

DOI: 10.13376/j.cbls/2023108

文章编号: 1004-0374(2023)08-0984-10

· 评述与综述 ·

老年数字化健康管理研究进展

葛振兴, 李晓光, 王 慧*

(上海交通大学公共卫生学院, 上海 200025)

摘要: 当前数字健康技术发展迅速, 逐渐延伸到健康服务各个领域。通过推动数字健康技术深度融入老年健康管理, 探索老年数字化健康管理模式, 从而为老年人群提供更加便捷、高效和个性化的健康管理服务, 对于提升老年人健康预期寿命、推动实现健康老龄化具有重要意义。老年数字化健康管理模式在本文中被创新性地概括为: 利用适老化的数字健康技术手段, 对老年人实施健康监测、评估和干预, 高效、便捷、精准满足老年人生理-心理-社会等各层次健康需求, 从而达到提升老年人健康水平的目的。远程监测、移动健康、物联网、智能家居、人工智能、数字孪生等数字健康技术在老年人健康管理中得到探索应用, 老年数字化健康管理技术在蓬勃发展的同时, 也面临信息系统造价较高、创新技术支撑不足、缺乏临床验证、科研成果转化不足、个人隐私泄露等问题。同时, 由于身体机能下降, 老年人在利用数字化健康服务时存在“数字鸿沟”, 这也给老年人数字化健康管理发展造成阻碍。建议在老年数字化健康管理发展过程中, 应进一步加强技术创新, 注意开发适老化产品, 注重保障个人隐私安全, 特别是要加强科技成果转化, 让研究成果走出实验室, 走进临床实践和日常生活。该文重点就老年数字化健康管理发展机遇、定义、技术等内容予以阐述, 以期为推动我国老年数字化健康管理发展提供参考。

关键词: 数字健康; 老年; 健康管理

中图分类号: R19 **文献标志码:** A

Advancements in digital health management for the elderly: a comprehensive review

GE Zhen-Xing, LI Xiao-Guang, WANG Hui*

(School of Public Health, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200025, China)

Abstract: Digital health technology is rapidly advancing and has the potential to transform healthcare services. By incorporating digital health technology into elderly health management, it is crucial to explore digital health management models that provide efficient, personalized, and convenient care for the elderly population. This has significant implications for improving the healthy life expectancy of older adults and promoting healthy aging. Digital health management for the elderly refers to the use of digital health technologies that are tailored for older adults, such as wearable devices and mobile apps, to monitor their health status, assess their risk factors, and provide personalized interventions to meet their physical, psychological, and social health needs. This innovative approach aims to improve the overall health and well-being of older adults by empowering them to take control of their own health and wellness. Digital health technologies such as remote monitoring, mobile health, the Internet of Things (IoT), smart homes, artificial intelligence (AI), and digital twins have been explored and applied in elderly health management. As digital health management technologies continue to advance for older adults, they face several challenges. These include high information system costs, insufficient support for innovative technologies,

收稿日期: 2023-05-24; 修回日期: 2023-07-31

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(82030099); 国家重点研发计划(2018YFC2000700); 上海市高水平地方高校创新团队项目

*通信作者: E-mail: huiwang@shsmu.edu.cn

lack of clinical validation, inadequate translation of scientific research findings, and concerns about personal privacy and security. Moreover, as older adults experience declining physical function, they may face a "digital divide" when using digital health services, which can hinder the development of effective digital health management for this population. To address these issues, it is recommended that efforts be made to strengthen technological innovation in the development of elderly digital health management. This should focus on developing age-appropriate products, safeguarding personal privacy and security, and particularly strengthening the translation of scientific research findings into clinical practice and daily life. In this paper, we discuss the opportunities, definitions, and technologies of smart health management for seniors to provide guidance on promoting the development of digital health management for older adults in China.

Key words: digital health; aging; health management

人口老龄化是新时代中国发展面临的最为突出的现实之一。2020年第七次全国人口普查数据显示,中国60岁及以上人口占比为18.70%、65岁及以上人口占13.50%,预计到2032年60岁及以上老人将突破4亿,80岁及以上老人到2035年将翻一番多,达到7960万人,在2040年之前65岁及以上人口规模将超过现有发达国家的总和^[1-2]。积极应对人口老龄化是新时代的国家战略,推动实现健康老龄化是满足老年人口日益增长的健康和养老服务需求的重要途径。《“十四五”健康老龄化规划》明确提出要发展健康管理与服务、健康检测与监测等智慧健康养老服务。老年健康管理已成为近年来的研究热点,而数字化健康管理则是未来健康管理行业发展的方向之一^[3]。数字健康被定义为利用信息和通信技术支持健康和健康相关领域,包括用于支持卫生健康、存储或传输健康数据以及促进生命科学和临床操作的所有技术、平台和系统,通过畅通个体与医疗卫生系统的有效链接,帮助人们获得更为精准的健康服务^[4]。如何将数字健康技术融入老年人健康管理,从而形成适应健康老龄化需求的老年数字化健康管理模式值得深入研究。本文就老年数字化健康管理发展机遇、定义、技术等内容予以阐述,以期为推动我国老年数字化健康管理发展提供参考。

1 老年数字化健康管理发展机遇

1.1 国家发展战略和政策体系完善为老年健康事业和产业发展带来新机遇

人口老龄化进程将伴随我国全面建设社会主义现代化国家的始终,老龄社会是现代化强国图景中可预期的显著特征^[5]。党和国家高度重视人民健康和人口老龄化问题,党的二十大报告提出:“推进健康中国建设”“把保障人民健康放在优先发展的战略位置”“实施积极应对人口老龄化国家战略,

发展养老事业和养老产业,优化孤寡老人服务,推动实现全体老年人享有基本养老服务”。健康中国、积极应对人口老龄化等国家战略为发展老年健康事业和产业提供了基本遵循。《中共中央 国务院关于加强新时代老龄工作的意见》要求把积极老龄观、健康老龄化理念融入经济社会发展全过程。健康老龄化是发展和维护促进老年人健康功能能力的过程,其中“功能能力”包括个体内在能力、环境特征以及个体环境间的交互作用^[6]。改善和维护老年群体健康、推动实现健康老龄化是积极应对人口老龄化国家战略的重要内容。此外,近年来,我国围绕加强老年健康服务供给、鼓励多主体参与老年健康服务、完善老年健康应急机制等方面出台了一系列政策,为提升老年人健康水平、促进健康老龄化提供了有力支撑^[7]。随着《关于建立完善老年健康服务体系的指导意见》《关于进一步推进医养结合发展的指导意见》《“十四五”健康老龄化规划》《“十四五”国家老龄事业发展和养老服务体系规划》《关于推进基本养老服务体系建设意见》等文件的相继出台,老年健康相关政策体系不断完善,老年健康事业和产业发展迎来新的机遇。

1.2 老年群体健康问题新特征对老年健康管理发展提出新要求

我国老年人群健康水平令人担忧,老年人群呈现传染病易感、慢性病多病共存、营养不足、虚弱、跌倒流行、失能失智、心理健康和精神卫生问题显著等有别于一般人群的健康特点^[8]。此外,老年人群自杀现象也很值得关注,我国城镇和农村老年人自杀率分别达33.8/10万和47/10万^[9]。伴随独生子女政策、城镇化发展、空巢老人数量增加等对传统家庭照护造成的冲击,我国医疗服务体系负担不断加剧^[10]。利用疾病预防、早诊断、保持健康生活方式等初级卫生保健措施来维持和改善老年人健康水

平,对于解决老年人面临的健康挑战具有重要意义,实施老年人健康管理是一项非常有前途的策略^[10-11]。老年人群健康管理主要覆盖健康人群、慢性病高危人群以及慢性病患者(含康复期患者),相较于其他医疗卫生服务手段而言,其应用范围更广、技术性和综合性更强,最能体现近年来所倡导的整合医学理念^[12]。有证据表明,健康管理可以改善健康状况和带来经济效益^[13]。通过开展老年健康管理来服务老年人群健康生活,是推动实现健康老龄化的重要路径之一。

1.3 数字健康技术蓬勃发展为推动实现老年数字化健康管理提供新动能

未来世界的可持续发展将极大限度利用数字化,数字化技术正在彻底改变医疗保健和平等获得健康的机会^[14]。世界卫生组织(World Health Organization, WHO)发布《数字健康全球战略(2020—2025)》指出,数字健康被理解为“与开发和使用数字技术改善健康相关的知识和实践领域”,包括更广泛的智能设备,使用智能连接设备的数字消费者,与物联网、人工智能、大数据和机器人技术相结合的健康服务内容。伴随数字健康技术的飞速发展,疾病预防及慢性病自我管理等重要健康信息的数字化利用正在日益增多,老年数字化健康管理迎来高速发展的有利时机^[15]。同时,随着中国人口老龄化程度持续加深,老年人健康服务需求爆发式增长与家庭照护能力不断弱化的矛盾日益凸显,发展数字化健康管理有望成为解决这一问题的有效途径。目前,老年人对数字健康技术的利用尚不充分,老年人“数字鸿沟”问题也备受学界关注^[16-17]。一项针对中国老年人互联网利用的调查表明,38.6%的被调查者使用互联网,虽然老年人对互联网的利用率不高,但老年人对健康手环、急救电话、远程医疗等数字健康技术仍有一定需求^[18]。另一项对2144名中国老年人开展的老年人数字健康素养调查显示,老年人的平均数字健康素养得分为 17.56 ± 9.61 分,老年人的数字健康素养仍有待提高^[19]。

2 老年数字化健康管理相关概念

2.1 老年人群相关定义

人群可以通过很多属性来进行定义,例如患者年龄、支付人组别、初级保健提供者归属、地理区域或者疾病类别等,但如果将人群定义缩小为患有特殊疾病的患者群体则可能无法实现更广泛的人群健康^[20-21]。本文以年龄作为划分人群的依据,围

绕老年人群的健康管理开展研究。目前学界对于“进入老年”的年龄标准并未达成共识,欧盟(European Union, EU)和经济合作与发展组织(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)认为老年的年龄标准为65岁,联合国(United Nations, UN)认为老年的年龄标准为60岁或65岁,世界卫生组织(World Health Organization, WHO)认为60~74岁为“年长”、75~90岁为“年迈”、90岁以上为“长寿”^[22]。《中华人民共和国老年人权益保障法》中规定老年人是指60周岁以上的公民,这可以认为是我国所使用的年龄标准。《国家基本公共卫生服务规范(第三版)》“老年人健康管理服务规范”中明确的服务对象为“辖区内65岁及以上常住居民”,可见服务标准并不等于年龄标准,60至64岁之间的老年人群健康管理存在空白。

2.2 健康管理相关概念及内涵

健康管理最早于20世纪20年代末出现在美国,英国、德国、法国和日本等发达国家相继效仿并各有特色,进入21世纪后逐渐在发展中国家兴起^[13,23]。在相当长的一段时期内,健康管理被视为难以掌握和定义的模糊领域^[11]。国内外关于健康管理的定义还没有统一的定论,不同学者对于健康管理概念的理解差异较大。

国外学者在做相关研究时,用到的词包括健康管理(health management)、人群健康管理(population health improvement)、整体健康管理(integral health management, IHM)等。1999年,美国学者Chapman^[24]对人群健康管理进行了如下定义:“人群健康管理是有意和主动地运用各类个人、组织和文化干预措施来改善特定人群的发病模式(即疾病和伤害负担)、健康状况及医疗保健利用”。在此基础上,2004年,Chapman和Pelletier^[25]又对相关概念进行了完善:“人群健康管理是一项通过运用新技术来帮助特定人群改善健康状态、健康服务利用以及个人生产力的积极主动、有组织、成本效益高的预防方法”。2004年,荷兰学者Zwetsloot和Pot^[26]对整体健康管理(IHM)进行了定义:“整体健康管理是对与公众健康(包括职业健康)相关业务活动的影响进行系统管理,旨在促进人群和组织健康”。2007年, Hunter和Brown^[11]对欧洲1995—2005年10年间的健康管理相关文献进行了研究,并从公共卫生视角对人群健康管理进行了定义:人群健康管理是围绕制定和实施旨在改善健康的政策和组织服务的活动。Swarthout和Bishop^[20]在2017年对人群

健康管理的定义及内涵进行了梳理,以人群健康(population health)作为总体框架,人群健康管理(PHM)和人群健康促进(population health improvement)是可付诸实践的人群健康活动;同时提到,许多研究或组织会用“管理(management)”一词替代“促进(improvement)”,无论是健康管理或促进,其目的均是保持和促进健康。

我国健康管理始于20世纪90年代后期,有关健康管理概念最早出现在1994年,而健康管理行业的真正兴起则在2000年以后^[23]。为了推动我国健康管理学科和产业有序发展,2009年中华医学会健康管理学分会、《中华健康管理学》杂志编委会共同编制了《健康管理概念与学科体系的中国专家初步共识》,在对比整合国内外研究提出的健康管理概念基础上,通过对健康、亚健康、健康体检、管理、健康危险因素、健康评估、健康风险评估、生活方式及生活方式病、行为、健康干预、健康信息技术、健康保险等概念进行逐一梳理后,最终将健康管理定义、目的、对象、支撑点表述如下:健康管理是以现代健康概念(生理、心理和社会适应能力)和新的医学模式(生物-心理-社会)以及中医治未病为指导,通过采用现代医学和现代管理学的理论、技术、方法和手段,对个体或群体整体健康状况及其影响因素的危险因素进行全面检测、评估、有效干预与连续跟踪服务的医学行为及过程;健康管理的目的是以最小投入获取最大的健康效益;健康管理的研究对象是健康人群、亚健康人群(亚临床人群、慢性非传染性疾病风险人群)以及慢性非传染性疾病早期或康复期人群;健康管理的两大支撑点是信息技术和健康保险^[23]。上述共识提出的概念是目前我国关于健康管理最为业界广泛认可的定义,并被2019年版的《健康管理师》培训教材采纳^[23,27]。《慢性病健康管理规范(T/CHAA007-2019)》对慢性病健康管理(health management for chronic diseases)进行了定义:“在收集个人健康信息的基础上,对个体未来一定时间内某种慢性病的发生风险进行预测。在风险预测的基础上,针对生活方式和危险因素制定个体化干预和行为矫正计划并实施,定期进行跟踪和效果评估。在效果评估的基础上进一步收集信息,进入下一个循环。在个体健康管理的基础上,也可对服务人群信息进行汇总和分析,并对人群的慢性病预防、治疗和管理工作提出建议、指导和咨询”^[28]。该规范重点就个人慢性病管理的信息收集管理、风险预测、干预治疗、

随访和效果评估等内容进行规范,缺乏人员、设备等配套标准,并且未明确人群健康管理内容。虽然近年来我国健康管理产业发展较为迅速,但仍存在健康管理学理论研究滞后、学科建设缺乏标准与规范、大部分健康管理(体检)机构仍停留在单一体检服务等问题,当前健康管理发展中存在的主要矛盾是健康管理医学服务的供给满足不了社会日益增长的健康需求和各级政府对健康管理医学服务的期望与要求^[29]。

2.3 数字化健康管理的相关概念及表述

在2008年全球经济危机的时代背景下,时任IBM公司董事长兼首席执行官在纽约市对外关系委员会发表演讲时,首次提出“智慧地球”(smarter planet)理念,并认为物联网(instrumentation)、互联网(interconnectedness)以及智能化(intelligence)共同构成“智慧地球”三要素^[30]。2009年,IBM公司开始推动“智慧城市”行动(Smarter Cities campaign)，“智慧”理念全面向工业、政府、医疗保健、城市、企业等领域渗透^[30];同年,IBM公司在我国发布了“智慧医疗”解决方案,自此我国“智慧医疗”方面的研究报道逐渐兴起。随着信息技术的飞速发展,我国“智慧医疗”实践不断深化发展,由最初的医疗机构信息化建设逐渐演变为融合新一代信息技术(尤其是IOT、大数据、AI等)的新型健康医疗服务模式,其中数字化健康管理就是广义“智慧医疗”的重要方向之一^[31]。目前关于数字化健康管理(digital health management)尚无明确定义。曾强等^[32]参考“智慧城市”定义并结合健康管理学科特点,对智慧健康管理定义如下:运用新一代信息、通信、人工智能、生物信息学等技术手段,感测、分析、整合健康检测、健康评估、健康干预三个关键环节的各项信息,从而对个体或群体的健康需求作出智能响应的新模式。虽然数字化健康管理为老年人应对身体机能与认知障碍、慢性病、社交活动减少、身体灵活度降低等风险提供了解决方案,但是老年人在运用数字健康技术方面也存在许多困难,个人、社会和技术等因素都会影响老年人群对于数字化健康管理的接受程度。因此,研究适应人口老龄化趋势、符合老年人需求的老年数字化健康管理模式具有重要意义。目前国内外尚无关于老年数字化健康管理的相关定义。结合数字化健康管理相关理念,针对老年人群特点,老年数字化健康管理模式可以简要概括为:利用适老化的数字健康技术手段,对老年人实施健康监测、评估和干预,高效、便捷、

精准满足老年人生理 - 心理 - 社会等各层次健康需求, 提升老年人健康水平。老年数字化健康管理模式将有助于老年人融入数字化城市生活, 通过充分融合利用数字健康技术, 达到提升老年人健康水平的目的。例如, 未来将人工智能等数字技术与老年健康服务体系深度融合, 老年人与系统对话即可获得健康监测评估等健康管理服务及相应的健康干预或就医指导信息, 老年人将不再为复杂的操作系统所困扰, 从而便捷地获得个性化的优质健康服务。

3 老年数字化健康管理相关技术

目前老年数字化健康管理技术可以概括为远程监测、移动健康、物联网、智能家居、人工智能、数字孪生等六类。

3.1 远程监测(telemonitoring)

远程监测系统可在线收集患者在家中的健康数据并将其传输到健康中心, 远程医疗模式在慢性病、脆弱人口和老年人监测方面尤为重要。Bernardini 等^[33]为帕金森患者及护理者开发了用于远程监测的移动应用程序, 并认为该监测系统可有效帮助识别患者危险状况。Maeng 等^[34]报道了一项专门针对老年心力衰竭患者的远程监测计划——辛盖格健康计划 (Geisinger Health Plan, GHP) 开展情况, 发现加入远程监护计划的患者全因入院率、30天和90天再入院率、护理费用均显著降低, 并认为远程监护可以作为老年心力衰竭患者管理的有效附加工具。Goh 等^[35]观察了一种新型远程健康系统 (Optimising care of Patients via Telemedicine In Monitoring and Augmenting their control of Diabetes Mellitus, OPTIMUM) 对于改善2型糖尿病患者血糖控制的效用, OPTIMUM系统开发了分别面向患者和医护的APP, 系统中嵌入了健康教育素材 (如2型糖尿病管理视频等) 和循证管理算法, 医护可以根据系统监测最优算法及时对患者进行干预。Tan 等^[36]研究了医生 - 护士 - 患者移动健康管理系统 (MHMS) 对2型糖尿病 (T2DM) 患者空腹血糖 (FPG) 的远程控制的效果, 发现 MHMS 可帮助 T2DM 患者降低 FPG, 提高 FPG 目标患者的比例, 年轻患者可能比老年患者获得更好的血糖控制。Maria 等^[37]研究了西班牙阿利坎特农村地区采用新远程医疗服务的环境效益, 提出为老年人远程提供医疗服务是转向完全线上医疗服务的良好过渡, 并且该模式能够通过缩短赶往医院的行驶距离减少了污染物排放量。Wang 等^[38]开发了一种社区老年人健康监测系

统, 研究首先通过相关设备获取和记录老年人的健康信息 (如日常活动、持续生命体征和步态行为等情况), 随后决策支持系统利用所集成的先进数据挖掘技术统计记录中数据的显著变化, 并据此向老年人、其家庭成员及其护理人员发出警告, 以采取适当的干预措施, 防止健康状况进一步恶化。区别于单一病种的慢性病管理模式, Praiser 等^[39]考虑到老年人多病共存情况, 利用远程医疗系统将身患多种疾病的老年慢性病患者与专业治疗团队联系起来, 并认为该模式满足了多病患者的医疗卫生服务需求。远程监测技术在未来有着广阔的发展前景, 实施远程监测服务有助于老年人健康、安全、独立地居家生活, 特别是对于患有心肺疾病、哮喘、心力衰竭等慢性病的老年人而言更具意义。远程监测技术发展面临的主要问题包括建立远程健康系统的成本较高、医生执业许可和医疗保险报销等^[40]。此外, 由于远程监测数据传输中涉及大量个人隐私信息, 应格外注意信息安全问题^[41]。在未来, 虚拟现实、沉浸式环境、触觉反馈和纳米技术等可能会为远程监护技术发展提供新方法。

3.2 移动健康(mHealth)

世界卫生组织将移动健康定义为通过手机、平板、可穿戴设备等提供医疗实践^[42]。通过移动健康平台, 健康信息可以连续地从患者端传递给医生端, 而医生的解决方案也可以传递给患者, 从而提前识别和解决患者行为或生命体征出现的问题^[42]。移动健康为老年人带来延长独立生活年限、改善健康状况等诸多好处, 从而提高老年人生活质量, 减少老年人工作机会成本和降低老年人疾病负担^[43]。目前市场上移动健康应用程序数量庞大、种类繁多, 根据 Statista (2022) 的数据, 截至2022年第二季度, 谷歌 Play 商店和苹果应用商店分别约有 54 603 款、52 406 款 mHealth 应用程序, 分别较上一季度增长 4% 和 2%, 种类包括一般健康和健身、慢性病护理管理、药物管理、女性健康、症状检查、医疗保健专业人员查找和临床记录管理等; 其中 Health Tracker、Health Pal、My Fitness Pal、All Well Senior Care、Senior Fitness、Senior Beginner Workout、Care Manual 等是全球通用的服务一般人群和专注于服务老年人群的移动健康应用程序, 其功能主要是提供健康提示、健康信息、健康咨询和其他相关服务^[44]。Ha 等^[45]对 COVID-19 流行期间适合老年人健康管理的移动健康 APP 进行了研究, 他们从 Google Play 商店中筛选出了 12 种移动健康 APP, 涉及领域包

括社交和情感健康促进与维护、症状和状况管理、与医疗保健系统的沟通、药物管理、体育活动和营养管理等,这些应用程序有可能针对新冠肺炎导致的社交疏远或自我隔离来改善老年人的健康管理和生活质量。此外,移动健康APP也可用于老年评估,例如Silva等^[46]开发了一款名为“老年助手”(Geriatric Helper)、基于IOS和Android界面的葡萄牙语移动CGA应用程序,并将其作为医护人员开展老年综合评估和获取最新相关信息的实用指南;Loh等^[47]在美国进行了一项针对老年评估应用程序和数字干预措施的试点研究,发现系统具有良好的可用性规模和保留率。近年来针对可穿戴设备的研究开发也在快速开展,常见的可穿戴设备包括智能手环、智能手镯、智能手表、智能秤等。Yu等^[48]开发了基于可穿戴设备数据的深度学习模型来监测老年人跌倒;Zhong等^[49]开发了基于手机的老年人步态评估应用程序,可以分析步长规则性、对称性和可变性等。Fang等^[50]对老年人可穿戴设备的手腕、上臂、脖子等三种穿着部位的心理感知和感知可读性进行了调查,发现手腕是连接可穿戴设备的最佳位置。此外,检测体液中的生化物质可以提供可靠的疾病信息,有助于疾病的诊断和进展评估,近年来柔性电子技术发展促进了皮肤接口设备的研发。例如Li等^[51]开发了一种基于微针离子电渗平台的完全集成的闭环可穿戴系统,该系统可以准确监测葡萄糖波动,并触发胰岛素输送以调节高血糖;Liu等^[52]报道了一种多参数智能绷带传感系统,可以实现对早期伤口感染的监测,并向智能终端反馈;Kim等^[53]开发了膝关节健康监测系统,在老年人采取不利于膝盖健康的姿势时,会发出警报提醒用户纠正姿势;Li等^[54]提出了一种基于集成多路电化学传感器(MECS)的机械柔性智能尿布,可选择性地检测尿液代谢产物(包括葡萄糖、尿酸等)和电解质(包括钠离子和钾离子)。由于年龄原因造成的老年人身体机能下降,给老年人应用移动健康技术带来阻碍,包括认知功能(包括注意力、反应能力、执行能力、视觉运动技能、记忆力等)下降带来的阻碍和身体机能下降(包括关节炎、运动和反射迟缓、肌肉和关节僵硬、手抖、平衡力差、视力下降等)带来的阻碍^[43]。移动健康技术在未来发展中,应充分考虑老年人身体机能状况,开发适老化的移动健康产品。

3.3 物联网(Internet of Things, IoT)

物联网通过各种传感器实时收集所需信息,并

通过互联网传输,以实现物体、人和物体之间的广泛连接,并实现物体的智能识别和连接^[55]。物联网长期以来广泛应用于智慧城市、交通分流、环境整治、政府工作、社会稳定、物流和运输、智能家居、工业生产、校园生活、食品安全、公共服务、生命健康和护理等方面^[56]。伴随设备功能的持续改革和创新,物联网技术在健康领域深入发展,不断满足老年人健康管理需求。Zhang等^[57]探讨了物联网技术支持下的社区老年患者健康管理以及康复管理,研究采用物联网技术,通过可穿戴设备实时采集老年人心率、血压、呼吸频率等指标,运用支持向量机(SVM)算法、模糊综合评价方法分别开展老年生理指标疾病风险评估、老年疾病风险定量评估,并依据评估结果进行干预,证明了所构建的社区老年患者医疗沟通与康复服务模式的有效性。Liu等^[58]利用物联网技术开发了老年人健康促进系统,包括基于物联网的生理信息子系统、基于上下文感知的服务子系统和老年人营养饮食与健康促进子系统,可以整合老年人的长期饮食和运动记录,协助老年人完成个人营养评估和健康管理。物联网技术目前面临的主要问题包括三个方面:一是物联网技术在系统可扩展性、交互性和移动性方面存在挑战;二是缺乏真实测试环境来评估物联网技术对健康的影响;三是物联网计算环境有待创新发展,如雾计算以及影响雾节点存储计算的电能及资源管理问题等。未来,物联网技术的发展方向包括区块链技术、触觉互联网、在线社交网络、大数据分析以及纳米物联网等^[59]。

3.4 智能家居(smart home)

智能家居是指为了监测居住环境和改善居家体验而将传感器和执行器装配集成到基础设施中的一种特殊的住宅^[60]。智能家居技术是指为客户提供一定程度的数字连接或增强服务,通常与“家庭自动化系统”同义^[61]。随着智能家居技术向健康养老领域的延伸,融合健康服务功能的智能家居产品也在不断研发。Sevrin等^[62]设计了一种室内跟踪系统,通过整合居室内每个摄像头获得的轨迹得到人体在公寓内的整个轨迹,帮助及早发现老年人日常活动变化。与之类似,Fritz等^[63]开发了一项智能家居机器算法,该算法能够学习居家老年人正常活动模式,一旦老年人活动出现异常,即可通知护士或者提醒老人服用药物。针对老年人睡眠中易突发疾病、夜间护理困难等问题,Xu等^[64]研发了一种无约束生命体征床垫监测系统,该系统可以监测老年人心

率、呼吸频率和身体运动状态等生命体征，并可以为老年人提供安全监测、健康管理等个性化健康服务。Han 等^[65]对基于冲击波心电图的“互联网+智能床垫”健康管理系统对于改善老年慢性病患者生活质量的作用进行了研究，发现该系统能够改善老年患者的行为和生活习惯，提高其健康意识。Kim 等^[66]开发了适用于地暖的老年人脊柱关节健康管理系统，包括可测量坐姿的座垫姿势平衡设备、能够实时收集姿势平衡数据的智能设备应用程序以及用于分析和可视化数据反馈的数据库服务器，并测试了系统可用性。虽然目前智能家居发展迅速，但是关于智能家居对人体健康影响的临床证据仍较为缺乏，目前尚无证据表明智能家居有助于治疗疾病、预防失能或提高生命质量^[60]。此外，关于智能家居利用影响因素、成本效益评估等方面的研究也较为缺乏。总体来看，智能家居技术水平还不能满足居家养老需求，后续在技术提升、多方研究方面还有待进一步提升。

3.5 人工智能(artificial intelligence, AI)

人工智能可以通俗地被理解为：使用计算机以最少的人为干预来模拟智能行为^[67]。人们普遍认为人工智能是从机器人的发明开始的。“思维机器”的概念始于20世纪30年代，Alan Turing 发明了能够进行智能运算的计算机^[63]。John McCarthy 在19世纪50年代末提出人工智能的概念，将其定义为“制造智能机器的科学和工程”，他也因此被称为人工智能之父^[63,67]。人工智能被广泛应用于医学诊断、医学统计、人类生物学、组学等医学领域。目前，医学领域人工智能主要有两个分支：虚拟和物理，其中虚拟分支包括从深度学习信息管理到控制健康管理系统(包括电子健康记录)的信息学方法，以及为医生治疗决策提供积极指导；而物理分支则主要由用于帮助老年患者或医生的机器人构成^[67]。人工智能在服务老年人方面发挥着重要作用，例如人工智能可以改善老年人与家庭成员或者护理团队之间的关系，聊天机器人可以与老年人无障碍交流、提醒老年人何时服药和定期体检等，人工智能软件可以帮助老年人筛选运动、饮食、生活方式等健康信息，机器宠物可以用来帮助老年人消除孤独感、减少痴呆患者的痛苦和紧张感等^[68]。可穿戴软机器人被用来预防老年人跌倒，康复机器人被用于失能老年人的肢体康复，社交机器人被用于改善认知障碍及疼痛患者的睡眠及活动^[69-71]。

人工智能还被用于疾病预测和监测、发病率或

死亡率风险评估、疾病诊断和治疗以及卫生政策和规划制定^[72-74]。此外，类似OpenAI公司所开发的语言模型ChatGPT等更为高级的人工智能模型正在被开发并付诸应用，有研究表明，ChatGPT可以被用于促进公共卫生，如提供疾病和环境健康危害信息、疾病预防和健康促进策略等。目前尚缺乏ChatGPT在老年健康管理方面的应用研究^[75]。人工智能在老年医疗护理领域扮演着多重角色，包括康复治疗师、情感支持者、老年人社会参与促进者、健康监督者、认知促进者等^[76]。目前人工智能技术研发数量与实际应用数量之间不成比例，多数人工智能技术还仅仅停留在实验阶段，没有投入使用，究其原因主要是缺乏临床验证，医疗卫生机构因怕担风险不愿意引入^[77]。因此，未来人工智能研究应聚焦实际应用，围绕老年人生活需求，开展更大规模技术研究，并付诸临床实践。

3.6 数字孪生医疗(digital twin health, DTH)

数字孪生(digital twin)概念于2003年提出，美国国家航空和航天局(NASA)常用的定义是：“数字孪生是一种集成的多物理、多尺度、概率模拟的竣工车辆或系统，使用最优的物理模型、传感器更新、车队历史等，以反映其相应飞行孪生的寿命”^[78]。Kharat 等^[79]将数字孪生定义为数字模型中真实物理事务系统的复制，利用人工智能、机器学习和软件分析与来自物理系统的大量数据的集成，用于系统优化、监测、诊断和预测。目前，数字孪生主要用于产品设计和运营管理、制造、产品寿命预测以及工业设备的实时监控，数字孪生概念与医疗技术相结合还较少。在数字孪生概念基础上，Liu 等^[80]对数字孪生医疗进行了定义：一种用于医疗活动或医疗系统的新模拟方法，它使用具有多学科、多物理和多尺度模型的数字孪生技术提供快速、准确和高效的医疗服务，主要由物理对象、虚拟对象和医疗数据等三部分组成。其中，物理对象可以是用于老年人、患者、社会行为、天气或政府政策等外部健康影响因素的医疗设备或可穿戴设备，或由部分(全部)上述单元对象组成的系统；虚拟对象分别是医疗设备模型、可穿戴设备模型、数字人模型、外部因素模型和数字系统模型；医疗保健数据包括来自医疗设备或外部系统的检测数据、来自可穿戴设备的实时监控数据、来自数字模型的模拟数据、来自医疗机构的历史数据和医疗记录，以及来自连接物理和虚拟空间的服务平台或系统的服务数据^[80]。近年来，数字孪生技术快速发展，在智能医疗领域

有着许多潜在的应用,既可用于个体精准医疗,也可用于公共卫生中的疫情防控^[81]。Lehrach等^[82]提出了一种个性化医疗保健系统——“虚拟患者”,该系统基于欧洲临床分子成像和多尺度传感器数据建立个性化模型,医务人员可以用高成本效益方式在精细的计算机模型上优化个人治疗策略。数字孪生技术对于实现精准公共卫生同样具有重要意义,例如在重大疫情爆发流行期间,Li等^[83]基于时空人群数据库搭建了一个用于追踪和管理疾病爆发的虚拟系统,通过邻近度分析快速获悉密接者信息并划定风险区域,并向公众发出警报,以帮助公众做好应对疫情的准备。此外,数字孪生技术也被应用于建立“虚拟养老院”,满足老年人居家照护服务需求。例如Fahim等^[84]基于数字孪生技术框架,利用居家老年人健康监测设备所收集的数据,创建了一座集成智能的虚拟养老院,为独自在家的老年人提供远程监测,并针对老年人需求提供健康干预,从而减轻了医务人员负担,并降低了护理机构运行成本。数字孪生技术在数字孪生方法、互操作协议标准化等方面还在逐步完善过程中,未来用于医疗数字孪生的软件开发工具包将会逐渐推广,补充现有软件工具的不足^[81]。此外,数字孪生技术所带来的伦理问题也不容忽视,特别是对具有“数字鸿沟”的老年人而言,可能会带来健康服务的不均衡与不公平^[85]。

4 结语

我国是世界上老年人口规模最大的国家,也是世界上老龄化速度最快的国家之一。推动实现健康老龄化,是实施积极应对人口老龄化战略的重要任务目标。面临健康需求与日俱增,老年数字化健康管理可以协助医务工作者高效地开展健康服务,优化老年人全生命周期健康服务,有效提高健康服务成本效益。老年数字化健康管理拥有广阔的发展空间,其应用场景涵盖居家生活辅助、健康监测和评估、健康教育和促进、远程医疗、康复护理等,由于突破了空间限制,这些应用场景完全可以融入居家、社区和机构等不同养老形态,满足老年人不同层次健康管理服务需求,因此发展老年数字化健康管理服务具有重要的实际应用价值。得益于互联网、5G、区块链、人工智能、云计算等新技术的创新发展,老年数字化健康管理技术正在从探索发展期转向快速增长期,在其蓬勃发展的同时,也面临着信息系统造价较高、创新技术支撑不足、临床验证缺

乏、科研成果转化不足、个人隐私泄露等问题。同时,由于身体机能下降,老年人在利用数字化健康服务时存在“数字鸿沟”,这也给老年人数字化健康管理发展造成阻碍。未来,在老年数字化健康管理发展过程中,应加强顶层设计,进一步提升老年数字化健康管理在医疗卫生体系中的地位;在保障个人隐私安全的前提下,为数字健康管理开发更具有成本效益的信息系统;加大老年数字化健康管理技术创新支持力度,鼓励增加对创新技术的投资,推动开发更多适老化产品;开展更多的临床试验来验证老年数字化健康管理技术对改善老年人健康水平的有效性;推动科学研究转化为实际应用,促进老年数字化健康技术商业化,增加其实用性和可负担性,让研究成果走出实验室,走进临床实践和日常生活,更好地服务老年人群,不断提升老年人健康预期寿命,推动实现健康老龄化。

[参 考 文 献]

- [1] 武汉大学国家发展战略研究院课题组. 实现人口大国的现代化要积极应对老龄化. 人口与发展, 2023, 29: 99-100+103
- [2] 刘慧君, 吴鹏. 健康老龄化服务效能指标体系构建与实证测度. 中国人口科学, 2023, (01): 114-28
- [3] 张持晨, 郑晓, 薛雅卿, 等. 2011—2020年我国健康管理领域研究现状及发展趋势. 中华健康管理学杂志, 2021, 15: 567-73
- [4] Schwamm LH, Silva GS. Advances in digital health. Stroke, 2023, 54: 870-2
- [5] 董建坤, 邢以群, 张大亮, 等. 健康老龄化: 理念、体系、能力与评估. 卫生经济研究, 2023, 40: 38-42
- [6] Beard JR, Officer A, de Carvalho IA, et al. The world report on ageing and health: a policy framework for healthy ageing. Lancet, 2016, 87: 2145-54
- [7] 王羽. 我国老龄健康政策近十年推进经验及未来思考. 卫生经济研究, 2023, 40: 1-3+8
- [8] 施小明. 新形势下我国老年人口面临的主要公共卫生挑战. 中华医学杂志, 2021, 101: 3613-9
- [9] McLaughlin K. Rural China is no country for old people. Science, 2016, 352: 283
- [10] Fang EF, Scheibye-Knudsen M, Jahn HJ, et al. A research agenda for aging in China in the 21st century. Ageing Res Rev, 2015, 24: 197-205
- [11] Hunter DJ, Brown J. A review of health management research. Eur J Pub Health, 2007, 17: 33-7
- [12] 陈君石. 标准是推进慢性病健康管理的关键. 中华预防医学杂志, 2020, 54: 6-7
- [13] Zhao M, Liu F, Liu W, et al. Health management in China. Int J Cardiol, 2014, 176: 234
- [14] Mondejar ME, Avtar R, Diaz H, et al. Digitalization to achieve sustainable development goals: steps towards a Smart Green Planet. Sci Total Environ, 2021, 794: 148539
- [15] Tappen RM, Cooley ME, Luckmann R, et al. Digital

- health information disparities in older adults: a mixed methods study. *J Racial Ethn Health Disparities*, 2022, 9: 82-92
- [16] Vidal E. Digital Literacy Program: reducing the digital gap of the elderly: experiences and lessons learned[C]. 2019 International Conference on Inclusive Technologies and Education (CONTIE), 2019: 117-20
- [17] Hong YA, Zhou Z, Fang Y, et al. The digital divide and health disparities in China: evidence from a national survey and policy implications. *J Med Internet Res*, 2017, 19: e317
- [18] Sun X, Yan W, Zhou H, et al. Internet use and need for digital health technology among the elderly: a cross-sectional survey in China. *BMC Public Health*, 2020, 20: 1386
- [19] Li SJ, Cui GH, Yin YT, et al. Associations between health literacy, digital skill, and e Health literacy among older Chinese adults: a cross-sectional study. *Digital Health*, 2023: 1-10
- [20] Swarthout M, Bishop MA. Population health management: review of concepts and definitions. *Am J Health Syst Pharm*, 2017, 74: 1405-11
- [21] Roux AV. On the distinction-or lack of distinction-between population health and public health. *Am J Public Health*, 2016, 106: 619-20
- [22] H.B.戈罗什科, E.K.叶梅利亚诺娃, C.B.帕察拉, 等. 人口老龄化条件下的健康预期寿命——新冠肺炎疫情时代的全球趋势. *社会科学战线*, 2022, (02): 210-7
- [23] 中华医学会健康管理学分会, 中华健康管理学杂志编委会. 健康管理概念与学科体系的中国专家初步共识. *中华健康管理学杂志*, 2009, 3: 141-7
- [24] Chapman LS. Population health management and the role of the case manager. *Case Manager*, 1999, 10: 60
- [25] Chapman LS, Pelletier KR. Population health management as a strategy for creation of optimal healing environments in worksite and corporate settings. *J Altern Complement Med*, 2004, 10: S127
- [26] Zwetsloot G, Pot F. The business value of health management. *J Business Ethics*, 2004, 55: 115-24
- [27] 王陇德, 陈君石, 黄建始, 等. 健康管理师[M]. 北京:人民卫生出版社, 2019
- [28] 中国健康管理协会. 慢性病健康管理规范(T/CHAA 007-2019). *中华健康管理学杂志*, 2020, 14: 12-4
- [29] 白书忠, 武留信, 吴非, 等. “十四五”时期我国健康管理发展面临的形势与任务. *中华健康管理学杂志*, 2021, 15: 3-6
- [30] IBM. Smarter Planet[DB/OL]. (2008) <https://www.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/smarterplanet/>
- [31] 陈敏. 2021年度我国智慧医疗新进展与展望. *中华医学信息导报*, 2021, 36: 6-7
- [32] 曾强, 高向阳, 白书忠. 智慧健康管理的理论与实践. *中华健康管理学杂志*, 2022, 16: 3-6
- [33] Bernardini S, Cianfrocca C, Maioni M, et al. A mobile App for the remote monitoring and assistance of patients with Parkinson's disease and their caregivers. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2018: 2909-12
- [34] Maeng DD, Starr AE, Tomcavage JF, et al. Can telemonitoring reduce hospitalization and cost of care? A health plan's experience in managing patients with heart failure. *Popul Health Manag*, 2014, 17: 340-4
- [35] Goh KLS, Lee CS, Koh CHG, et al. Evaluating the effectiveness and utility of a novel culturally-adapted telemonitoring system in improving the glycaemic control of Asians with type-2 diabetes mellitus: a mixed method study protocol. *Trials*, 2021, 22: 305
- [36] Tan X, Qi Z, Chen L, et al. A doctor-nurse-patient mobile health management system effectively controls blood glucose in Chinese patients with type 2 diabetes mellitus: a prospective study. *BMC Health Serv Res*, 2022, 22: 1564
- [37] Maria MS, Silvia AN, Beatriz DG, et al. Health care in rural areas: proposal of a new telemedicine program assisted from the reference health centers, for a sustainable digitization and its contribution to the carbon footprint reduction. *Heliyon*, 2022, 8: e09812
- [38] Wang H, Zhao Y, Yu L, et al. A personalized health monitoring system for community-dwelling elderly people in Hong Kong: design, implementation, and evaluation study. *J Med Internet Res*, 2020, 22: e19223
- [39] Pariser P, Pham TT, Brown JB, et al. Connecting people with multimorbidity to interprofessional teams using telemedicine. *Ann Fam Med*, 2019, 17: S57-S62
- [40] Meystre S. The current state of telemonitoring: a comment on the literature. *Telemed J E Health*, 2005, 11: 63-9
- [41] Kędzierski K, Radziejewska J, Sławuta A, et al. Telemedicine in cardiology: modern technologies to improve cardiovascular patients' outcomes-a narrative review. *Medicina (Kaunas)*, 2022, 58: 210
- [42] Searcy RP, Summapund J, Estrin D, et al. Mobile health technologies for older adults with cardiovascular disease: current evidence and future directions. *Curr Geriatrics Rep*, 2019, 8: 31-42
- [43] Li C, Neugroschl J, Zhu CW, et al. Design considerations for mobile health applications targeting older adults. *J Alzheimers Dis*, 2021, 79: 1-8
- [44] Tajudeen FP, Bahar N, Tan MP, et al. Understanding user requirements for a senior-friendly mobile health application. *Geriatrics (Basel)*, 2022, 7: 110
- [45] Ha SK, Lee HS, Park HY. Twelve smartphone applications for health management of older adults during the COVID-19 pandemic. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18: 10235
- [46] Silva S, Felgueiras R, Oliveira IC. Geriatric helper: an mhealth application to support comprehensive geriatric assessment. *Sensors (Basel)*, 2018, 18: 1285
- [47] Loh KP, Ramsdale E, Culakova E, et al. Novel mHealth App to deliver geriatric assessment-driven interventions for older adults with cancer: pilot feasibility and usability study. *JMIR Cancer*, 2018, 4: e10296
- [48] Yu S, Chai Y, Chen H, et al. Fall detection with wearable sensors: a hierarchical attention-based convolutional neural network approach. *J Management Inform Sys*, 2021, 38: 1095-121
- [49] Zhong R, Rau PP. A mobile phone-based gait assessment

- App for the elderly: development and evaluation. JMIR Mhealth Uhealth, 2020, 8: e14453
- [50] Fang YM, Chang CC. Users' psychological perception and perceived readability of wearable devices for elderly people. Behav Inform Technol, 2016, 35: 225-32
- [51] Li X, Huang X, Mo J, et al. A fully integrated closed-loop system based on mesoporous microneedles-iontophoresis for diabetes treatment. Adv Sci (Weinh), 2021, 8: e2100827
- [52] Liu Z, Liu J, Sun T, et al. Integrated multiplex sensing bandage for *in situ* monitoring of early infected wounds. ACS Sens, 2021, 6: 3112-24
- [53] Kim JN, Chong WS, Kim SH, et al. Health management monitoring system for use in classifying lower extremity movements of the elderly. J Mechan Med Biol, 2019, 19: 1940028
- [54] Li X, Zhan C, Huang Q, et al. Smart diaper based on integrated multiplex carbon nanotube-coated electrode array sensors for *in situ* urine monitoring. ACS Appl Nano Mater, 2022, 5: 4767-78
- [55] Alfonso P, Nachiket T, Giovanni M, et al. Blockchain and IoT integration: a systematic survey. Sensors, 2018, 18: 2575
- [56] Shakeri M, Sadeghi-Niaraki A, Choi SM, et al. Performance analysis of IoT-based health and environment WSN deployment. Sensors (Basel), 2020, 20: 5923
- [57] Zhang X, Wang F, Wang D, et al. Construction of community medical communication service and rehabilitation model for elderly patients under the internet of things. J Health Eng, 2022, 2022: 9689769
- [58] Liu CH, Tu JF. Development of an IoT-based health promotion system for seniors. Sustainability, 2020, 12: 1-12
- [59] Kashani MH, Madanipour M, Nikravan M, et al. A systematic review of IoT in healthcare: applications, techniques, and trends. J Network Comput Appl, 2021, 192: 103164
- [60] Liu L, Stroulia E, Nikolaidis I, et al. Smart homes and home health monitoring technologies for older adults: a systematic review. Int J Med Inform, 2016, 9: 44-59
- [61] Sovacool BK, Dylan D. Smart home technologies in Europe: a critical review of concepts, benefits, risks and policies. Renew Sustain Energy Rev, 2020, 120: 109663
- [62] Sevrin L, Noury N, Abouchi N, et al. Preliminary results on algorithms for multi-kinect trajectory fusion in a living lab. IRBM, 2015, 36: 361-6
- [63] Fritz RL, Dermody G. A nurse-driven method for developing artificial intelligence in "smart" homes for aging-in-place. Nurs Outlook, 2019, 67: 140-53
- [64] Xu J, Wang Y, Li B, et al. Vital signs monitoring system based on piezoelectric film sensors. J Phys Conf Ser, 2020, 1633: 012137
- [65] Han X, Zhong K, Wang J, et al. Study on the effect of the ballistocardiography-based "Internet + Smart Bed" health management system on the quality of life of elderly users with chronic diseases. Ann Transl Med, 2022, 10: 363
- [66] Kim K, Shin MY, Chong WS, et al. Study on the spine health management of the elderly using center of pressure data. J Mechan Med Biol, 2020: 2040041
- [67] Hamet P, Tremblay J. Artificial intelligence in medicine. Metabolism, 2017: S36-S40
- [68] Rong J, Ji X, Fang X, et al. Research on material design of medical products for elderly families based on artificial intelligence. Appl Bionics Biomech, 2022: 7058477
- [69] Pu L, Moyle W, Jones C, et al. The effect of a social robot intervention on sleep and motor activity of people living with dementia and chronic pain: a pilot randomized controlled trial. Maturitas, 2021, 144: 16-22
- [70] Park JH. The effects of robot-assisted left-hand training on hemispatial neglect in older patients with chronic stroke: a pilot and randomized controlled trial. Medicine, 2021, 100, 9: e24781
- [71] Hu X, Zeng X, Xu Y, et al. A soft robotic intervention for gait enhancement in older adults. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2021: 1838-47
- [72] Noorbakhsh-Sabet N, Zand R, Zhang Y, et al. Artificial intelligence transforms the future of health care. Am J Med, 2019, 132: 795-801
- [73] Schwalbe N, Wahl B. Artificial intelligence and the future of global health. Lancet, 2020, 395: 1579-86
- [74] Guo Y, Hao Z, Zhao S, et al. Artificial intelligence in health care: bibliometric analysis. J Med Internet Res, 2020, 22: e18228
- [75] Biswas SS. Role of Chat GPT in public health. Ann Biomed Eng, 2023, 51: 868-9
- [76] Ma B, Yang J, Wong FKY, et al. Artificial intelligence in elderly healthcare: a scoping review. Ageing Res Rev, 2023, 83: 101808
- [77] Cinini A, Paola C, Ferraris C, et al. Final results of the NINFA project: impact of new technologies in the daily life of elderly people. Aging Clin Exp Res, 2021, 33: 1213-22
- [78] Glaessgen E, Stargel D, David. The digital twin paradigm for future NASA and U.S. Air Force Vehicles[C]. 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, 2012
- [79] Kharat R, Bavane V, Jadhao S, et al. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. Global J Eng Sci Res, 2015, 18: 6-15
- [80] Liu Y, Zhang L, Yang Y, et al. A novel cloud-based framework for the elderly healthcare services using digital twin. IEEE Access, 2019, 7: 49088-101
- [81] Kamel Boulos MN, Zhang P. Digital twins: from personalised medicine to precision public health. J Pers Med, 2021, 11: 745
- [82] Lehrach H, Ionescu A. The future of health care deep data smart sensors virtual. Medicine, 2016
- [83] Li DR, Yu WB, Shao ZF. Smart city based on digital twins. Comput Urban Sci, 2021, 4: 1-17
- [84] Fahim M, Sharma V, Hunter R, et al. Healthy aging a deep meta-class sequence model to integrate intelligence in digital twin. IEEE J Trans Eng Health Med, 2023: 330-40
- [85] Bruynseels K, Santoni de Sio F, van den Hoven J. Digital twins in health care: ethical implications of an emerging engineering paradigm. Front Genet, 2018, 9: 31