

DOI: 10.61189/249357scovkn

· 产学研融合 ·

通过人工智能与医疗元宇宙提升阻塞性睡眠呼吸暂停与肺结节的早期检测

柳华溢¹, 陈思源², 熊彦韬², 孙鹏洲², 王 源³, 杨达伟^{3,4,5}, 白春学^{3,4,5*}

1. 复旦大学生命科学学院, 上海 200438

2. 复旦大学基础医学院, 上海 200032

3. 复旦大学附属中山医院呼吸与危重症医学科, 上海 200032

4. 上海呼吸物联网医学工程技术研究中心, 上海 200032

5. 上海市呼吸病研究所, 上海 200032

[摘要] 本文介绍了BAIMGPT 1.0, 一个由人工智能驱动的医疗元宇宙平台, 旨在普及阻塞性睡眠呼吸暂停和肺结节的早期诊断。该平台通过整合虚拟诊疗、联邦学习和物联网诊断技术, 解决了资源匮乏地区的医疗资源不均问题, 同时利用去中心化框架减轻算法偏见和隐私风险。BAIMGPT 1.0为公平的慢性病管理提供了一个可扩展的模型范例, 优先考虑包容性和人工智能-元宇宙的伦理协同, 以重塑全球医疗服务模式。

[关键词] BAIMGPT 1.0; 阻塞性睡眠呼吸暂停; 肺结节; 元宇宙

[中图分类号] R 563 **[文献标志码]** A

Improving early detection of obstructive sleep apnea and pulmonary nodules through artificial intelligence and medical meta-cosmology

LIU Huayi¹, CHEN Siyuan², XIONG Yantao², SUN Pengzhou², WANG Yuan³, YANG Dawei^{3,4,5}, BAI Chunxue^{3,4,5*}

1. School of Life Sciences, Fudan University, Shanghai 200438, China

2. School of Basic Medical Sciences, Fudan University, Shanghai 200032, China

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

4. Shanghai Research Center for Respiratory Internet of things medical engineering technology, Shanghai 200032, China

5. Shanghai Institute of Respiratory Diseases, Shanghai 200032, China

[Abstract] This paper introduces BAIMGPT 1.0, an AI-powered medical metaverse platform, to democratize early diagnosis of obstructive sleep apnea (OSA) and pulmonary nodules. By integrating virtual care, federated learning, and IoT diagnostics, the platform addresses healthcare disparities in underserved regions while mitigating algorithmic bias and privacy risks through decentralized frameworks. BAIMGPT 1.0 exemplifies a scalable model for equitable chronic disease management, prioritizing inclusivity and ethical AI-metaverse synergy to redefine global healthcare delivery.

[Key Words] BAIMGPT 1.0; obstructive sleep apnea; pulmonary nodules; metaverse

全球医疗体系在应对慢性疾病, 尤其是早期检测和管理方面, 面临日益严峻的挑战。其中, 阻塞性睡眠呼吸暂停(obstructive sleep apnea, OSA)和肺结节尤为突出, 是关键但未得到充分重视的疾病^[1]。OSA是一种普遍的睡眠障碍, 与心血管疾病和代谢并发症相关, 但由于筛查可及性有限和公众认知度低, 其漏诊率极高^[2]。肺结节作为常见的肺癌早期

征象, 也因假阳性率较高和先进影像学检查资源分配不均而面临诊断延迟的问题^[3-4]。

传统医疗模式难以弥合这些差距, 尤其是在资源匮乏地区。农村和偏远地区通常缺少多导睡眠监测或计算机断层扫描(computed tomography, CT)的专业设备^[5], 迫使患者前往城市就医, 这一过程会产生高昂的经济成本, 并有可能造成治疗延误^[6-7]。

[收稿日期] 2025-05-14

[接受日期] 2025-06-25

[基金项目] 大慢病国家科技重大专项(2024ZD0529300), 上海市科学技术委员会项目基金(20DZ2254400, 21DZ2200600)。Supported by Four Major Chronic Diseases National Science and Technology Major Project (2024ZD0529300) and Fund of Shanghai Science and Technology Commission Project (20DZ2254400, 21DZ2200600)

[作者简介] 柳华溢, 硕士生。

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

此外,碎片化的随访流程和临床医生诊疗水平差异进一步加剧了医疗服务质量的区域性差异^[8](图1)。

为解决现有医疗系统的缺陷,“医疗元宇宙:赋能公共卫生”项目研发推出了一个融合元宇宙技术的人工智能(artificial intelligence, AI)驱动平台

(BAIMGPT 1.0)^[9-10],旨在提高OSA和肺结节筛查的准确性与可及性,同时推动医疗服务去中心化^[11]。通过远程会诊,利用AI诊断工具^[12-13],BAIMGPT 1.0致力于革新早期疾病检测方式,减少对集中式医疗基础设施的依赖(图2)。

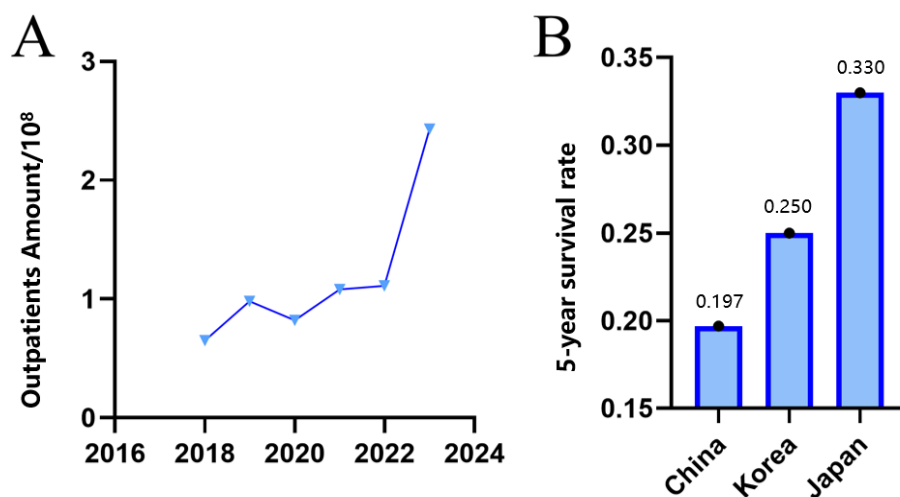


图1 肺癌结局与医疗资源可及性差异

A:中国肺癌患者就诊人数;B:2019年肺癌患者5年生存率^[14]。

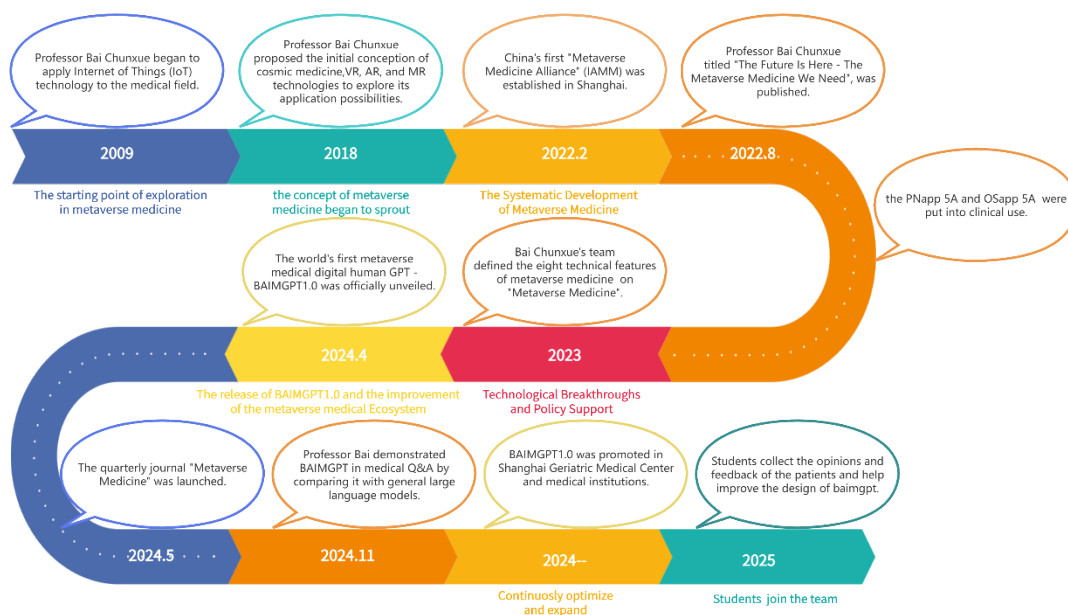


图2 白春学教授及合作者在医疗元宇宙发展中的里程碑^[17]

1 BAIMGPT 1.0的研发背景

AI与元宇宙技术已成为一股变革性力量,为疾病筛查和管理中长期存在的挑战提供了创新解决方案^[15]。现有研究^[16]强调了虚拟医疗环境在提高诊断准确性、增强患者参与度和优化资源配置方面

的潜力,尤其是在资源匮乏地区。例如,白春学教授开发的AI远程会诊平台通过虚拟诊疗技术能够推动实现远程诊断,从而减少如OSA等疾病的诊断延误。同样,AI在医学影像领域的进步,如基于AI的CT肺结节智能识别系统,在降低误诊率和优化随访流程方面展现出广阔的应用前景。

然而,显著差距依然存在。传统的OSA筛查工具如STOP-Bang问卷,虽然在临床环境中效度良好,但在基层医疗中的应用标准不一致,导致农村地区漏诊率居高不下。同样,肺结节管理因缺乏实践指南,常常导致干预延迟。这些挑战凸显了对可扩展的AI增强系统的需求,这些系统需要整合来自可穿戴设备和影像技术的实时数据^[16]。

数字人技术为医疗领域提供了新的发展方向。虚拟健康助手通过个性化反馈和全天候监测,提高了患者对持续气道正压通气(continuous positive airway pressure, CPAP)等治疗的依从性。此类工具弥合了临床方案与患者行为之间的鸿沟,从而改善了慢性病管理的关键环节。同时,联邦学习框架为解决算法偏见提供了可行方案,使AI模型能够在保护患者隐私的前提下,利用多样化数据集进行训练^[16]。

然而,该领域仍存在亟待解决的伦理和技术挑战。例如,虽然区块链加密确保了数据安全,但在资源有限的地区,数字基础设施的不足和网络连接的不稳定性限制了其实际应用。此外,AI驱动诊断的伦理影响,尤其是责任认定和透明度,需要更深入的探索,以确保技术能力与患者信任和监管标准保持一致^[17]。

BAIMGPT 1.0通过整合虚拟医疗、联邦学习以

及数字人,旨在革新OSA和肺结节诊疗模式,不仅是技术层面的升级,更是推动医疗体系向更公平、更精准方向发展的系统性变革。

2 BAIMGPT 1.0在关键领域的变革性作用

将元宇宙技术整合到医疗领域是一场深刻的范式变革,它催生了超越传统诊疗模式的创新解决方案^[18],将沉浸式数字环境、AI和远程医疗相结合,推动医疗服务的个性化、普惠化和高效化。

2.1 目标临床工作流程 对于OSA,BAIMGPT 1.0构建了系统化的从初步筛查到治疗后监测的5阶段管理方案(图3)。临床医生利用标准化筛查工具,包括Epworth嗜睡量表(Epworth sleepiness scale, ESS)和STOP-Bang问卷识别疑似病例。随后使用Ⅲ/Ⅳ级便携式监测设备提高诊断准确性,并给出定制化建议,如三维上气道CT重建和转诊至专业睡眠呼吸中心。多学科团队设计个性化干预措施,包括体质量管理、手术选择或无创正压通气。同时物联网远程监测确保持续的质量控制和居家治疗依从性。该方案整合了多模态诊断、跨学科协作和技术驱动连续性照护,以优化OSA结局^[19]。这种端到端工作流通过将标准化方案融入虚拟诊疗平台,消除了碎片化诊疗,确保了从基层医疗到专科中心的诊疗连续性^[20]。

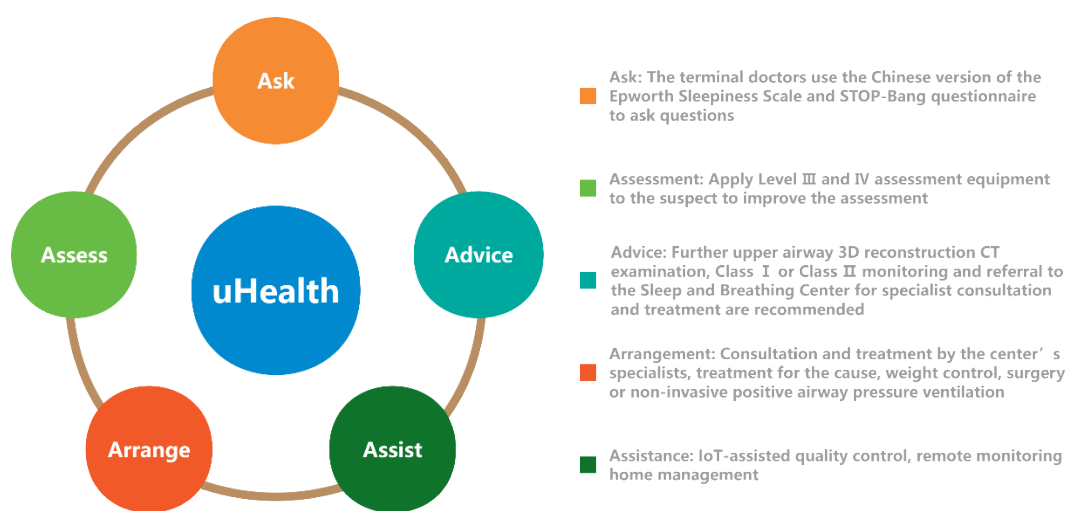


图3 阻塞性睡眠呼吸暂停的综合管理方案

2.2 云边协同实现可扩展性 本平台构建的一体化医疗生态系统(图4)有效弥合了医疗资源分配不均的问题,为OSA管理提供了创新解决方案。该框架通过物联网可穿戴设备实时采集患者生理指标,经由区域网络提供商传输至集中式云平台^[21]。联邦

学习算法在严格保护数据隐私的前提下,对云端聚合数据进行深度分析,实现实时风险预警和治疗方案的自动优化。系统核心功能包括:基于云的数字孪生技术模拟患者对特定干预措施的个性化反应,这些模拟结果需经远程专家验证后实施;宽带网络

支持的远程家庭诊疗会诊,促进临床医生、患者及照护者之间的多方协作;以及通过云端管理软件协调治疗干预措施。该框架整合了BAI DX诊断工具、云端专家决策模块和端到端质量控制体系,形成了

可扩展、以患者为中心的慢性病管理模式,确保从数据采集到临床决策的无缝衔接,为资源不均地区的OSA管理提供了标准化解决方案^[22],促进医疗公平。

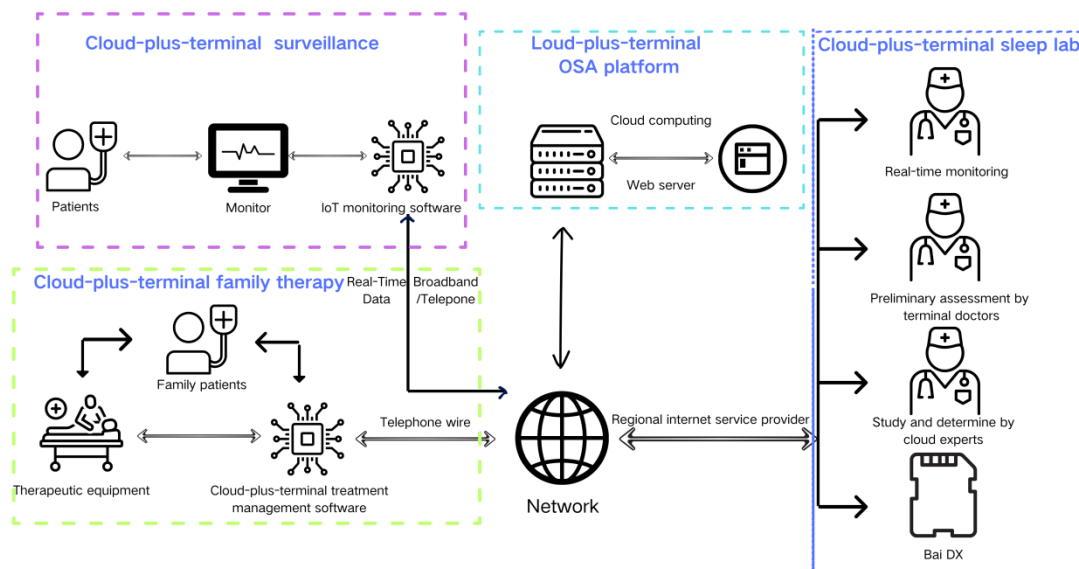


图4 一体化的阻塞性睡眠呼吸暂停(OSA)监测与治疗生态系统

2.3 虚拟协作与患者赋能 元宇宙环境进一步推广了专业知识的普及与应用。资源匮乏地区的基层医生可在虚拟肿瘤委员会会议期间,访问由AI生成并策划的肺结节三维可视化影像,并与城市专家协作解读影像结果^[22-23]。患者则通过与虚拟医生化身互动,阅读基于交互式模型(这些模型直观展示OSA病理生理特征或肺结节恶性预测因子)生成的个性化风险分析报告。这种“双重赋能”模式既提升医疗服务提供者的临床决策能力,又增强患者的健康素养与认知,高度契合《“健康中国2030”规划纲要》中提出的精准医疗发展理念^[24]。

2.4 伦理与基础设施保障 该平台构建的区块链数据管道严格遵循《通用数据保护条例》(General Data Protection Regulation, GDPR)和中国的《网络安全法》^[25]。针对农村地区网络基础设施薄弱的现状,系统特别设计了离线功能模块,支持基础筛查数据的本地缓存与延迟同步,有效解决了网络连接不稳定带来的应用障碍。此类设计体现了对公平可及性的承诺,确保技术进步转化为切实的健康公平成果,而非加剧现有差异。通过优先考虑临床相关的整合(结构化 workflow、云边互操作性和虚拟协作),该方法超越了元宇宙技术的推测性应用,直接聚焦于为早期疾病筛查和管理提供可扩展解决方案。

3 BAIMGPT 1.0的构建

在白春学教授的指导下,来自复旦大学生命科学学院、基础医学院、药学院、软件学院和新闻学院的10名学生组成多学科团队,开展了多项研究^[26-27],旨在解决OSA和肺结节管理中医疗资源不均的问题。基于团队的跨学科特性,医学和药学专业的学生分析了筛查准确性和工作流低效问题;新闻专业的学生贡献了伦理传播策略,确保研究结果的文化敏感性传播;软件工程专业的学生设计了一个安全的数据聚合平台。该研究将技术创新与现实环境中的实证数据相结合,强调了跨学科合作在推进公平医疗解决方案方面的价值。

该研究结合了在线问卷筛查和现场临床观察,以评估不同医疗环境中的诊断和转诊实践。对于OSA筛查,团队使用了2种经过验证的工具:STOP-Bang问卷和ESS。在线调查共收集有效问卷556份和有效ESS问卷377份,涵盖了患者和照护者的人口统计学和症状相关数据。同时,团队在城市和农村诊所开展观察性研究,分析诊断延迟的原因^[27]。

问卷调查显示:35.6%的调查对象(图5A;红色部分)ESS得分>9分,提示日间过度嗜睡;17.7%的调查对象(图5B;红色部分)STOP-Bang问卷得分>3分,为高OSA风险。阳性率差异印证了

STOP-Bang 对 OSA 筛查的高特异度。与农村地区相比,城市地区的多导睡眠监测的可及性(平均等

待时间,7.2 d vs 23.5 d)和随访依从性(68% vs 42%)更高。

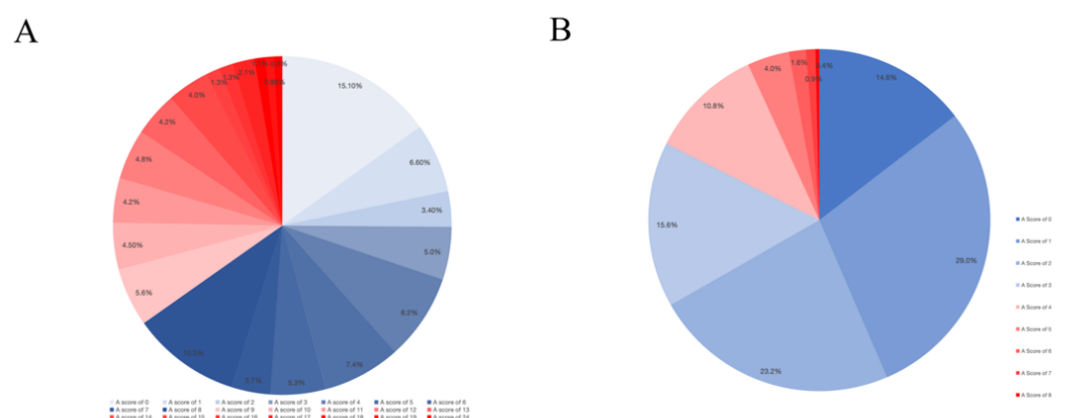


图5 阻塞性睡眠呼吸暂停(OSA)风险筛查结果

A:Epworth嗜睡量表;B:STOP-Bang问卷。

研究提出了医患沟通碎片化以及标准化筛查工具在基层医疗中采纳不足的问题。此外,研究得出了2个具备即时转化价值的关键见解:(1)OSA的持续漏诊问题凸显出BAIMGPT等平台推广普及的必要性;(2)患者对睡眠健康的关注度及对AI解决方案的开放态度,为部署此类技术并确保公众参与奠定了有利的基础环境。这些发现共同验证了BAIMGPT兼具诊断工具与公共卫生干预措施的双重功能定位。

智能健康管理系统与数字人技术的融合正在重塑医疗服务模式,为增强以患者为中心的照护创造了前所未有的机遇。通过整合AI、沉浸式虚拟互动和实时数据分析,该融合方案致力于解决诊断流程、治疗依从性和健康教育中长期存在的低效问题。

这一变革的核心在于AI能够将海量数据转化为可操作的医疗见解。对于慢性病患者,AI驱动平台分析来自可穿戴设备的数据,以定制干预措施。在肺结节诊疗领域,AI模型评估CT结果以预测结节恶性风险,从而制定个体化随访计划,在保持警惕性与避免过度检查之间取得平衡。这种从被动应对向主动预防的转变不仅改善了健康结局,也赋能患者更积极地参与自身健康管理^[28]。

数字人技术通过拟人化交互拓展了医疗服务能力。以专家临床医生为原型的虚拟健康助手提供全天候支持——从初步评估OSA症状到解释复杂诊断。例如,肺结节患者可与数字肿瘤学家化身

互动,在查看其扫描结果三维可视化影像的同时,获得关于治疗方案的情感化指导。这些互动超越了事务性的远程医疗范畴,通过易于理解的沟通建立信任,并缓解了慢性病患者常见的孤独感^[29]。

将数字人与物联网设备集成,可实现无缝远程监测。例如,OSA患者佩戴的传感器可将睡眠指标实时传输给虚拟照护团队,并在检测到异常呼吸模式时触发警报。临床医生随后可即时调整治疗计划,最大程度减少诊疗延误。在肺结节管理中,AI算法追踪连续扫描中结节的变化,标记出需要关注的生长趋势以便专家及时审阅。这种持续反馈机制确保了诊疗的连续性,尤其惠及此前面临随访服务碎片化问题的农村患者^[30]。

尽管潜力巨大,这些技术的推广仍面临挑战。患者对AI驱动诊断的疑虑需要通过增强算法决策的透明度来化解,为此,平台开发了可视化决策路径追踪系统,使AI推理过程可验证、可追溯。此外,数字素养的缺乏和网络基础设施的不均衡分布,凸显出对离线替代方案及基于社区培训项目的迫切需求。

总之,智能健康管理 with 数字人技术不仅是技术的革新,也正在重塑医患关系。通过融合AI的分析精准性与虚拟互动的共情优势,这些工具推动了高质量医疗的可及性,符合“健康中国2030”议程,与全球构建公平、以患者为中心的医疗体系的发展趋势高度契合。

4 BAIMGPT 1.0 研发的挑战

如 BAIMGPT 1.0 平台所示, AI 和元宇宙技术在医疗领域的整合在提升疾病筛查与管理的系统性效能方面具有重要应用价值^[15, 31]。然而, 实施过程既揭示了变革性机遇, 也暴露了持续存在的挑战, 值得进行批判性分析^[32]。

4.1 技术进步与临床影响 该平台在 OSA 和肺结节管理方面的成功源于其将多样化数据流, 如临床病史、可穿戴设备指标和影像特征, 协调为可操作见解的能力^[33]。BAIMGPT 1.0 在 OSA 风险分层中的灵敏度为 92%, 在结节恶性预测的准确率为 94%, 不仅超越了传统方法, 还减轻了超负荷医疗系统的压力。例如, 通过自动化 CT 分析减少放射科医生 35% 的工作量, 说明了 AI 如何增强而非取代人类专业知识。这些成果优先考虑早期干预和资源优化, 与更广泛的医疗目标保持一致。

然而, 平台对高质量数据的依赖凸显了一个关键局限。早期版本在训练数据集代表性不足的农村人群中表现出较低的特异性(78%)。这源于 AI 驱动医疗中反复出现的数据收集不均的算法偏见^[34]。为解决此问题, 项目采用了联邦学习技术, 汇集来自不同地区的匿名数据以改进模型的泛化能力。该方法不仅提高了诊断准确性, 还促进了包容性, 确保边缘化人群平等受益于技术进步。

4.2 应对监管与伦理复杂性 监管障碍进一步使规

模化推广复杂化。响应中国 AI 医疗政策中主动与认证机构接洽的要求, 本平台获得了中国食品药品监督管理局和 ISO13485 的认证, 使 BAIMGPT 1.0 的临床应用合法化, 但也暴露了一个根本性难题, 监管框架的演进始终滞后于技术创新的步伐。例如, 关于 AI 诊断错误的责任界定仍存在模糊性——需要更清晰的责任认定标准来维持诊疗可信度^[35]。

伦理问题, 尤其是数据隐私, 仍然至关重要。虽然区块链加密满足了通用数据保护条例和中国的隐私法的要求, 但实际临床场景中仍暴露出诸多潜在风险隐患^[36]。例如, 农村地区的老年患者通常缺乏数字素养, 导致其无法真正理解数据共享的完整含义并做出自主决定^[37-38]。解决这一问题不仅需要技术保障措施, 还需要社区教育计划来弥合数字鸿沟。

本平台遵循全面的伦理框架(图 6), 旨在解决 AI 驱动医疗系统中的关键挑战和解决方案。该框架围绕三个关键维度构建系统性解决方案: 隐私与数据治理(包括安全增强和监管明晰)、公平与人文关怀(涵盖可及性改善和情感支持)以及技术责任(聚焦算法透明度和平衡的技术采纳)。每个挑战都对应其针对性的解决策略, 例如加强公众教育以平衡对算法的过度依赖, 以及明确责任归属以解决医疗责任困境。这种结构化方法凸显了协调技术创新与伦理保障的关键价值, 以确保 AI 诊疗系统的合规部署。

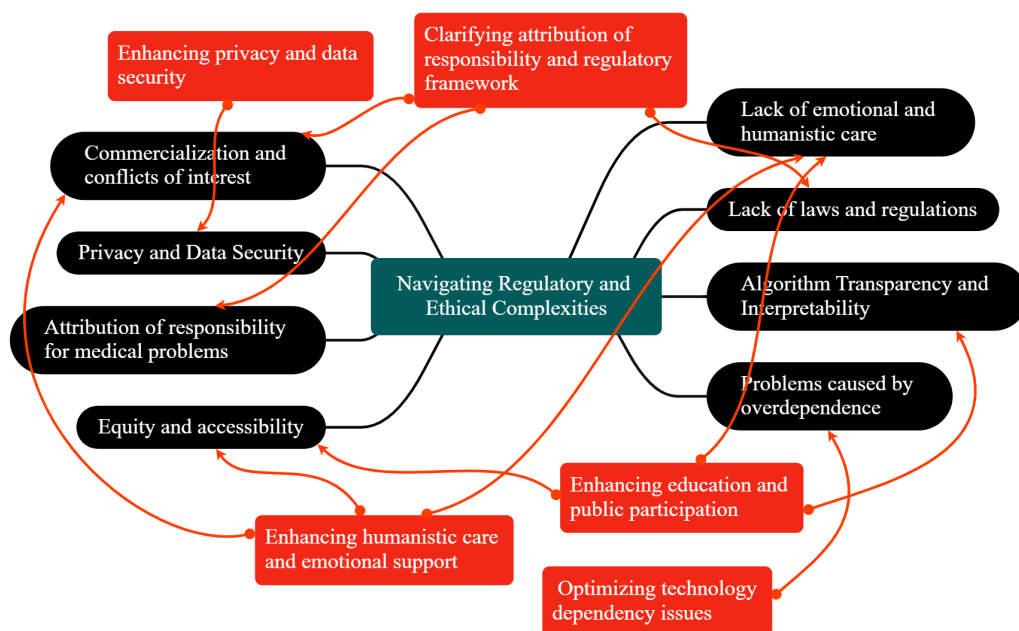


图 6 AI 驱动医疗实施的伦理框架

4.3 未来方向:从本地成功到全球相关性 将 BAIMGPT 1.0 平台的应用范围扩展至 COPD 和糖尿病等慢性病管理,是符合逻辑的后续发展方向。利用现有基础设施,平台可将分散的诊疗方案整合为一体化慢性病管理生态系统。“数字孪生”器官等创新技术可以进一步推动诊疗个性化^[39-40]。需要强调的是,此类前沿技术的临床应用必须通过严谨的多中心临床试验和计算验证,以确保其可靠性和安全性。

平台的全球可扩展性既蕴含机遇也伴随挑战。东南亚和非洲等地区存在的医疗资源可及性差异与中国农村地区状况相似,为该模式的推广提供了潜在适用场景。然而,成功的关键在于平台的本土化适配,例如:开发区域性语言支持模块;适配地方性疾病谱;建立与国际卫生组织的战略合作,在尊重各国医疗体系独特性的基础上,构建包容性的技术治理框架^[40-41]。

最终,该项目的核心价值在于其秉持的医疗公平性、AI 透明度和以患者为中心的设计原则。BAIMGPT 1.0 促使科技行业重新审视医疗创新的价值定位——将其从单纯的市场机遇提升至社会公益的高度。若这一理念得以贯彻,该项目有望重塑医学 AI 的全球标准范式,确保技术进步始终服务于人类福祉。

伦理申明 无。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献 柳华溢、陈思源、熊彦韬、孙鹏洲、王源:撰写文稿;杨达伟、白春学:修改文稿。

参考文献

- [1] PÉPIN J L, BAILLIEUL S, BAILLY S, et al. New management pathways for follow-up of CPAP-treated sleep apnoea patients including digital medicine and multimodal telemonitoring [J]. *Thorax*, 2024, 80(1): 52-61.
- [2] SABIL A, LAUNOIS C, TRZEPIZUR W, et al. Association of positive airway pressure termination with mortality and non-fatal cardiovascular events in patients with obstructive sleep apnoea [J]. *Thorax*, 2024, 79(11): 1077-1085.
- [3] JACOBS C. Decoding pulmonary nodules: can machine learning enhance malignancy risk stratification? [J]. *Thorax*, 2024, 79(4): 293-294.
- [4] WARKENTIN M T, AL-SAWAIHEY H, LAM S, et al. Radiomics analysis to predict pulmonary nodule malignancy using machine learning approaches [J]. *Thorax*, 2024, 79(4): 307-315.
- [5] LIU Y L, LUO S H, OU Q, et al. The expressions of CTLA-4 and PD-1 on CD(4)(+) T cells and the level of plasma VEGF in patients with obstructive sleep apnea hypopnea syndrome [J]. *Zhonghua Jie He He Hu Xi Za Zhi*, 2019, 42(4): 268-274.
- [6] DANNENBERG H. Structure of an urban medical practice. An epidemiological and statistical analysis [J]. *ZFA (Stuttgart)*, 1980, 56(12): 850-857.
- [7] HUSTON-PATERSON H H, MAO Y F, TSENG C H, et al. Rural-urban disparities in the continuum of thyroid cancer care: analysis of 92,794 cases [J]. *Thyroid*, 2024, 34(5): 635-645.
- [8] RHUBART D C, MONNAT S M. Self-rated physical health among working-aged adults along the rural-urban continuum—United States, 2021 [J]. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 2022, 71(5): 161-166.
- [9] COBIANCHI L, PICCOLO D, MAS F D, et al. Surgeons' perspectives on artificial intelligence to support clinical decision-making in trauma and emergency contexts: results from an international survey [J]. *World J Emerg Surg*, 2023, 18(1): 1.
- [10] DE SIMONE B, ABU-ZIDAN F M, GUMBS A A, et al. Knowledge, attitude, and practice of artificial intelligence in emergency and trauma surgery, the ARIES project: an international web-based survey [J]. *World J Emerg Surg*, 2022, 17(1): 10.
- [11] International Society of Psychiatric Genetics (ISPG) Education Committee. Genetics for mental health clinicians: a call for a globally accessible and equitable psychiatric genetics education [J]. *World Psychiatry*, 2024, 23(1): 161-163.
- [12] YAO X X, RUSHLOW D R, INSELMAN J W, et al. Artificial intelligence-enabled electrocardiograms for identification of patients with low ejection fraction: a pragmatic, randomized clinical trial [J]. *Nat Med*, 2021, 27(5): 815-819.
- [13] ALESSANDRO L, BIANCIOTTI N, SALAMA L, et al. Artificial intelligence-based virtual assistant for the diagnostic approach of chronic ataxias [J]. *Mov Disord*, 2025, 40(5): 906-916.
- [14] 国家医疗保障局. 2023 年全国医疗保障事业发展统计公报 [EB/OL]. [2025-04-28]. https://www.nhsa.gov.cn/art/2024/7/25/art_7_13340.html.
- [15] LV J H, SLOWIK A, RANI S, et al. Multimodal metaverse healthcare: a collaborative representation and adaptive fusion approach for generative artificial-intelligence-driven diagnosis [J]. *Research (Wash D C)*, 2025, 8: 0616.
- [16] ROEDER M, BRADICICH M, SCHWARZ E I, et al. Night-to-night variability of respiratory events in obstructive sleep apnoea: a systematic review and meta-analysis [J]. *Thorax*, 2020, 75(12): 1095-1102.
- [17] ZENG H M, ZHENG R S, SUN K X, et al. Cancer survival statistics in China 2019-2021: a multicenter, population-based study [J]. *J Natl Cancer Cent*, 2024, 4(3): 203-213.
- [18] KIYASSEH D, LACA J, HAQUE T F, et al. Human visual explanations mitigate bias in AI-based assessment of surgeon skills [J]. *NPJ Digit Med*, 2023, 6(1): 54.
- [19] ALI S, ABDULLAH, ARMAND T P T, et al. Metaverse in healthcare integrated with explainable AI and blockchain:

- enabling immersiveness, ensuring trust, and providing patient data security[J]. *Sensors (Basel)*, 2023, 23(2): 565.
- [20] ŻYDOWICZ W M, SKOKOWSKI J, MARANO L, et al. Navigating the metaverse: a new virtual tool with promising real benefits for breast cancer patients[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(15): 4337.
- [21] DE MARGERIE-MELLON C, CHASSAGNON G. Artificial intelligence: a critical review of applications for lung nodule and lung cancer[J]. *Diagn Interv Imaging*, 2023, 104(1): 11–17.
- [22] HUANG J, REN L F, FENG L F, et al. AI empowered virtual reality integrated systems for sleep stage classification and quality enhancement[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2022, 30: 1494–1503.
- [23] CHECCUCCI E, VECCIA A, PULIATTI S, et al. Metaverse in surgery—origins and future potential[J]. *Nat Rev Urol*, 2024.
- [24] CHEIKH-MOUSSA K, MIRA J J, OROZCO-BELTRAN D. Improving engagement among patients with chronic cardiometabolic conditions using mHealth: critical review of reviews[J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2020, 8(4): e15446.
- [25] GHAEMPANAH F, MOASSES GHAFARI B, HESAMI D, et al. Metaverse and its impact on medical education and health care system: a narrative review[J]. *Health Sci Rep*, 2024, 7(9): e70100.
- [26] CHOWDHURY O, WEDDERBURN C J, DUFFY D, et al. CPAP review[J]. *Eur J Pediatr*, 2012, 171(10): 1441–1448.
- [27] JOHNSON D M, AIKEN A R A, THOMPSON T A. Telehealth enables safe medication abortion in shifting health and legal contexts[J]. *Nat Med*, 2024, 30(4): 946–947.
- [28] HAUTH F, BIZU V, APP R, et al. Electronic patient-reported outcome measures in radiation oncology: initial experience after workflow implementation[J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2019, 7(7): e12345.
- [29] MANDALIS K, PARDOS A, MENYCHTAS A, et al. Integrating IoT wearable devices in telemonitoring platforms for continuous assisted living services [J]. *Stud Health Technol Inform*, 2023, 305: 612–615.
- [30] WANG S K, XUAN W P, CHEN D, et al. Machine learning assisted wearable wireless device for sleep apnea syndrome diagnosis[J]. *Biosensors (Basel)*, 2023, 13(4): 483.
- [31] CARAPINHA J L, BOTES D, CARAPINHA R. Balancing innovation and ethics in AI governance for health technology assessment[J]. *J Med Econ*, 2024, 27(1): 754–757.
- [32] 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.
- [33] CALABRÒ R S, MORONE G. Advancing rehabilitation medicine with the metaverse: opportunities and challenges[J]. *Brain Sci*, 2025, 15(3): 321.
- [34] ZHANG L C, SHAO Y, CHEN G M, et al. An artificial intelligence-assisted diagnostic system for the prediction of benignity and malignancy of pulmonary nodules and its practical value for patients with different clinical characteristics [J]. *Front Med (Lausanne)*, 2023, 10: 1286433.
- [35] RAJKOMAR A, HARDT M, HOWELL M D, et al. Ensuring fairness in machine learning to advance health equity [J]. *Ann Intern Med*, 2018, 169(12): 866–872.
- [36] JABBOUR S, FOUHEY D, SHEPARD S, et al. Measuring the impact of AI in the diagnosis of hospitalized patients: a randomized clinical vignette survey study [J]. *JAMA*, 2023, 330(23): 2275–2284.
- [37] KARPAGAM M, SARUMATHI S, MAHESHWARI A, et al. An effective PO-RSNN and FZCIS based diabetes prediction and stroke analysis in the metaverse environment[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 11633.
- [38] WANG J Y, BENNETT K, PROBST J. Subdividing the digital divide: differences in Internet access and use among rural residents with medical limitations [J]. *J Med Internet Res*, 2011, 13(1): e25.
- [39] CHEN C, DING S, WANG J. Digital health for aging populations[J]. *Nat Med*, 2023, 29(7): 1623–1630.
- [40] DINIZ P, GRIMM B, GARCIA F, et al. Digital twin systems for musculoskeletal applications: a current concepts review[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2025, 33(5): 1892–1910.
- [41] AWE O O, MWANGI P N, GOUDOUNGOU S K, et al. Explainable AI for enhanced accuracy in malaria diagnosis using ensemble machine learning models[J]. *BMC Med Inform Decis Mak*, 2025, 25(1): 162.

引用本文

柳华溢,陈思源,熊彦韬,等.通过人工智能与医疗元宇宙提升阻塞性睡眠呼吸暂停与肺结节的早期检测[J].元宇宙医学,2025,2(2):47–54.

LIU H Y, CHEN S Y, XIONG Y T, et al. Improving early detection of obstructive sleep apnea and pulmonary nodules through artificial intelligence and medical meta-cosmology[J]. *Metaverse Med*, 2025, 2(2): 47–54.