosis and IDH mutation status for patients with lower-grade gliomas using whole slide images [J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 16849.
- [33] RATHORE S, IFTIKHAR M A, MOURELATOS Z. Prediction of overall survival and molecular markers in gliomas *via* analysis of digital pathology images using deep learning[EB/OL]. 2019: 1909.09124. <https://arxiv.org/abs/1909.09124v1>.
- [34] KIM G J, LEE T, AHN S, et al. Efficient diagnosis of IDH-mutant gliomas: 1p/19qNET assesses 1p/19q codeletion status

- using weakly-supervised learning[J]. NPJ Precis Oncol, 2023, 7(1): 94.
- [35] HEWITT K J, LÖFFLER C M L, MUTI H S, et al. Direct image to subtype prediction for brain tumors using deep learning [J]. Neurooncol Adv, 2023, 5(1): vdad139.
- [36] HOANG D T, SHULMAN E D, TURAKULOV R, et al. Prediction of DNA methylation-based tumor types from histopathology in central nervous system tumors with deep learning[J]. Nat Med, 2024, 30(7): 1952–1961.
- [37] CARRILLO-PEREZ F, PIZURICA M, ZHENG Y N, et al. Generation of synthetic whole-slide image tiles of tumours from RNA-sequencing data via cascaded diffusion models [J]. Nat Biomed Eng, 2025, 9: 320–332.
- [38] ZHANG X K, ZHAO Z H, WANG R X, et al. A multicenter proof-of-concept study on deep learning-based intraoperative discrimination of primary central nervous system lymphoma[J]. Nat Commun, 2024, 15(1): 3768.
- [39] SHI L T, SHEN L, JIAN J M, et al. Contribution of whole slide imaging-based deep learning in the assessment of intraoperative and postoperative sections in neuropathology [J]. Brain Pathol, 2023, 33(4): e13160.
- [40] MOVAHED-EZAZI M, NASIR-MOIN M, FANG C, et al. Clinical validation of stimulated Raman histology for rapid intraoperative diagnosis of central nervous system tumors [J]. Mod Pathol, 2023, 36(9): 100219.
- [41] REINECKE D, RUESS D, MEISSNER A K, et al. Streamlined intraoperative brain tumor classification and molecular subtyping in stereotactic biopsies using stimulated Raman histology and deep learning [J]. Clin Cancer Res, 2024, 30(17): 3824–3836.
- [42] KONDEPUDI A, PEKMEZCI M, HOU X H, et al. Foundation models for fast, label-free detection of glioma infiltration [J]. Nature, 2025, 637(8045): 439–445.
- [43] FAN L, SOWMYA A, MEIJERING E, et al. Cancer survival prediction from whole slide images with self-supervised learning and slide consistency [J]. IEEE Trans Med Imag, 2022, 42(5): 1401–1412.
- [44] ZADEH SHIRAZI A, FORNACIARI E, BAGHERIAN N S, et al. DeepSurvNet: deep survival convolutional network for brain cancer survival rate classification based on histopathological images[J]. Med Biol Eng Comput, 2020, 58(5): 1031–1045.
- [45] CHEN R J, LU M Y, WANG J W, et al. Pathomic fusion: an integrated framework for fusing histopathology and genomic features for cancer diagnosis and prognosis[J]. IEEE Trans Med Imaging, 2022, 41(4): 757–770.
- [46] ELAZAB N, GAB ALLAH W, ELMOGY M. Computer-aided diagnosis system for grading brain tumor using histopathology images based on color and texture features [J]. BMC Med Imaging, 2024, 24(1): 177.
- [47] YUAN M, DING H L, GUO B W, et al. Image-based subtype classification for glioblastoma using deep learning: prognostic significance and biologic relevance [J]. JCO Clin Cancer Inform, 2024, 8: e2300154.
- [48] ZHOU Q W, YAN X J, GUO Y W, et al. Machine learning algorithms for predicting glioma patient prognosis based on CD163⁺FPR3⁺ macrophage signature [J]. NPJ Precis Oncol, 2024, 8(1): 201.
- [49] LIU X P, JIN X Q, SEYED AHMADIAN S, et al. Clinical significance and molecular annotation of cellular morphometric subtypes in lower-grade gliomas discovered by machine learning [J]. Neuro Oncol, 2023, 25(1): 68–81.
- [50] SUN C X, LUO T, LIU Z Y, et al. Tumor mutation burden-related histopathologic features for predicting overall survival in gliomas using graph deep learning[J]. Am J Pathol, 2023, 193(12): 2111–2121.
- [51] HE Y Q, DUAN L, DONG G H, et al. Computational pathology-based weakly supervised prediction model for MGMT promoter methylation status in glioblastoma [J]. Front Neurol, 2024, 15: 1345687.

引用本文

贺琳茜,刘欢,章京,等.基于病理组学的AI模型助力胶质瘤全流程诊疗决策[J].元宇宙医学,2025,2(1):44–50.

HE L Q, LIU H, ZHANG J, et al. Artificial intelligence in pathomics optimizes end-to-end clinical workflow in glioma [J]. Metaverse Med, 2025, 2(1): 44–50.

DOI:10.61189/772067idazii

· 综述 ·

数字人 GPT 在医学教育领域的应用现状及研究进展

王 源^{1,2}, 余 倩³, 张 敏³, 白春学^{1,2,4}, 宋元林^{1,2,4}, 杨达伟^{1,2,4*}

1. 复旦大学附属中山医院呼吸与危重症医学科, 上海市呼吸病研究所, 上海呼吸物联网医学技术工程研究中心, 上海 200032
2. 国际元宇宙医学联盟, 苏州 215163
3. 复旦大学附属中山医院教育处, 上海 200032
4. 上海心肺疾病人工智能工程技术研究中心, 上海 200032

[摘要] 随着人工智能技术的迅速发展, 数字人 GPT 作为一种基于语言模型的智能系统, 已在医学教育中得到了广泛应用。数字人 GPT 不仅能够辅助医学专业知识的学习和临床技能的训练, 还能通过虚拟病人的模拟为学生提供真实的临床体验。尽管面临技术性和伦理性的挑战, 但数字人 GPT 的个性化教学和互动性无疑为医学教育带来了创新性改变。本文通过综述现有文献, 探讨了数字人 GPT 在医学教育领域的应用现状、技术进展、研究成果以及面临的挑战, 并对数字人 GPT 在医学教育中的未来发展方向进行展望。

[关键词] 数字人 GPT; 医学教育

[中图分类号] R-0 **[文献标志码]** A

Current situation and research progress of digital human GPT in medical education

WANG Yuan^{1,2}, YU Qing³, ZHANG Min³, BAI Chunxue^{1,2,4}, SONG Yuanlin^{1,2,4}, YANG Dawei^{1,2,4*}

1. Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai Respiratory Research Institute, Shanghai Engineer & Technology Research Center of Internet of Things for Respiratory Medicine, Shanghai 200032, China
2. International Alliance of Metaverse in Medicine, Suzhou 215163, Jiangsu, China
3. Department of Education, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China
4. Shanghai Engineering Research for AI Technology for Cardiopulmonary Diseases, Shanghai 200032, China

[Abstract] With the rapid development of artificial intelligence technology, digital humans based on language models, such as GPT, have been widely applied in medical education. Digital human GPTs not only assist in learning medical knowledge and training clinical skills but also provide students with real clinical experiences through virtual patient simulations. Despite technical and ethical challenges, the personalized teaching and interactivity of digital human GPTs undoubtedly bring innovative changes to medical education. This article reviews the current literature to explore the application status, technological advancements, research findings, and challenges faced by digital human GPTs in the field of medical education, and looks forward to the future development directions of digital human GPTs in medical education.

[Key Words] digital human GPT; medicine education

[收稿日期] 2025-03-18

[接受日期] 2025-03-29

[基金项目] 癌症、心脑血管、呼吸和代谢性疾病防治研究国家科技重大专项(2024ZD0529300), 国家自然科学基金(82170110), 上海市白玉兰人才计划浦江项目(20PJ1402400), 上海高校市级重点课程(FDSHZD202409), 上海市健康科普人才能力提升专项(JKKPYC-2023-A20), 上海工程技术研究中心建设(20DZ2254400), 上海市“科技创新行动计划”(21DZ2200600), 上海市肺部炎症与损伤重点实验室(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). Supported by Major Project—Research on Cancer, Cardiovascular, Respiratory and Metabolic Diseases (2024ZD0529300), National Natural Science Foundation of China (82170110), Shanghai Magnolia Talent Plan Pujiang Project (20PJ1402400), Shanghai Municipal Key Courses (FDSHZD202409), Project of Promoting Ability of Medical Science Popularization for Young Talents in Shanghai (JKKPYC-2023-A20), Establishment of Shanghai Engineering Technology Research Center (20DZ2254400), Shanghai Science and Technology Innovation Action Plan (21DZ2200600), Shanghai Key Laboratory of Lung Inflammation and Injury (20DZ2261200), Shanghai Municipal Science and Technology Major Project (ZD2021CY001), and Shanghai Municipal Key Clinical Specialty (shslczdk02201).

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

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

医学教育是一项高度专业化且复杂的任务,涵盖了从基础医学到临床实践的多个层面。随着科技的进步,尤其是人工智能(artificial intelligence, AI)和大数据技术的发展,医学教育模式正面临着变革。数字化工具,尤其是自然语言处理模型和虚拟数字人技术,为医学教育提供了全新的教学方式^[1]。数字人 GPT 是一种基于 GPT 架构的 AI 语言模型,通过大规模文本数据的训练,具备了生成与理解自然语言的能力^[2]。数字人 GPT 不仅可以作为一个虚拟导师提供医学知识的讲解,还能模拟临床场景,参与患者沟通,甚至评估学生的临床决策和诊断能力。本文旨在探讨数字人 GPT 在医学教育中的应用现状、研究进展、存在的挑战以及未来的发展方向。

1 数字人 GPT 技术概述

1.1 GPT 技术概述 GPT 是由 OpenAI 开发的一系列大型语言模型,采用了深度学习中的变换器(Transformer)架构^[3]。该技术通过大规模的文本数据训练,使得模型在语言理解和生成方面展现出卓越的能力。GPT 的成功源于其能够捕捉并生成高度复杂的语言结构,并在对话系统、自动翻译、文本生成等领域取得了显著的成果^[4]。

1.2 数字人 GPT 的构成与作用 数字人 GPT 基于这一技术框架,能够通过自然语言与用户进行交互,模拟真实的对话场景。这一特点使其在教育、医疗等领域具备广泛的应用潜力,特别是在医学教育中,数字人 GPT 通过与学生交互,提供定制化的学习体验,既能传授知识,又能进行技能训练^[5]。

2 数字人 GPT 在医学教育中的应用

数字人 GPT 结合了虚拟人技术和 AI 语言模型,通过语音、文字或视觉与学生进行互动。其核心功能是通过智能语言生成和理解能力,模拟医学教育中的各种教学情境^[6]。此外,数字人 GPT 还可以在伦理教育、决策训练等方面提供帮助(表 1)。

2.1 医学知识传授 与传统的教育方式不同,数字人 GPT 能够根据医学课程大纲和学生的需求,动态地调整讲解内容的深度与广度,帮助学生在自己的学习进程中掌握医学理论知识,传授个性化知识。例如,学生可以与数字人 GPT 进行互动式学习,提出问题或进行专题讨论,系统将实时回答并根据学生的理解情况调整讲解^[7]。这种互动式的学习方式不仅增加了学生的学习动力,还通过即时反馈帮助学生及时纠正知识盲点。此外,数字人 GPT 能够提

供无间断的学习支持,使得学生在非课堂时间仍然可以继续学习和复习课程内容。

2.2 临床技能训练 临床技能的培养是医学教育的核心内容之一。传统的临床技能训练主要依赖于真实或模拟患者,多受限于资源、时间和场地等因素。数字人 GPT 突破传统限制,模拟各种临床场景,开展诊断和决策训练。通过这种模拟训练,学生可以在安全的环境中学习如何处理不同的临床问题,如诊断疑难病例、评估病情变化、制定治疗方案等^[8]。数字人 GPT 不仅能够根据学生的表现进行即时反馈,还能根据学生的错误或不足之处提供额外的教学内容,提高学生临床决策能力。

2.3 沟通与伦理教育 医学教育不仅包括医学知识和技能学习,还涉及医患沟通、伦理决策等软技能的培养。数字人 GPT 可以模拟各种复杂的医患沟通情境,帮助学生练习如何与患者进行有效沟通,特别是在压力较大的环境下,如传达恶性疾病诊断、与患者家属讨论治疗方案等^[9]。通过虚拟对话,学生能够在不伤害患者的情况下,进行多次练习,从而提高自己的沟通技巧。此外,数字人 GPT 还可以模拟医学伦理情境,如患者隐私保护、知情同意、道德困境等。通过反复训练,学生能够更好地理解和应对实际工作中的伦理挑战^[10]。

2.4 远程教育与在线学习 目前,医学教育逐渐转为线上和远程学习。数字人 GPT 为远程教育提供了一种创新的解决方案^[11]。学生通过在线平台与数字人 GPT 互动,完成课件学习、技能训练和知识测验等任务。数字人 GPT 的实时反馈和个性化教学,使得远程医学教育不再局限于传统的课程录播和单向教学,而是朝着更加互动化和定制化的方向发展。

3 数字人 GPT 在医学教育中的研究进展

近年来,全球各地的研究人员对数字人 GPT 在医学教育中的应用进行了大量研究。在国外,多个医学教育机构和研究团队已开始探索利用 GPT 模型进行临床技能培训、医患沟通训练等。例如,哈佛大学医学院与麻省理工学院合作开发的“虚拟患者”项目,利用 AI 技术创建虚拟患者,通过模拟患者互动,帮助医学生进行临床实践训练^[12]。在国内,许多高校也开始引入数字人 GPT 技术。清华大学、北京大学等纷纷使用 AI 辅助医学教学,有效提高了医学生的学习兴趣 and 临床技能。

3.1 临床模拟与虚拟患者 数字人 GPT 技术在临床模拟中的应用,尤其是虚拟患者模拟,是其重要的

应用领域之一。虚拟患者通过自然语言交互使学生获得真实临床体验,从而提升其临床诊断和治疗能力。与传统的标准化病人(SP)相比,虚拟患者可以提供更加丰富和灵活的学习情境,不受时间和空间的限制,且可以模拟多种病情、不同的患者反

应等^[13]。一些研究^[14]还探讨了虚拟患者与学生互动的效果评估,结果表明,数字人 GPT 能有效提升学生的诊断准确性、决策能力以及与患者沟通的技巧。

表 1 数字人 GPT 在医学教育领域的应用

应用领域	具体应用	优势
知识学习	提供即时、准确的医学知识解答,帮助学生理解复杂概念。	无间断在线支持,快速响应,减少学习障碍。
临床技能训练	模拟临床场景、患者对话,训练问诊、诊断和沟通能力。	安全、可重复练习,无风险,提升实践能力。
病例分析	提供真实或虚拟病例,帮助学生分析病情、制定治疗方案。	增强临床思维,提供多样化的病例资源。
文献阅读	帮助学生解读复杂医学文献,提炼关键信息。	提高文献阅读效率,辅助理解专业术语和研究方法。
考试准备	提供模拟考试题目,解析答案,帮助学生复习。	个性化复习,针对性强化薄弱环节。
写作指导	辅助撰写论文,提供语法、结构和内容建议。	提高写作质量,减少错误,提升学术表达能力。
多语言支持	提供多语言翻译和学习支持,支持跨语言学习。	打破语言障碍,促进全球医学教育资源共享。
个性化学习路径	根据学生的学习进度和需求,推荐个性化学习资源和计划。	提高学习效率,满足不同学生的学习需求。
伦理教育	提供医学伦理案例分析,帮助学生理解伦理决策过程。	增强伦理意识,培养批判性思维。
远程教学支持	在远程教学中充当助教,解答学生问题,提供学习资源。	弥补远程教学的互动不足,提升学习体验。
医学研究辅助	提供研究思路、数据分析建议,辅助文献综述和实验设计。	加速研究进程,提高研究质量。
患者教育	模拟患者教育场景,训练学生如何向患者解释病情和治疗方案。	提高沟通能力,增强患者信任感。
跨学科知识整合	帮助整合医学与其他学科(如生物信息学、公共卫生)的知识,促进跨学科学习。	拓宽知识面,培养综合思维能力。
医学史与文化教育	提供医学史和文化背景知识,帮助学生理解医学发展脉络。	增强人文素养,培养全面医学视角。
辅助图像分析	辅助解读医学影像(如 X 光、MRI),提供初步诊断建议。	提高影像分析能力,辅助诊断训练。
团队协作训练	模拟多学科团队协作场景,训练学生在团队中的角色扮演和沟通能力。	提升团队协作能力,增强临床实践中的合作意识。
医学创新思维培养	提供创新案例和思维训练,激发学生的医学创新意识。	培养创新思维,推动医学技术进步。
心理健康支持	提供心理健康知识,辅助学生应对学习压力和职业倦怠。	促进学生心理健康,提高学习效率。
职业规划指导	提供医学职业发展建议,辅助规划职业路径。	明确职业目标,增强职业竞争力。

MRI:磁共振成像。

3.2 交互式教学与个性化学习 交互式教学是数字人 GPT 的一大优势,它可以根据学生的学习进度和反馈进行动态调整。例如,当学生在某个知识点上出现理解困难时,数字人 GPT 可以重新调整讲解的难度和方式,提供更加深入的解释或举例,直到学

生掌握为止。这种个性化的学习模式使得每个学生都能以自己的节奏和方式进行学习^[15]。交互式教学不仅能提高学生的知识掌握率,还能增强学习主动性和参与感。在医学教育中,这种教学模式尤为重要,因为医学知识复杂且快速更

新,传统的教学方法难以满足个体化的学习需求。

3.3 效果评估 尽管数字人GPT在医学教育中展现了巨大的潜力,但如何评估其教学效果仍然是一个重要的研究问题。通过定量和定性相结合的方式,研究者^[16]已开展了对数字人GPT教学效果的评估工作。通过比较学生的考试成绩、临床技能测试、反馈调查等发现,数字人GPT的教学效果与传统教学方法相比,具有较好的学习效果和学习体验^[17]。

4 数字人GPT在医学教育中的挑战

4.1 技术与伦理挑战 尽管数字人GPT在医学教育中展现了巨大的应用潜力,但其带来的技术与伦理问题也不可忽视^[9]。首先,数字人GPT所依赖的数据来源、训练算法等问题可能导致知识偏差或错误,影响教学质量。此外,如何确保患者隐私与数据安全,避免技术被滥用,也是必须面对的伦理挑战^[18]。

4.2 公众认可度 虽然AI在医学教育中的潜力巨大,但教师和学生对这一新兴技术的接受度仍然是一个重要因素。许多传统的医学教育工作者对AI的应用持保留态度,担心其可能代替教师的角色^[19]。对于学生而言,如何适应数字人GPT的教学方式,也是一个需要解决的问题。

4.3 内容质量和精准度 医学是一门高度精确的学科,任何细微的错误或不准确的信息都可能影响学生的学习成果^[20]。数字人GPT需要持续更新其医学知识库,并通过验证确保其内容的准确性。此外,如何确保GPT模型在医学知识传授中避免出现误导或错误信息,也是亟待解决的问题^[21]。

5 数字人GPT技术的优化和改进策略

随着AI技术的不断发展,数字人GPT在医学教育中的应用将逐步深入。未来,数字人GPT将不仅限于辅助教学,还可能在个性化医疗、患者教育、远程医疗等领域发挥更大作用。跨学科的合作与创新,将进一步推动数字人GPT技术的进步,从而为医学教育注入更多的创新和活力^[22]。

为了强化数字人GPT在医学教育中的优势,可以从多个方面进行优化和改进。首先,在知识库的深度与广度方面,可以通过定期更新医学数据库,整合最新研究成果、临床指南和医学文献,确保提供的信息与时俱进,增强权威性和实用性。同时,增加跨学科知识(如生物信息学、公共卫生学、医学伦理学等)的支持,帮助学生建立更全面的医学视

角,适应现代医学的多学科融合趋势。此外,强化多语言翻译和本地化能力,支持非母语学生使用,扩大适用范围,促进全球医学教育资源共享。

其次,在增强互动性与个性化方面,可以根据学生的学习进度、兴趣和薄弱点,动态推荐学习资源和练习题目,提高学习效率,满足不同学生的个性化需求。同时,提供实时反馈,包括知识掌握情况、学习建议和改进方向,帮助学生及时调整学习策略,提升学习效果。此外,开发更逼真的虚拟患者系统,支持问诊、诊断和治疗方案的模拟训练,增强临床技能训练的真实感和实用性。

在强化实践能力培养方面,可以通过增加多样化的真实病例和虚拟病例,涵盖常见病、罕见病和复杂病例,帮助学生积累临床经验,提升诊断和治疗能力。同时,整合医学影像识别技术,辅助学生解读X光、CT、MRI等影像资料,提高影像分析能力,辅助临床诊断训练。此外,开发手术模拟功能,支持学生练习手术步骤和操作技巧,能够增强外科实践能力,降低真实手术中的风险。

在提升用户体验方面,可以通过设计更直观、操作简便的用户界面,支持语音输入和自然语言交互,提高使用便捷性,降低学习门槛。同时,支持手机、平板、电脑等多种终端使用,满足学生随时随地学习的需求。此外,增加情感识别和反馈功能,提供更人性化的互动体验,增强用户粘性,提升学习兴趣。

在加强与其他教学模式的融合方面,数字人GPT可以作为床旁教学的辅助工具,提供实时知识支持和病例分析,弥补教师资源不足的问题,提升教学效率。同时,在PBL教学中提供问题背景知识、文献支持和讨论引导,增强PBL教学的深度和广度,提高问题解决效率。此外,作为远程教育的核心工具,数字人GPT可以提供课程讲解、答疑和考试支持,能够解决远程教育中互动不足的问题,提升学习效果(表2)。

在数据驱动与智能化方面,可以通过收集和分析学生的学习数据,生成学习报告和改进建议,帮助学生和教师了解学习进展,优化教学策略。同时,基于学生的学习行为,推荐适合的学习资源,提高学习效率,实现精准教学。此外,预测学生的学习难点和考试表现,提前提供针对性辅导,帮助学生提前解决问题,提升学习效果。

最后,在伦理与安全性保障方面,可以采用加密技术和隐私保护机制,确保学生数据的安全性和隐私性,增强用户信任,符合伦理和法律要求。同

时,建立医学内容审核机制,确保提供的信息准确、可靠,避免误导学生,保障教学质量。此外,提供医学伦理案例分析和决策支持,帮助学生理解伦理问题,增强学生的伦理意识,培养责任感。

表 2 床旁教学、PBL 教学与数字人 GPT 在医学教育中的区别

对比内容	床旁教学	PBL 教学	数字人 GPT
教学形式	学生可直接接触真实患者,教师现场指导。	以小组讨论为主,围绕真实或模拟的医学问题展开学习。	通过 AI 技术,提供虚拟互动和即时反馈,支持在线学习。
学习场景	病房、门诊等临床环境。	教室或在线平台,以小组讨论和问题解决为核心。	在线平台,学生可随时随地访问。
教师角色	主导教学,提供临床经验和实时指导。	引导者和助教,帮助学生自主探索问题。	无实体教师,GPT 作为虚拟助手提供知识支持和反馈。
学生角色	观察者、参与者,直接接触患者和实践。	主动学习者,通过讨论和协作解决问题。	自主学习者,与 GPT 互动获取知识和指导。
教学内容	以临床实践为主,包括病史采集、体格检查、诊断和治疗等。	以问题为导向,涵盖医学知识、临床推理和团队协作。	涵盖广泛的医学知识,包括理论、病例分析、文献解读等。
互动性	高,学生与患者、教师直接互动。	高,学生之间、学生与教师之间互动频繁。	中,学生与 GPT 互动,但缺乏人际互动。
实践性	高,学生直接参与临床实践。	中,通过模拟病例和问题解决培养实践能力。	低,主要通过虚拟互动和案例分析培养思维能力。
个性化学习	有限,教学内容以患者和临床需求为主。	较高,学生可根据兴趣和需求选择问题方向。	高,GPT 可提供个性化学习资源和反馈。
资源需求	需要临床环境、患者资源和教师时间。	需要教师引导、小组讨论空间和问题设计。	需要技术支持和稳定的网络环境。
学习效率	高,学生直接接触真实病例,直观学习。	中,通过讨论和协作学习,但可能耗时较长。	高,即时反馈和高效知识传递,但缺乏实践体验。
适用阶段	适用于临床实习和住院医师培训阶段。	适用于医学基础教育和临床前期教育。	适用于各阶段,尤其是理论学习、复习和远程教育。
优势	真实临床体验,培养实践能力和职业素养。	培养批判性思维、团队协作和自主学习能力。	高效、便捷,支持个性化学习和即时反馈。
局限性	依赖临床资源和教师时间,学生参与度可能不均。	需要精心设计问题和教师引导,可能偏离学习目标。	缺乏真实临床体验和人际互动,依赖技术。
典型案例	学生在病房观察教师问诊,并尝试独立采集病史。	学生小组讨论“1 例胸痛患者的诊断和治疗方案”。	学生向 GPT 询问“心肌梗死的病理机制”,GPT 提供详细解释和相关病例分析。

PBL:基于问题的学习;AI:人工智能。

通过以上优化措施,数字人 GPT 在医学教育中的优势可以得到显著强化。它不仅能够提供更全面、权威的医学知识,还能满足学生个性化需求,增强学习体验。通过虚拟患者、病例库和手术模拟,学生的临床技能将得到有效提升。优化界面和功能后,使用便捷性将大大提高。与床旁教学、PBL 教学和远程教育的有机结合,将进一步推动教学模式的创新。通过数据分析实现精准教学,保障数据隐私和内容可靠性,数字人 GPT 将成为医学教育中不可或缺的智能助手,推动医学教育的创新与发展。

6 结 论

数字人 GPT 在医学教育中已经展示出了巨大的潜力,尤其在临床技能训练、医学知识传授、医患沟通等方面具有广泛的应用前景。尽管目前存在诸多挑战,如公众认可度、内容质量和精确度等方面,但随着技术的不断进步,数字人 GPT 将在医学教育中扮演越来越重要的角色。通过不断优化其功能,结合个性化学习需求,数字人 GPT 有望为医学教育带来深刻的变革。

伦理声明 无。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献 王源、余情、张敏、白春学、宋元林:修改文稿;杨达伟:选题、撰写、修改文稿。

参考文献

- [1] XIAO H G, ZHOU F Z, LIU X Y, et al. A comprehensive survey of large language models and multimodal large language models in medicine[J]. *Inf Fusion*, 2025, 117: 102888.
- [2] ABDULLAH Y I, SCHUMAN J S, SHABSIGH R, et al. Ethics of artificial intelligence in medicine and ophthalmology[J]. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*, 2021, 10(3): 289–298.
- [3] DEVLIN J, CHANG M W, LEE K, et al. BERT: pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding [C]// *Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long and Short Papers)*. Minneapolis, Minnesota: Association for Computational Linguistics, 2019: 4171–4186.
- [4] VASWANI A, SHAZEER N, PARMAR N, et al. Attention Is All You Need [C]// *NIPS' 17: Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems*. 2017: 6000–6010.
- [5] KUNG T H, CHEATHAM M, MEDENILLA A, et al. Performance of ChatGPT on USMLE: potential for AI-assisted medical education using large language models[J]. *PLoS Digit Health*, 2023, 2(2): e0000198.
- [6] LEE J, KIM H, KRON F. Virtual education strategies in the context of sustainable health care and medical education: a topic modelling analysis of four decades of research[J]. *Med Educ*, 2024, 58(1): 47–62.
- [7] DOMRÖS-ZOUNGRANA D, RAJAEEN N, BOIE S, et al. Medical education: considerations for a successful integration of learning with and learning about AI [J]. *J Med Educ Curric Dev*, 2024, 11: 23821205241284719.
- [8] COOK D A. Creating virtual patients using large language models: scalable, global, and low cost[J]. *Med Teach*, 2025, 47(1): 40–42.
- [9] JOBIN A, IENCA M, VAYENA E. The global landscape of AI ethics guidelines[J]. *Nat Mach Intell*, 2019, 1(9): 389–399.
- [10] KATZNELSON G, GERKE S. The need for health AI ethics in medical school education [J]. *Adv Health Sci Educ Theory Pract*, 2021, 26(4): 1447–1458.
- [11] GHIRITI A, GÖDERLE W, KERN R. Exploring the capabilities of GPT4-vision as OCR engine[M]// *Linking Theory and Practice of Digital Libraries*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024: 3–12.
- [12] ISSA W B, SHORBAGI A, AL-SHARMAN A, et al. Shaping the future: perspectives on the integration of artificial intelligence in health profession education: a multi-country survey[J]. *BMC Med Educ*, 2024, 24(1): 1166.
- [13] ORRÛ G, PIARULLI A, CONVERSANO C, et al. Human-like problem-solving abilities in large language models using ChatGPT[J]. *Front Artif Intell*, 2023, 6: 1199350.
- [14] SNOGREN M, EK K, BROWALL M, et al. Impacts on oral health attitude and knowledge after completing a digital training module among Swedish healthcare professionals working with older adults[J]. *BMC Health Serv Res*, 2024, 24(1): 174.
- [15] NAGI F, SALIH R, ALZUBAIDI M, et al. Applications of artificial intelligence (AI) in medical education: a scoping review[J]. *Stud Health Technol Inform*, 2023, 305: 648–651.
- [16] WÓJCIK S, RULKIEWICZ A, PRUSZCZYK P, et al. Reshaping medical education: performance of ChatGPT on a PES medical examination [J]. *Cardiol J*, 2024, 31(3): 442–450.
- [17] LONG O Y, WU J, XU J, et al. , Training language models to follow instructions with human feedback [C]// *NIPS' 22: Proceedings of the 36th International Conference on Neural Information Processing Systems*. 2022: 27730–27744.
- [18] MITTELSTADT B. Principles alone cannot guarantee ethical AI [J]. *Nat Mach Intell*, 2019, 1(11): 501–507.
- [19] MOULIN T C. Learning with AI language models: guidelines for the development and scoring of medical questions for higher education[J]. *J Med Syst*, 2024, 48(1): 45.
- [20] WIGGINS W F, TEJANI A S. On the opportunities and risks of foundation models for natural language processing in radiology [J]. *Radiol Artif Intell*, 2022, 4(4): e220119.
- [21] MEKKI Y M, SIMON L V, FREEMAN W D, et al. Medical education metaverses (MedEd metaverses): opportunities, use case, and guidelines[J]. *Computer*, 2025, 58(3): 60–70.
- [22] TIAN S, JIN Q, YEGANOVA L, et al. Opportunities and challenges for ChatGPT and large language models in biomedicine and health [J]. *Brief Bioinform*, 2023, 25(1): bbad493.

引用本文

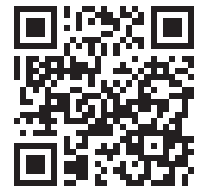
王 源,余 情,张 敏,等.数字人GPT在医学教育领域的应用现状及研究进展[J]. *元宇宙医学*,2025,2(1):51–56.

WANG Y, YU Q, ZHANG M, et al. Current situation and research progress of digital human GPT in medical education [J]. *Metaverse Med*, 2025, 2(1): 51–56.

DOI:10.61189/117222wmzjug

· 伦理与法规 ·

人工智能医学应用中的技术路径与法律边界—— 以强化学习与蒸馏技术为视角

卢叶婷^{1*}, 杨宇平²

1. 上海小度律师事务所, 上海 200135

2. 香港城市大学, 香港特别行政区 999077

[摘要] 本文探讨了先进人工智能技术在医学领域的应用, 特别关注强化学习与蒸馏技术的创新应用及应用中需注意的法律合规问题。以最新的大型语言模型(LLM)技术结合强化学习和蒸馏技术发展为例, 分析了AI技术知识产权边界、医疗数据使用合规性以及医疗AI监管框架的关键问题。文章讨论了如何在推进医疗AI创新的同时, 确保患者权益保护和医疗伦理规范遵守, 为医疗AI的健康发展提供了理论参考。

[关键词] 强化学习; 蒸馏技术; 人工智能; 医学GPT

[中图分类号] R-0 **[文献标志码]** A

Technical path and legal boundary in the medical application of artificial intelligence: from the perspective of reinforcement learning and distillation technology

LU Yeting^{1*}, YANG Yuping²

1. Shanghai ShallDo Law Firm, Shanghai 200135, China

2. City University of Hong Kong, Hong Kong Special Administrative Region 999077, China

[Abstract] This paper discusses the application of advanced artificial intelligence technology in the field of medicine, with special attention to the innovative application of reinforcement learning and distillation technology and the legal compliance issues that need attention in the application. Using the latest large language model (LLM) technology combined with reinforcement learning and distillation technology developments as examples, the key issues of AI technology intellectual property boundaries, healthcare data use compliance, and healthcare AI regulatory framework are analyzed. This paper discusses how to promote the innovation of medical AI while ensuring the protection of patients' rights and interests and compliance with medical ethics, and provides a theoretical reference for the healthy development of medical AI.

[Key Words] reinforcement learning; distillation; artificial intelligence; medical GPT

1 技术突破与法律边界之争

人工智能在医疗领域的应用正迅速扩展, 特别是以大型语言模型(LLM)为代表的生成式AI技术展现出巨大潜力。中国AI公司DeepSeek(深度求索)通过创新使用强化学习技术, 发布了一款出乎意料的高效且廉价的LLM并使用蒸馏技术(Distillation)使得蒸馏后的小模型(如Qwen、Llama系列)性能显著优于同类模型(如7B模型超越GPT-4o)。但近日, OpenAI公开表示他们注意到并正在审查DeepSeek可能不当地蒸馏他们模型或数据的迹象。然而, OpenAI自身也曾因不当获取未经授权的内容来构建ChatGPT而受到指控。

这些技术突破在为医疗领域带来巨大机遇的同时, 也引发了诸多法律和伦理问题, 尤其是在知识产权和数据合规方面。首先, 关于AI技术的知识产权边界日益模糊。例如, 用于训练这些高性能医疗AI模型的庞大数据集, 其版权归属复杂, 未经授权的使用可能引发侵权风险。以LLM为例, 其训练数据可能来源于各种渠道, 包括受版权保护的医学文献、临床记录等。如何界定这些数据的合理使用范围, 以及在医疗AI模型训练中是否需要获得相应的授权, 是亟待解决的法律问题。其次, 医疗数据的合规使用是医疗AI应用的关键法律挑战。医疗数据的敏感性和隐私性要求极高, 各国都出台了严格的数据保护法规。例如, 欧盟的《通用数据保护

[收稿日期] 2025-03-19

[接受日期] 2025-03-28

[作者简介] 卢叶婷.

* 通信作者 (Corresponding author). Tel: 021-61187158, E-mail: luyeting@shalldolaw.com

条例》(GDPR)、美国《健康保险流通与责任法案》(HIPAA),中国的《中华人民共和国网络安全法》《中华人民共和国数据安全法》以及《个人信息保护法》等法律法规也对个人信息和敏感个人信息的处理进行了详细规定。医疗AI的开发和应用必须严格遵守这些法规,例如在数据使用前获得患者的充分知情同意,采取有效的匿名化和去标识化措施,确保数据安全,并满足跨境数据传输的合规要求。

因此,本文将以最新的大型语言模型技术结合强化学习和蒸馏技术在医学领域的发展为例,深入分析强化学习和知识蒸馏技术在医学领域的应用前景、挑战及合规路径,促进医疗AI的健康发展。

2 强化学习与知识蒸馏技术的基本原理与创新应用

强化学习通过奖励和惩罚机制训练智能体(Agent),使其在复杂环境中不断优化决策,目标是最大化长期回报。蒸馏技术将大型复杂模型(教师模型)的知识迁移到计算资源更为高效的小模型

(学生模型)中,从而降低计算成本并提高模型的执行效率。这两种方法通常结合使用,共同提升学生模型的性能,特别是在资源受限的应用场景中,如医疗AI领域。

2.1 强化学习与知识蒸馏的技术原理 强化学习(reinforcement learning, RL)是指基于智能体(agent)通过与环境(environment)交互,基于奖励(reward)信号优化策略(policy),以最大化长期回报。智能体通过感知环境并执行动作,环境根据动作反馈奖励或惩罚,智能体依此更新策略(图1)。

强化学习的算法可以分为基于模型的强化学习(model-based RL)和无模型的强化学习(model-free RL),形成多层次的方法体系。无模型的强化学习又分为基于价值的强化学习(value-based RL)和基于策略的强化学习(policy-based RL)。在大型语言模型领域,基于策略的方法(如PPO算法)因其稳定性和可扩展性而被广泛采用(图2)。

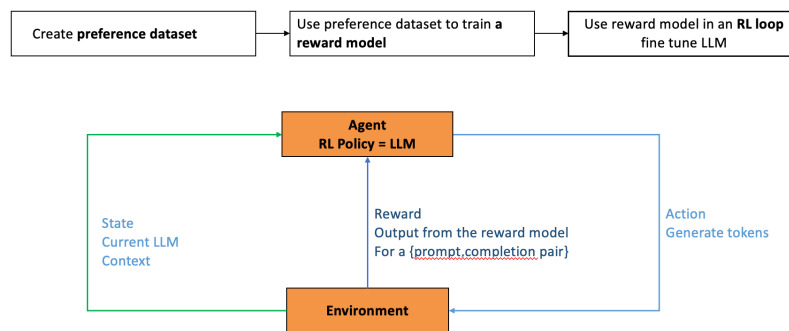


图1 强化学习流程示意图

RL:强化学习;LLM:大型语言模型。

在大模型训练实践中,蒸馏技术(Distillation)通过教师模型生成数据指导学生模型训练(如监督微调/SFT)。这类技术不仅限于传统软标签(Soft Labels)形式,还包括使用教师模型输出作为训练数据或辅助信号。这一技术使小型模型能够学习大型模型的决策能力,同时保持计算效率,为医疗等资源受限场景提供了可行解决方案。

2.2 Deepseek 模型的技术创新 以Deepseek为例,DeepSeek-R1综合采用了强化学习和蒸馏技术等关键技术,实现了模型能力的突破性提升:(1)基于基座模型应用强化学习。训练流程首先基于基座模型(Base Model)直接应用强化学习,形成DeepSeek-R1-Zero,以探索模型在无监督微调(SFT)条件下自主进化推理能力的潜力。在RL训练过程中,涉及

数据使用的主要环节在于创建偏好数据集(Preference Dataset)、奖励模型(Reward Model)和RL loop过程中的策略优化来提升模型性能(图3)。(2)蒸馏技术。Deepseek则通过蒸馏(Distillation)技术,将DeepSeek-R1的推理能力迁移至更轻量级的学生模型,使其在数学、编程和逻辑推理等任务上取得了显著进展(图4)。在AIME上,与OpenAI-o1-0912的性能相当,复刻OpenAI-o1的模型能力^[20]。

这种技术路径不仅降低了计算资源需求,还为医疗AI的轻量化部署提供了可能,使先进AI能力在资源受限的医疗环境(如基层医院或便携医疗设备)中得到应用。

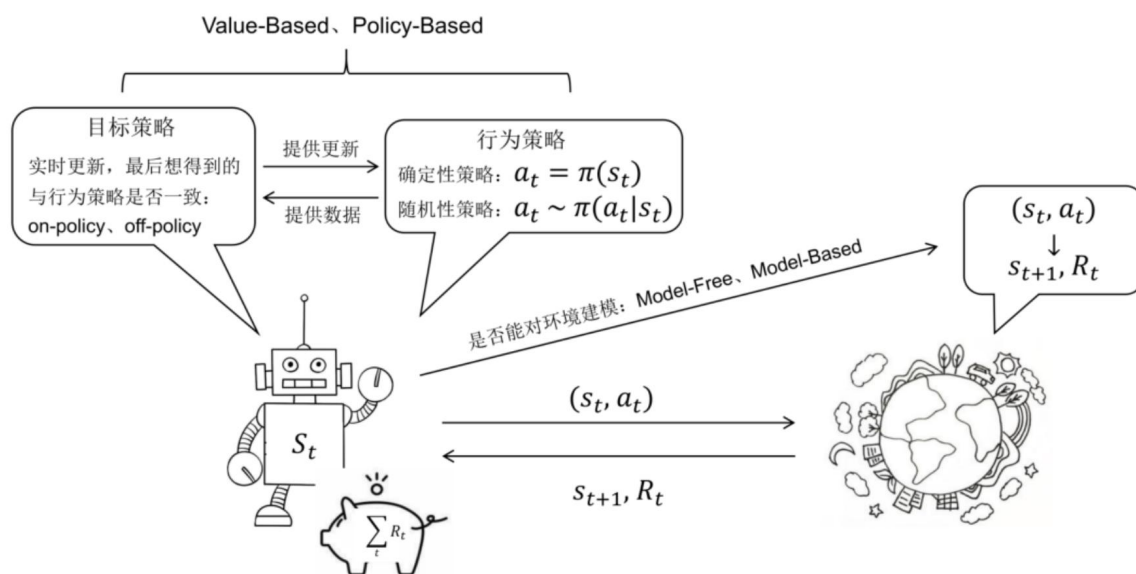
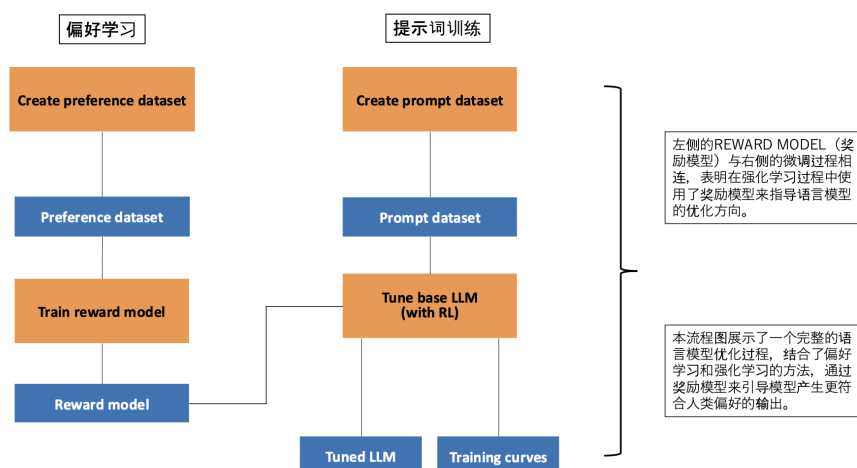
图2 无模型的强化学习^[1]

图3 偏好学习和提示词训练结合强化学习(RL)优化语言模型(LLM)的训练过程

3 强化学习和蒸馏技术在医学领域中的应用

3.1 强化学习提高诊断决策 传统深度学习多采用监督学习,而强化学习允许模型通过“试错”和奖励机制不断改进决策策略,特别适合医学诊断这类复杂决策场景。以DeepSeek等大型语言模型为基础,结合强化学习可显著增强医学推理能力。

(1)精确诊断与风险评估:通过引入专家反馈作为“奖励信号”,让模型在反复试验中学会更准确地解读医学影像数据和各类检测指标(如基因表达、血液生化、生命体征等)。(2)优化随访与干预决策:在医疗诊断领域,强化学习可用于优化随访与干预决策流程。以肺癌诊断为例,研究人员将肺癌筛查过程建模为“最优停诊”问题:模型需要在每轮随访后决定是立即进行侵入性检查(如活检)确诊,

还是等待下次影像随访以获取更多信息^[3]。Yu等人^[4]的研究表明,强化学习驱动的决策模型可将不必要的侵入性检查减少12.8%,同时保持诊断准确率不变。(3)个性化治疗方案生成:强化学习算法能够根据患者的病史、基因特征、治疗反应等因素,动态调整和优化治疗方案,实现精准医疗。例如,在糖尿病管理中,强化学习模型可根据患者的血糖波动、饮食、运动等实时数据,提供个性化胰岛素剂量建议,显著改善血糖控制效果。

这些应用表明,强化学习为垂类的医学大模型提供了持续改进诊断决策的机制,有望进一步降低疾病的误诊漏诊率,优化医疗资源分配。

3.2 模型微调与多模态适应 医疗场景的多样性和复杂性要求AI模型具备适应不同数据类型和临床环境的能力。通过知识蒸馏和微调技术,通用大模

型可以高效适应特定医学场景。(1)医学专业知识迁移:利用蒸馏技术,可将复杂高效的通用基座大模型的知识以及决策能力迁移到轻量级的垂类医学模型或将大型医学专家模型的专业知识迁移到轻量级医学模型中,使其在有限计算资源下也能提供专业医学决策支持。(2)多模态医学数据融合:在病理学领域,研究者开发了PathChat等多模态大模型,将预训练的视觉编码器与大型语言模型结合,利用大量病理图像-报告对进行联合微调,以理解和回应与病理学相关的复杂查询。PathChat在多种

组织来源和疾病模型的多选诊断问题上展现出了最先进的性能,并在开放式问题和人类专家评估中表现出色^[5]。(3)本地适应性调整:蒸馏和微调技术使模型能够进行本地化调整。Zhou等^[6]研究提出,通过结合强化学习和微调技术,能够针对不同医院的影像设备差异和种族人群差异进行本地化调整,从而提高模型在特定临床环境下的鲁棒性和准确性。这些技术使AI模型能够在保留通用能力的同时,获得特定医学领域的专业能力,为实现AI辅助医疗的普及奠定基础。



1. 教师模型通过蒸馏技术将其训练过程中生成的输出（如软标签、推理过程等）传递给学生模型，帮助其学习。
2. 在学生模型优化阶段，强化学习帮助学生模型在特定任务上不断调整并优化决策。

图4 强化学习和蒸馏技术结合的训练简化示意图^[2]

4 伦理、法律及合规性考量

4.1 医疗AI的伦理原则与挑战 随着AI深入参与医疗决策,其引发的伦理问题日益受到关注,主要包括。(1)公平性与偏见防控:AI模型可能存在数据偏见问题。如果训练数据主要来自特定人群,模型在其他群体上的诊断准确性上可能下降,导致潜在的不公平诊断。MIT研究人员发现,人工智能模型在预测胸部X光图像中的种族和性别时,最准确的模型也显示出最大的“公平性差距”。这些模型在不同种族或性别的人群中诊断图像的准确性存在差异。研究还发现,这些模型可能在诊断评估中使用“人口统计捷径”,导致女性、黑人和其他群体的错误结果^[7]。(2)透明性与可解释性:医疗AI的决策直接影响患者生命健康,其“黑箱”特性可能导致医患对系统的信任危机,一方面医生无法验证AI诊断

建议的可靠性(如肿瘤良恶性判断),可能引发医疗纠纷。另一方面,欧盟《人工智能法案》及中国《生成式人工智能服务管理办法》均要求高风险医疗AI必须具备可解释性,以符合责任追溯需求^[8]。因此,当AI误诊时,难以界定开发者、医疗机构或算法的责任。(3)自主性与人类监督:虽然AI模型可以提供决策支持,但最终的临床判断应当由医疗专业人员做出。当前医疗AI部署需遵循“有意义的人类控制”(meaningful human control, MHC)原则(IEEE标准7010-2020),其核心要求包括:医生必须能在AI建议的任何阶段介入修正(如调整肿瘤分期判断阈值)和系统需记录医生与AI的交互痕迹(如修改次数、最终决策依据)^[9]。

4.2 强化学习和蒸馏技术的法律风险分析

4.2.1 模型训练引发的法律风险 在实际应用强化学习(RL)时,奖励机制的设计和数据来源是关键因

素。在医疗场景中,如果训练数据存在偏差、噪声或不完整,或者奖励信号设置不当,可能会导致模型学习到错误的策略,甚至对患者造成伤害。此外,强化学习模型通常通过与环境交互不断学习

和改进,如果反馈循环中存在错误或偏差,可能会导致模型性能逐渐下降,甚至产生不可预测的风险。这在法律责任的认定上会变得更加复杂(表1)。

表 1 强化学习奖励机制的法律风险分析

奖励机制	原理	数据来源	法律风险
基于规则判定奖励	奖励信号通过预设规则直接判定,如对输出的格式、逻辑结构或准确性进行评估。	使用标准答案的题目或任务,直接基于格式、结构或准确性评估模型输出。	使用标准答案的题目进行训练可能涉及版权问题,尤其是当这些答案受到版权保护时。
	奖励来自专门训练的奖励模型,依赖于人类反馈或模拟数据,而非生成内容数据。	人类反馈(如问卷、众包平台)或模拟数据(通过其他模型生成的数据)来训练奖励模型。	奖励模型对源数据的依赖性较低,但仍可能涉及生成数据和闭源模型的版权或知识产权问题,尤其是未经授权的闭源数据使用。

医疗领域的强化学习面临额外挑战,因为涉及受保护的病人数据和医学知识。从法律角度看,使用病例数据训练 RL 模型需要确保:(1)数据已去标识化或匿名化处理;(2)获得伦理委员会批准;(3)符合法律规定的数据使用目的限制原则。

4.2.2 数据使用引发的法律风险 构建高性能的医疗 AI 模型,特别是像医学 LLM 这样的复杂系统,需要海量的数据进行训练。这些数据可能包括医学文献、临床记录、影像资料等,其中大部分可能受到版权保护。未经授权地使用这些数据进行模型训练,可能构成对版权所有者的侵权。例如,医学研究论文的版权通常归属于出版社或作者,若未经许可将其用于模型训练,则可能侵犯其复制权和信息

网络传播权。(1)知识产权边界:教师模型的输出数据不仅用于直接训练学生模型,还可能被用于构建 reward model 或数据标注。在开源模型场景下,如基于 Apache 2.0 或 MIT 许可的模型(如 Llama 2),这类使用通常被视为是合规的。然而,使用闭源模型(如专有医学模型或 ChatGPT 系列)的输出数据进行训练,可能违反服务协议或触发知识产权保护条款。(2)中间态模型使用的法律定性:将他人模型作为奖励模型(reward model)或评论模型(critic model)用于辅助训练的行为,其法律性质存在争议。核心问题在于此类使用是否构成对原始模型的“实质性复制”(表2)。

表 2 中间态模型使用过程中的法律问题分析

关键要素	违反法律	条款核心	具体行为与法律条款对应
模型功能专有权益	《著作权法》	保护著作权人对作品的人身权和财产权。	若功能相似性被认定为对模型核心逻辑的“实质性复制”,可能侵犯《著作权法》第 10 条作者对复制权、改编权的权利。
数据与模型商业秘密	《反不正当竞争法》	禁止以不正当手段获取他人商业秘密	若该模型系商业秘密,未经授权使用他人模型输出数据训练自身模型的行为,可能构成反法第 9 条“侵犯商业秘密”。
合同约定权益	《民法典》	违反与原始模型开发者之间的许可协议(如限制用途条款)构成违约行为。	如果企业未遵循与原开发者的合同约定(如模型使用限制或未经授权使用数据),构成《民法典》第 577 条“违约行为”。
技术成果公平竞争权	《反不正当竞争法》	经营者应遵循自愿、平等、公平、诚信原则,禁止不正当手段竞争。	利用他人模型功能提升自身竞争力,则可能被视为违反商业道德及诚实信用原则。

在医疗领域,这一问题更为敏感,因为医学 AI 模型通常包含宝贵的专业知识和临床经验。使用知名医学模型的输出作为训练数据,可能构成对原始开发者知识产权和商业利益的侵害。

4.2.3 数据标注的授权边界 借用他人模型输出的生成数据进行标注与常规的数据标注方法的主要区别在于数据的来源和生成方式。若使用蒸馏技术,借用他人模型输出的生成数据进行标注,意味着依赖一个已有的模型(如教师模型)生成数据标签,这些标签并非直接来源于原始数据,而是通过模型的推理或输出产生的。这种区别引发了数据使用的知识产权边界问题,原因如下。(1)模型输出的知识产权:如果使用他人模型生成的数据进行标注,该数据实际上可能是基于他人模型的算法、架

构和训练数据所产生的结果。虽然模型的输出不一定受版权保护,但其背后涉及的算法和训练方法可能受到版权保护或商业秘密保护。未经授权使用他人模型的输出,可能构成对其知识产权的侵害。(2)授权和使用范围:借用他人模型的输出时,需要确保使用行为在原始授权范围内。如果在未授权情况下或超出授权范围使用,可能侵犯模型提供者的版权或商业秘密。若输出数据涉及商业利益或竞争优势,可能还会引发不正当竞争等法律问题。(3)衍生性使用与复制问题:通过模型生成的数据进行标注,可能会被视为对原始模型的衍生性使用。如果这种使用在实质性上复制了模型的核心功能或获得了不正当的竞争优势,可能会面临法律的规制,特别是在不正当竞争法框架下(表3)。

表 3 数据标注的授权边界

法律问题	适用法律	条款核心	具体行为与法律条款对应
数据标注的授权边界	《著作权法》	确保数据标注行为不超出原模型授权范围,尤其是在闭源模型的情况下。	若企业未经授权使用闭源模型的输出数据进行数据标注,可能触及《著作权法》中的复制权,构成对原模型开发者权益的侵犯。
开源模型的标注行为	《著作权法》 《民法典》	开源模型的授权范围通常较宽。	在模型开源许可证的授权范围内,训练方被允许衍生使用(如 Llama 2 的 Apache 2.0 协议)。但需要关注开源模型的具体许可协议,若超出授权范围,则可能承担违约责任 ^[18, 19] 。
利用闭源模型输出的“搭便车”行为	《反不正当竞争法》	禁止通过不正当手段获取竞争优势,特别是在存在市场竞争关系的情况下。	低成本复用闭源模型输出数据并快速抢占市场份额,可能被认定为“搭便车”行为,违反《反不正当竞争法》第2条(诚信原则),并可能构成第6条的混淆行为。
教师模型输出的竞争影响	《反不正当竞争法》	若未经授权使用教师模型的输出并获得不正当竞争优势,可按不正当竞争行为进行规制。	即使教师模型的输出不受版权保护,若衍生模型通过未经授权的输出数据获得不正当竞争优势,并对教师模型方造成实际损害,可能违反《反不正当竞争法》第2条(诚信原则),并构成第9条侵犯商业秘密行为。

4.3 医疗 AI 模型创新技术的合规分析

强化学习和蒸馏技术涉及复杂的数学模型和计算过程,这些过程往往难以直观理解和追溯。一方面,决策过程高度依赖于训练数据,数据的复杂性和多样性使得算法的行为更加难以解释。另一方面,强化学习中的决策过程是动态的,随着环境变化不断调整,这增加了对算法决策过程的解释难度(表4)^[15-16]。

4.3.1 合规策略 面对上述法律风险,医疗 AI 开发者可采取以下合规策略:(1)知情同意和数据使用边界。医院在部署 DeepSeek 等大模型系统时,应将其作为诊疗流程的一部分向患者披露,取得患者的知情同意。这不仅涉及法律义务,也是对患者自主

权的尊重。同时,模型训练所用的患者数据归属也需明确:通常患者数据由医院托管,第三方 AI 公司在使用时仅获得经过授权的“使用权”,不得将数据挪作他用或商业变现^[14, 16]。(2)透明的授权机制:建立清晰的数据授权机制和模型使用协议,明确指出数据使用范围、目的和期限。特别是在使用开源模型或数据时,应详细审查相关许可证条款,确保遵守所有限制条件^[15]。(3)遵循监管框架:在使用医疗 AI 系统时,必须严格遵守《药品监管人工智能典型应用场景清单》等监管框架和相关法律法规要求。具体而言,如果需要将模型输出用于临床决策,医院应先对模型进行充分验证,确保其性能达到临床应用标准,并建立健全的审核机制,对模型的每次

输出进行严密把关。针对 AI 辅助诊断过程中发生的事责任划分问题,目前尚处于讨论阶段。尽管普遍认为在现行监管体系下, AI 仅作为辅助工具,最终的诊断决策仍由执业医师负责,但随着 AI 系统

自主性不断提升,未来法律可能需要进一步明确厂商、医院与医生在责任认定上的具体界定,以保障患者安全和医疗实践的合法性^[10, 21]。

表 4 算法数据使用和生成的合规性分析^[8]

法律问题	适用法律	法律与技术	具体行为与法律条款对应	备注
技术合规性问题	《著作权法》 《反不正当竞争法》	若学生模型在功能实现层面与教师模型形成实质性近似 (substantial similarity), 可能触发技术成果独创性认定争议。	可能构成《著作权法》第九条规定的演绎作品侵权风险, 或违反《反不正当竞争法》关于技术成果保护条款。	需注意技术实现中的“避风港原则”适用性, 以及是否属于合理使用范畴。
算法透明度问题	《著作权法》 《个人信息保护法》	双重黑箱效应, 导致算法决策路径难以逆向解析。这种技术不可解释性可能形成系统性合规漏洞。	违反《个人信息保护法》第 24 条算法决策解释权要求; 可能触发《消费者权益保护法》第 8 条 (知情权) 和第 20 条 (公平交易)。	Wachter et al. (2017) 算法问责制研究; 欧盟《人工智能法案》中对通用人工智能模型的规定。

4.3.2 三阶段合规审查流程 (1)数据源合规审查: 建立数据谱系追踪系统 (provenance tracking)。区分训练数据来源 (患者授权/公共数据库/合成数据)。(2)训练过程合规控制: 开源模型: 遵守 Apache 2.0 等许可证约束条款。闭源模型: 通过 API 日志审计确保合规使用。(3)模型部署合规验证: 执行《医疗器械软件注册审查指导原则》全生命周期测试。嵌入可解释性模块 (如 LIME 解释器) 满足临床透明性要求^[11]。

在引入 DeepSeek 等 AI 时, 必须严格遵循医疗伦理准则和法律规范, 通过制定明确的合规审查流程来约束 AI 的使用, 保护患者权益和隐私。在强调技术创新的同时, 确保“以人为本”的价值不被忽视。

4.3.3 基于区块链技术的医疗 AI 合规架构 针对医疗 AI, 特别是涉及强化学习的复杂模型, 其数据溯源、模型验证和合规性监控面临诸多挑战。为了应对这些挑战, 一种基于区块链的医疗 AI 合规架构被提出, 该架构通过去中心化审计方案, 旨在增强透明度、可信度和合规性。其主要组成部分包括: (1)数据溯源: 利用区块链的不可篡改性, 将训练数据哈希值写入以太坊智能合约, 实现不可篡改记录^[22]。(2)模型验证: 通过零知识证明 (zk-SNARKs) 验证模型未使用侵权数据, 同时保护商业秘密。这对于解决强化学习模型可能无意间学习到来自非法数据集的策略具有重要意义^[22-23]。(3)合规自动化: 为了实时监控医疗 AI 系统的数据使用是否符合相关的法律法规, 例如 PIPL 或 HIPAA 或 GDPR, 该

架构建议部署合规性检查链码 (Chaincode) 在区块链上。链码可以被编程为自动检查数据的使用是否符合预设的合规规则, 例如访问权限控制、数据脱敏处理等^[22-23]。

5 展 望

大模型如 DeepSeek 往往在开发阶段利用了高质量的数据和算力, 但在面对不同医院的成像设备、医疗设备检测水平、不同人种的患者特征时, 性能可能下降。如果训练数据不足以涵盖各种变异, 模型在新环境下可能出现意外错误。因此, 确保多样化的数据来源、在部署前进行本地验证和适应性调优非常重要^[12]。然而, 我们也必须谨慎推进, 确保在隐私、安全、伦理合规方面构筑牢固的基础, 同时不断完善模型的解释能力和鲁棒性。可以预见, 随着医疗 AI 领域技术和监管的成熟, 像 DeepSeek 这样的平台将成为临床医生的有力助手, 共同揭开疾病诊断的新篇章, 最终实现患者诊疗、医疗技术提升和公共健康的协同进步^[13]。

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 卢叶婷: 选题、撰写、修改论文; 杨宇平: 撰写、修改论文。

参考文献

[1] CHRISTIANO P, LEIKE J, BROWN T, et al. Deep reinforcement learning from human preferences. In Proceedings

- of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS' 17) [C]. Curran Associates Inc., Red Hook, NY, USA, 2017: 4302–4310.
- [2] IBM《什么是迁移学习》[EB/OL]. [2025-03-20], <https://www.ibm.com/cn-zh/topics/transfer-learning>.
- [3] WANG Y F, ZHANG Q N, YING L, et al. Deep reinforcement learning for early diagnosis of lung cancer[J]. Proc AAAI Conf Artif Intell, 2024, 38(20): 22410–22419.
- [4] YU C, LIU J M, NEMATIS S, et al. Reinforcement learning in healthcare: a survey[J]. ACM Comput Surv, 2023, 55(1): 1–36.
- [5] CHEN H Z, LIN R C, YU Y F. MetaPath Chat: multimodal generative artificial intelligence chatbot for clinical pathology [J]. MedComm (2020), 2024, 5(10): e769.
- [6] PFEFFERLE A, PURUCKER L, HUTTER F. DAFT: data-aware fine-tuning of foundation models for efficient and effective medical image segmentation [M]//Medical Image Segmentation Foundation Models. CVPR 2024 Challenge: Segment Anything in Medical Images on Laptop. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025: 15–38.
- [7] TRAFTON A. Study reveals why AI models that analyze medical images can be biased – MIT EECS[EB/OL]. [2025-03-10]. <https://www.eecs.mit.edu/study-reveals-why-ai-models-that-analyze-medical-images-can-be-biased/>
- [8] 《欧盟人工智能法案》[EB/OL]. [2025-03-10]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32024R1689>.
- [9] SCHIFF D, AYESH A, MUSIKANSKI L, et al. IEEE 7010: a new standard for assessing the well-being implications of artificial intelligence [C]//2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). October 11–14, 2020. Toronto, ON, Canada. IEEE, 2020: 2746–2753.
- [10] 张建楠, 李莹莹, 周佳卉, 等. 人工智能独立医用软件监管研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(1): 198–204.
- [11] JOHNS M, BAUM L, PRASSER F. Tracking provenance in clinical data warehouses for quality management[J]. Int J Med Inform, 2025, 193: 105690.
- [12] 2025 医疗 AI 算法临床验证指南[EB/OL]. [2025-03-12]. <https://editverse.com/zh-CN/%E5%8C%BB%E7%96%97%E9%AA%8C%E8%AF%81-2025/>.
- [13] SCHREUDER A, SCHOLTEN E, GINNEKENET B al. Artificial intelligence for detection and characterization of pulmonary nodules in lung cancer CT screening: ready for practice?[J]. Translational lung cancer research, 2021(10)5: 2378–2388.
- [14] HUTCHINSON B, SMART A, HANNA A, et al. Towards accountability for machine learning datasets: practices from software engineering and infrastructure [C]//Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency. Virtual Event Canada. ACM, 2021: 560–575.
- [15] LIPTON Z C. The mythos of model interpretability [EB/OL]. [2025-03-15]. 2016: 1606.03490. <https://arxiv.org/abs/1606.03490v3>.
- [16] DOSHI-VELEZ F, KIM B. Towards a rigorous science of interpretable machine learning [EB/OL]. [2025-03-15]. 2017: 1702.08608. <https://arxiv.org/abs/1702.08608v2>.
- [17] LIPTON Z C. The mythos of model interpretability: in machine learning, the concept of interpretability is both important and slippery. [J]. Queue, 2018, 16(3): 31–57.
- [18] Apache 2.0 License [EB/OL]. [2025-03-10]. <https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>
- [19] MIT License [EB/OL]. [2025-03-10]. <https://opensource.org/licenses/MIT>.
- [20] HINTON G, VINYALS O, DEAN J. Distilling the knowledge in a neural network[EB/OL]. [2025-03-15]. 2015: 1503.02531. <https://arxiv.org/abs/1503.02531v1>.
- [21] TOPOL E J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence[J]. Nat Med, 2019, 25(1): 44–56.
- [22] MUNYUZANGABO M, KHALIFA D S, GAFFEY M F, et al. Delivery of sexual and reproductive health interventions in conflict settings: a systematic review [J]. BMJ Glob Health, 2020, 5(Suppl 1): e002206.
- [23] JHA P K, AKBARI H, KIM Y, et al. Nanoscale axial position and orientation measurement of hexagonal boron nitride quantum emitters using a tunable nanophotonic environment [J]. Nanotechnology, 2021, 33(1): Nanotechnologyvol. 33.

引用本文

卢叶婷, 杨宇平. 人工智能医学应用中的技术路径与法律边界——以强化学习与蒸馏技术为视角[J]. 元宇宙医学, 2025, 2(1): 57–64.

LU Y T, YANG Y P. Technical path and legal boundary in the medical application of artificial intelligence: from the perspective of reinforcement learning and distillation technology[J]. Metaverse Med, 2025, 2(1): 57–64.

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。

