DOI 10.15302/J-SSCAE-2023.05.008

智慧主动健康服务框架构建与应用策略研究

梁超[1]，王华[2]，汤立许[1*]

（1. 武汉体育学院武术学院，武汉 430079；2. 华中科技大学同济医学院附属同济医院管理研究所，武汉 430030）

摘要：加快智慧主动健康服务的创新应用是新时代推进健康中国建设的重要构成，也是后疫情时期满足民众健康需求的有效举措。本文围绕构建智慧主动健康服务新范式，以提高主动健康干预和管理能力、为民众提供高质量健康服务为主旨，分析了主动健康服务的发展现状与困境，概括了其智慧化发展趋势；阐述了智慧主动健康服务的概念、内涵，并基于结构化分析方法，凝练了智慧主动健康服务的技术体系；构建了智慧主动健康服务“一个中心、一个门户、三个端点”的应用框架并提出了内外协同的生态系统；从技术集成和智能应用维度总结了智慧主动健康服务的应用场景与实践案例。研究建议：强化宏观政策工具，改善自身发展环境；提高民众数字素养，重塑服务参与氛围；构建服务标准体系，筑牢内部数字生态；打造多元供给格局，持续增进服务质量；加快“产学研用”融合，提升科技成果转化，以推进我国智慧主动健康服务的可持续、高质量发展。

关键词：智慧主动健康服务；运动促进健康；技术体系；应用框架；建设生态

中图分类号：G8　　**文献标识码：**A

Framework and Application Strategy of Smart Proactive Health Service

Liang Chao[1], Wang Hua[2], Tang Lixu[1*]

(1. School of Wushu, Wuhan Sports University, Wuhan 430079, China; 2. Tongji Hospital Management Institute Affiliated to Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China)

Abstract: The innovative application of smart proactive health services is an important component of the Healthy China initiative and an effective measure to satisfy the diversified health needs of the public in the post-epidemic era. This study focuses on building a new paradigm of smart proactive health services and aims to improve proactive health intervention and management capabilities and provide high-quality health services for the public. It analyzes the current status and challenges of proactive health services, summarizes the smart development trend, and proposes the concept of smart proactive health services. Moreover, the study constructs a technical system of smart proactive health services using a structured analysis method, establishes an application framework consisting of one center, one portal, and three endpoints, and proposes a construction ecology featuring internal and external collaboration. The application scenarios and practical cases of the smart proactive health services are summarized in terms of technology integration and smart application. Furthermore, we propose the following suggestions to promote the sustainable and high-quality development of smart proactive health services in China: (1) strengthening macro policy tools to improve the development environment; (2) improving the public's digital literacy to reshape the atmosphere for service participation; (3) building a service

收稿日期：2023-04-12；**修回日期：**2023-06-07

通讯作者：*汤立许，武汉体育学院武术学院教授，主要研究方向为数字体育与主动健康；E-mail: tanglixu@126.com

资助项目：中国工程院咨询项目“全民健康管理工程研究”(2022-XBZD-21)；国家社会科学基金项目(22BTY104)；湖北省高等学校哲学社会科学研究重点项目(21D090)；湖北省高等学校哲学社会科学研究重大项目(20ZD079)

本刊网址：www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

standards system to improve the internal digital ecology; (4) creating a multiple supply pattern to continuously improve service quality; and (5) accelerating the integration of industry, academia, research, and application to enhance the commercialization of research findings.

Keywords: smart proactive health services; sports for health; technology system; application framework; construction ecology

一、前言

“人口红利”减弱与疾病谱系改变，致使我国将持续面临人口老龄化、慢病年轻化的巨大压力；不良生活习惯与行为导致我国70%的人口处于亚健康状态，由此造成医疗支出持续升高、民众生活质量下降等社会问题，严重影响我国社会经济的高质量发展[1,2]。在“治已病”向“防未病”和“以疾病治疗为中心”向“以人民健康需求为中心”的健康理念转变下，传统医疗服务模式已无法满足当前民众的多元健康需求，亟需注入新的活力以应对当前的健康问题[3]。《“健康中国2030”规划纲要》[4]中强调，“通过关口前移积极应对健康问题”标志着主动健康服务未来将成为我国医疗体系的重要组成部分；“将科技创新作为提高健康水平提供的有力支撑”为主动健康服务的发展与创新指明了方向。随着数字技术在医疗健康领域的深化融合，智慧主动健康服务为满足居民多元化的健康需求和防治慢性疾病提供了新的思路。大力开展数字技术与主动健康服务的融合建设，调动广大人民积极参与智慧主动健康服务管理，既是时代之需，也是未来之求。

主动健康服务的智慧化转型已成为大势所趋[5]，数字技术与健康服务的联动融合成为学界研究的新领域。在基础理论研究中，既有研究多以赋能视角审视数字技术与健康产业、健康服务的关系，因此，常被缠绕在数字技术应用创新的逻辑主线上[6,7]；在实践应用研究中，既有借鉴发达国家健康服务数字化转型的经验总结[8,9]，也有梳理数字技术在健康服务领域发展的具体实践，如智能化健康服务系统[10]、运动健康产业数字化转型[11]、智慧社区体卫融合服务精准供给[12]等。总体来看，相关研究多为针对数字技术与健康服务融合的某一具体模块探析，未能以主动健康服务为逻辑主线，对其智慧化转型的运行模式、内在构成、应用实践、建设路径等核心问题进行系统梳理。本文以主动健康服务的发展现状和所遇到的现实问题为切入点，概括其智慧化转型发展趋势，重点分析智慧主动健康服务的概念、内涵与技术体系，凝练智慧主动健康服务发展应用中的共性模式和生态系统，从技术集成和智能应用维度总结智慧主动健康服务的应用场景与实践案例，最后提出发展建议，以期推动我国智慧主动健康服务高质量发展，助推“2030健康中国”战略落地。

二、我国主动健康服务的发展现状

（一）主动健康服务的发展态势

在后疫情时代科技创新新趋势下，主动健康服务已发展成一种集“生物－心理－社会”为一体的医学新模式[5]。从理念上看，主动健康服务秉承整体观，坚持以人为本，将人体看作整体性复杂系统进行诊疗干预。从内容上看，主动健康服务突破了医学视域的狭隘性，宏观层面将健康发展要素主动融入所有政策，把人民健康放在优先发展的战略位置；中观层面为多元主体协同健康治理与产业创新发展；微观层面指以个体健康需求为核心的综合性健康管理服务，其中以运动锻炼为主要健康干预方式，通过规律运动改变个体行为与生活习惯，促进健康水平提升[13]，这也是本文特指的主动健康服务。从过程上看，主动健康服务是涵盖疾病预防、诊断、治疗、康复、预后、护理的全健康服务链，强调连续、全面、动态、实时地监测与反馈人体的健康状况，以保持人体长期健康状态[5,14]。上述主动健康服务的发展变革离不开数字技术的赋能加持，其智慧化转型趋势在政策环境、产业发展、实践应用中得以展现。

主动健康服务的良性发展环境已形成。“将健康融入所有政策”指导方针的提出，为主动健康服务实施提供了具体的、可操作的方法和路径。健康中国、体育强国、数字健康等战略规划中重点提及了“健康关口前移”“全人类、全生命周期健康管理”“运动健康促进新模式”“数字技术+健康需求创新融合”等关键措施[6,15,16]，说明国家层面对主动健康服务的关注上升到了新高度，对数字技术在主动健康服务中的应用发展给予了大力支持，这无疑

为主动健康服务的智慧化范式创新创造了良好的生长环境。

主动健康服务的产业发展前景广阔。得益于健康消费需求的释放和政策红利的引导，目前我国大健康市场规模已达到13万亿元，市场规模年复合增长率高达13%，已跃居为全球第二大健康市场[17]。在市场与科技的双重驱动下，“运动健康+主动管理”式服务已成为新发展趋势，创新出“课程+运动+社交”的APP软件、“智能设备+运动监测”的健康管理产品；运动康养服务也通过嵌入智能设备实现产品服务的模式创新。相关产业在创造社会财富的同时，也进一步扩大了健康内需，正在呈关联度高、产业链长、融合性强、辐射面广的态势发展[18]。

主动健康服务的实践应用初见成效。① 服务对象社区化，一改以往以医疗机构为主场域的实践应用方式，涌现出运动健康社区、全民健身中心、健康小屋等新模式[13]，将主动健康服务下沉基层，为全年龄段居民提供全生命周期的专业化、个性化健康管理服务。② 运营模式多样化，采取公建公营、公建民营、民建民营等形式，形成政府主导、市场协同、社区提供、群众参与的多元主体协同运营模式[12]。③ 应用创新数字化，现代科学技术已逐步应用于健康检测、智能运动处方（运动指导书）生成、科学健身指导、康复护理、运动科普和运动营养指导等主动健康服务之中，为闭环式流程的服务应用提质增效[14]。

（二）主动健康服务的发展困境

尽管我国主动健康服务在政策融入、产业发展、实践应用方面取得一定成效，但也需清醒认识到，主动健康服务能力的持续提升和实践应用仍遭遇诸多挑战[12,13,19,20]。① 资源配置存在滞后，服务场域存在数据采集、健康监测、运动康复等设备配置不足，无法为民众提供系统性、可持续的主动健康服务。② 健康需求难以洞察，缺少多元化需求反馈渠道，服务过程中指导医师制定的运动处方和管理计划常基于自身主观经验，降低了用户参与能动性。③ 服务缺乏有效治理，服务建设与开展过程中需要协调的部门和专业人数较多、组织难度大，受制于各主体传统职能的局限，目前难以形成协调互补的利益共生体给予有效治理。④ 服务过程难以把控，在服务开展时虽已应用模块化系统平台，但数字化转型程度不足，无法实现健康数据的系统化整理和智能化分析，缺乏动态评估，导致无效干预、运动损伤等问题频繁发生。⑤个性化服务实现困难，当前主动健康服务主要是针对某一类人群，采用制定干预方案–执行干预方案–进行预后评估的服务方式，缺乏对用户前置基础信息与健康情况的调查分析，造成管理方案的针对性和科学性不强，无法保证服务提供的精准性与个性化。针对上述困境，亟需采用数字技术与人工智能的开放性、无边界性、强互动性等优势来解决，加速主动健康服务模式更新迭代，实现智慧化范式创新。

三、智慧主动健康服务的概念、内涵与技术体系

（一）智慧主动健康服务的概念、内涵

智慧主动健康服务指在数字技术集成与人工智能应用的赋能下[21]，发挥运动促进健康的价值潜能，深化其与主动健康管理间的嵌入融合，以调动行为主体积极参与运动健康干预和主动健康管理，实现重塑运动健康素养，养成规律运动习惯，改变健康管理行为的“便捷式、协同化、定制化、精准化、智能化”健康服务（见图1）。① 便捷式。利用小型质轻、方便携带、简单操作的智能设备辅助运动干预和健康管理，在提高服务效能的同时，拓宽了以家庭和社区为主的应用场景。② 协同化。协同使用多种数字技术，实现主动健康服务过程中物理空间与数字空间的双向同步映射，形成政府主导、市场协作、社区开展，体育、卫生医疗、社会组织等协同的脱域型虚拟集聚模式，在服务提供与开展过程中发挥多元主体的资源共享与价值共创协同效能。③ 精准化。应用大数据技术促进健康数据效能发挥，对用户体征与现实需求进行“精准感知–精准聚类–精准测量–精准监测”的闭环分析，为健康管理过程中及时的反馈调控提供决策支撑。④ 定制化。利用深度学习工具和数学模型对用户进行数字孪生构建，采集当下健康数据并以此调整其参数，完成对用户当下健康状况的预测性评估，并以此为参考推送个性化专属健康服务。⑤ 智慧化。基于上述数字技术的集成与人工智能的应用创新，激发运动促进健康的多维价值潜能，在提高运动干预核心驱动作用的同时，推动主动健康服务过

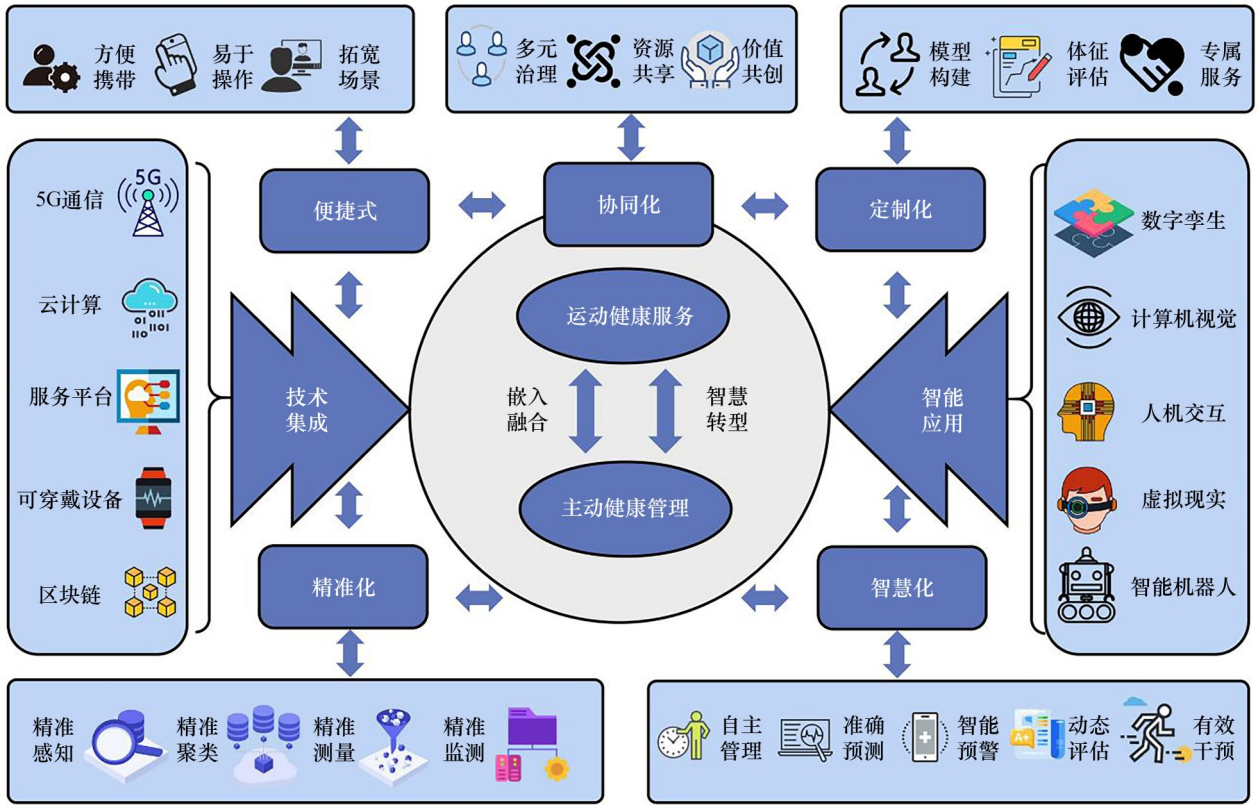

图1　智慧主动健康服务的概念、内涵

注：5G指第五代移动通信。

程“智能感知、智能思考、智能决策”的演进，打造出“主动管理–精准预测–智能预警–动态监测–有效干预”的服务闭环。

（二）智慧主动健康服务的技术体系

智慧主动健康服务技术体系的构建要同时保证开放性和稳定性，以适应持续创新的技术形态和不断变更的服务需求。体系构建的常用研究方法为面向过程的结构化分析方法[22]，即参照系统内部信息与资源传递关系进行系统功能的细致分解，最终构建出满足用户需求的技术体系。鉴于该方法秉承过程性分析思路，同样以用户需求为核心，这与智慧主动健康服务的特征属性相契合，因此，本文采用结构化分析方法进行智慧主动健康服务技术体系的构建。参照结构分析方法，智慧主动健康服务的技术体系由用户服务、技术集、技术应用的逻辑框架三部分构成。

1. 用户服务

智慧主动健康服务包含计划生成阶段和长期管理阶段[23]。① 计划生成阶段服务内容：精准预测健康风险与处方推送，将身体活动纳入生命体征，对身体机能状况进行智能化综合评估，以可视化形式展现，在规避运动风险的同时，精准定制或推送运动处方和健康管理计划。② 长期管理阶段服务内容：用户在使用辅助移动智能设备执行计划方案时，以“柔性可穿戴设备+数字监测系统+人工智能建模”的形式进行动态生物信号采集分析，对用户的健康状况异常提供预警服务。任务完成后对用户的完成情况和结局指标进行综合性评价，并基于评价结果给予计划方案的反馈调控，以闭环服务模式帮助用户养成规律运动的健康生活习惯，实现用户自主健康管理行为态度的改变。此外，服务还涉及智能化运动与健康教育，包括智能检索运动与健康需求信息、精准推送运动与健康宣教内容、虚拟现实下运动与健康知识科普等服务。

2. 技术集

智慧化转型的过程是由数字技术集成向人工智能应用发展的过程[24]，因此，从这两个维度总结智慧主动健康服务实践过程中所应用的技术总和。① 技术集成维度，特指一切应用于运动干预和健

康管理的数字技术与设备集合，包括但不限于健康信息采集时的智能可穿戴设备与传感装置、健康数据储存分析时的各项大数据技术、健康管理应用时的各类系统服务平台，以及5G通信与导航技术等基础底座。智慧主动健康服务的技术集成并非一成不变，随着科技进步和健康需求变化，未来将会有更多的新型数字技术集成其中。② 功能实现维度，在技术集成的基础上各类数字技术相互嵌入融合，对主动健康服务的作用由数字化转型升级至智能化创新应用，激发健康数据生态、智慧服务系统平台、多模态人机交互、数字孪生等技术的功能实现，进而重构服务组织模式，实现主动健康服务的智慧化范式创新。

3. 技术应用的逻辑框架

将各项数字技术应用至主动健康服务全过程中，并发挥自身技术优势，在提高服务质量与效益的同时，满足用户多元化的健康需求。首先，用户由智能穿戴设备和体质监测设备进行健康数据采集，建立电子健康档案并储存至系统平台，基于大数据技术构建的分析预测模型对健康数据进行分析，并以可视化形式展现，专业医师利用分析结果进行各项体征评估，以此划分用户健康等级、制定推送运动处方与健康管理计划。其次，用户在运动处方师与专科医师的远程监督指导下开始接受运动干预和自我健康管理，经服务平台对用户自我监测进行远程监督，当用户出现不良事件或管理依从性下降时，系统会作出积极反馈，及时提醒用户并上报至管理医师。在运动干预过程中，基于自我监测数据的达标情况，结合危险评估结果发出智能预警，依据用户目前的健康状况进行动态调整。遵循所制定的自我管理方案执行运动锻炼和自我监测，同时监管饮食、情绪、睡眠等健康行为。最后，指导医师通过监测数据与分析结果对用户进行综合评价，经平台对用户给予及时反馈和定期随访，了解其生活状况与计划方案调整。此外，健康管理师依据患者状况与需求进行主动健康科普教育的内容推送，以提高用户的健康意识与自我管理行为（见图2）。

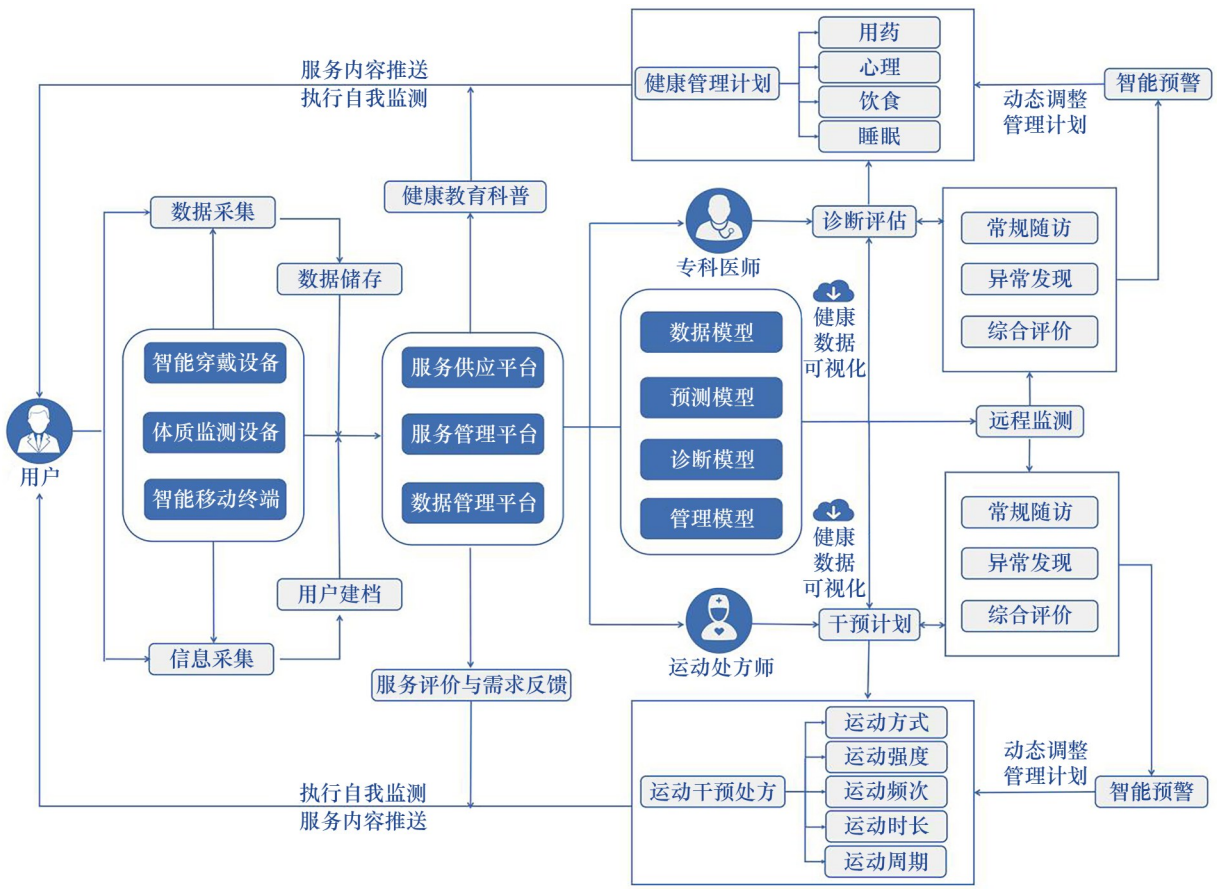

图2　智慧主动健康服务技术应用的逻辑框架

四、智慧主动健康服务的应用框架与建设生态

（一）智慧主动健康服务的应用框架

在智慧主动健康服务技术体系基础上，构建“一个中心、一个门户，三个端点”的智慧主动健康服务应用框架，以虚实交互、灵活多样、精准定制的形式实现“人机物”融合，推进用户使用主体、服务提供主体、健康治理主体间信息与资源的互联互通，重塑各类服务应用场景，形成智慧主动健康服务实践发展的长效运行机制（见图3）。

“一个中心”指以智慧主动健康服务支撑平台为中心，将物理空间各应用端点和数字空间服务要素相链接。一方面，创新出虚实交互的服务提供模式；另一方面，形成“线上+线下”双向联动的服务治理模式。“一个门户”指根据各端点的实际需求和具体工作内容，进行服务提供、信息传输、需求反馈的“入口”。“三个端点”指参与健康服务的用户端、提供诊疗与制定计划的医师端和服务建设发展的治理端。用户端以社区、学校、家庭为服务场景，由用户个人以及配套的健康数据采集设备组成。医师端以医院和医疗机构、康复服务机构的专业医师为主体，主要针对用户状况和需求制定管理计划与检测干预过程。治理端包括政府主导下的市场、社会组织、科研机构等健康治理主体，经服务支撑平台中枢与用户端和医师端相链接，形成服务治理供需链，完成政策制定、资源配置、产品研发等治理职能。各地区、各主体将此框架作为智慧主动健康服务的应用与治理范式，并根据实际情况改变服务具体形式和内容，实现智慧主动健康服务的体系可演进、模式可复制、应用可推广。

（二）智慧主动健康服务的建设生态系统

为智慧主动健康服务的发展营造良好的建设生态系统，以增强其创新性和韧性。智慧主动健康服务的建设生态系统包括内部生态系统和外部生态系统[25]（见图4）。

1. 内部生态系统

内部生态系统由健康数据生态圈、健康平台生态系统、数字健康“新基建”构成，三者相互融合、协同发展，为智慧主动健康服务的技术应用提供重要支撑。

数据作为新型生产要素，已成为不可或缺的基础性、战略性资源[26]。建立健全的健康数据生态圈，

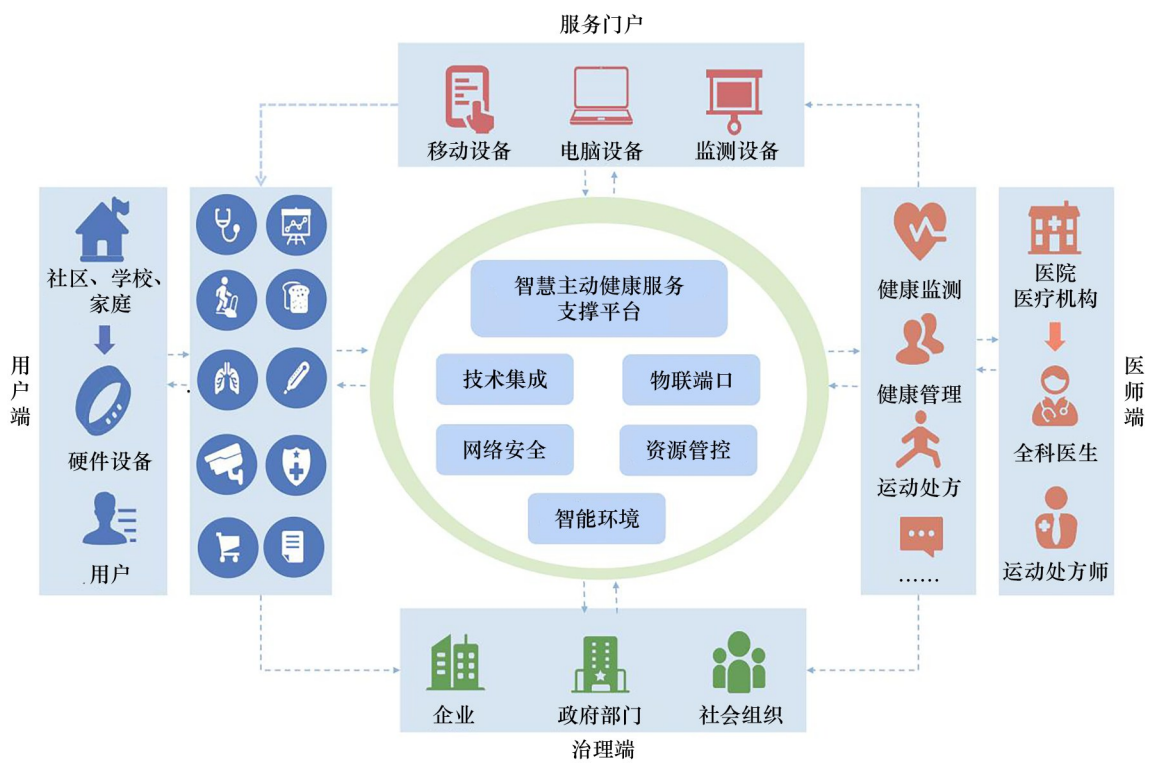

图3 智慧主动健康服务的应用框架

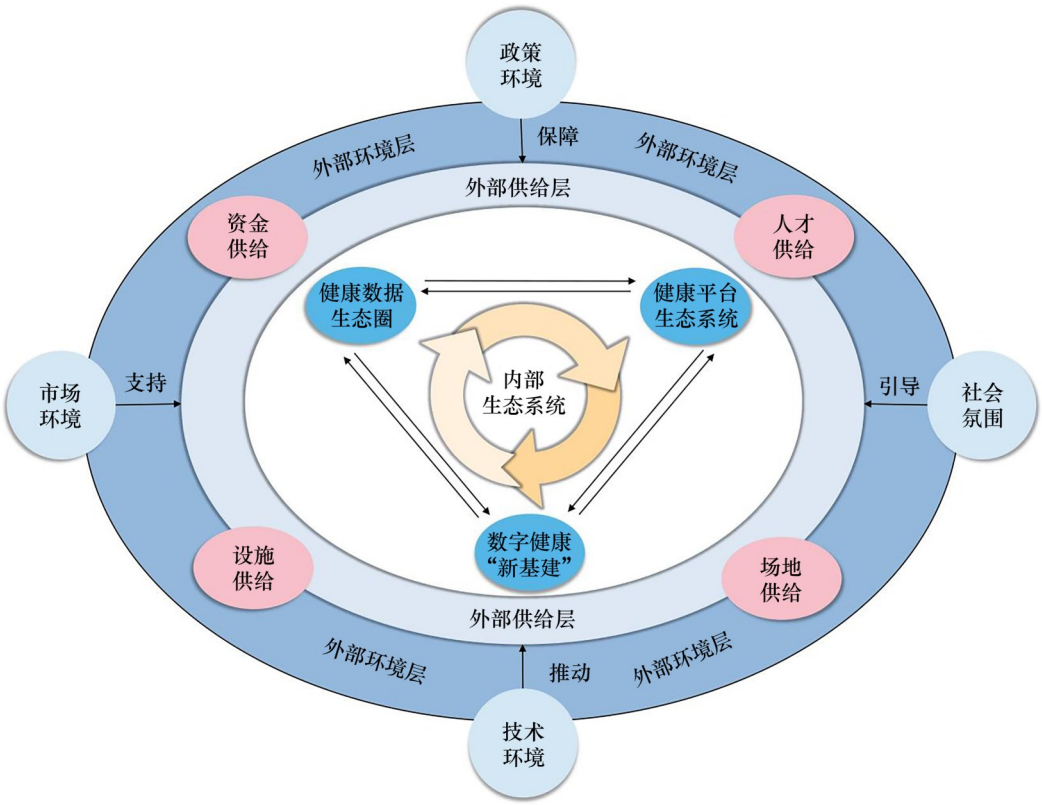

图4　智慧主动健康服务的建设生态

优化主动健康管理过程中健康数据生产–采集–共享–管理的良性闭环。利用健康数据驱动效能来提高运动与健康管理服务的科学性、主动性与精准性。

健康平台生态系统在不断重塑服务内容与边界的同时，也提高了多元主体价值共创的效能。以提供主动健康服务为核心内容，通过供给端主导下的服务型平台、需求端主导下的社区型平台、多元主体协同下的治理型平台互嵌共生，打造出政府统筹、赋能基层、区域协同、多元共享的健康治理模式。

数字健康“新基建”的覆盖程度决定了智慧主动健康服务的精细程度与应用广度。将物联网、大数据、云计算、人工智能等技术在大健康领域深入部署，以信息基础设施为底座、以融合基础设施为应用、以创新基础设施为动能，为智慧主动健康服务提供便捷化、处方推动精准化、管理过程智能化提供有力支撑。

2. 外部生态系统

外部生态系统由供给层和环境层构成。外部生态系统各层级间的相互促进可带动内部生态系统的协同发展，形成内外交互与融合发展的建设生态。

环境层指服务主体和服务应用所处的具体环境，主要包括政策环境、市场环境、技术环境、社会氛围。其中，稳定的政策环境为服务建设发展提供保障；开放的市场环境为相关产业升级提供支持；发达的技术环境为服务应用实践提供动力；良好的社会氛围能充分引导民众积极参与服务建设。四者相互协同、相互促进，为智慧主动健康服务营造良好的建设环境。

供给层旨在为智慧主动健康服务的建设发展提供一切外部力量与资源，主要包括资金供给、设施供给、人才供给和场地供给。作为内外部生态系统的交界，供给层在整个建设生态中可开展双向交互对话。一方面，外部良好环境的营造可深化服务供给侧结构重塑，表现为激发供给主体活力、优化服务供给内容、创新多元供给方式，提高各项资源配置的精准性和有效性。另一方面，各项供给资源经供给层输送至内部生态系统，为内部生态系统宽领域、深层次构建发展提供源动力，同时经内部生态系统及时反馈健康服务需求至供给层，可进一步调节优化供给层的组织结构和实施过程。

五、智慧主动健康服务的应用场景与实践案例

（一）数字技术集成维度

1. 可穿戴技术（WT）

WT 是主动健康管理中用户内部调节与外部感知的桥梁，应用场景循着体内数据采集 – 感知体外信息 – 调控体内状态 – 改变外部行为的路径开展，用户可感知和监测自身生理状况及周边环境，享受健康数据精准采集、生命体征动态监测、个人状况实时反馈等智能化服务。此外，针对用户适用性、易用性健康服务需求，高新科技材料逐步应用于可穿戴设备的器件与系统集成之中，正在向柔性化、多模态、自驱动、高精度方向发展。

可穿戴设备的运动健康功能研发。目前以高血压管理、智能体温监测和冠心病筛查三大健康研究项目为核心，以运动穿戴产品研究、标准研发、检测认证、展示体验、产业孵化为引领，已创新出基于 WT 的主动健康管理服务新模式[27]。通过可穿戴设备对用户和环境的感知，构建科学运动体系，量化身体活动能力，记录与分析训练数据，以提供个性化的训练计划和指导建议。

适用于身体活动复杂变化的柔性智能穿戴设备。为满足身体活动时的动态复杂变化，利用三维（3D）生物材料打造的 WB2F3D 传感器系统，贴附于人体皮肤，以近场通信（NFC）电路模块将测量的 pH 值无线传输到智能手机上，在安卓（Android）程序中实时监测身体活动时的机能状态[28]。将电生理监测与身体化学传感相融合，能够同时监测人体内的多种信号，以非侵入性的方式收集大量健康信息，帮助监测身体活动时的血糖、汗液乳酸、心率、血压等指标，提高了健康监测的全面性[29]。

2. 健康大数据技术

健康大数据技术为精准制定个性化健康服务提供参考依据，并有效辅助服务过程中用户与医师的行为决策。应用场景为将区块链技术赋能于健康管理服务全流程，实现医疗机构、社区、用户等实体间的健康信息透明共享，并提高服务中隐私数据的安全性。同时，为充分发挥健康数据的多维价值，采用数据库和数据智能系统进行融合治理，对服务中的多源异构数据信息进行采集、分析、建模处理，形成大数据驱动下的健康服务治理新模式。

区块链技术嵌入运动指导和慢病管理服务闭环。以区块链为核心技术的 Med-PPPHIS 模型，将体质监测时采集的健康数据信息进行加密，传输过程均需要数据拥有者的授权，一旦健康数据在链上被标记化，便会刺激多个角色间的数据流动，保证个人隐私信息的安全[30]。监测人员和用户在 Med-PPPHIS 中创建使用账户，生成相应的公钥和私钥，用户填写健康问卷、运动风险筛查问卷等，同体质监测与运动功能评估数据一并在区块链模型中加密存储，与运动处方库进行智能合约匹配，将处方建议推送至用户端。同时授予医师监测数据的访问权限，对运动干预效果进行综合评估，如未达到预期目标将对运动处方计划重新调整，并重复上述流程。

运动健康服务数据库的构建。英国的 ReferAll 数据库整理了 39 283 人的 123 个运动转介服务项目数据，并将数据托管至免费的开放科学中心运营平台，以供服务从业者、用户、相关研究者、政策制定者公开查询。为保证健康数据的隐私安全，运动健康服务数据库遵循《全球数据保护条例》（GDPR），在受试者知情同意下才能将其数据信息进行共享[31]；基于大数据支持的智能医疗系统架构（BSHSF），该系统具备可拓展性及高容错性，将多源异构的健康数据进行集成融合与智能化处理，提高了体征评估、方案制定、远程指导等服务的信息匹配效率，加速了用户与健康治理主体间数据信息的互联互通[32]。

3. 健康服务平台

健康服务平台基于自身的网络效应、规模效应、零边际成本等优势，在优化服务流程、提高服务效能、降低服务成本等方面发挥重要作用，其应用场景通常配合可穿戴设备与大数据技术，以平台化服务为依托，以民众健康需求为导向，有效匹配主动健康服务供需链平衡，提供运动处方、健康教育、睡眠饮食等远程管理服务。此外，通过平台打通不同参与主体和服务业务间的数据流、信息流、资源流，形成多元主体协同参与的合作机制和多方共赢的利益机制。

为民众提供“一站式”的健身指导服务平台（“运动促进健康”）。该平台核心为“两库两指南”（包括运动处方库和社区运动健康师库，运动膳食营养指南和科学健身指南）[33]。运动处方库旨在基于用户情况，智能推送运动处方；社区运动健

康师库为用户就近匹配运动健康师，进行点对点线下健身指导。科学健身指南为用户从事运动健康服务提供视频指导；运动膳食营养指南以“食动平衡”为切入口，针对用户健康状况进行科学饮食搭配与健康管理。此外，运动健康师通过平台可对用户健康数据进行上报、变更、管理，以供反馈与调整运动处方计划，打造出集“体质监测、运动干预、科学指导、营养康复”为一体的主动健康服务新模式。

人工智能驱动下的慢病患者自我健康管理平台。基于“助推理论”所研发的2型糖尿病患者健康管理平台，利用深度学习技术对血糖测量、运动健身、营养摄入等行为进行助推干预[34]。如平台采用宏量营养素检测算法分析患者上传的餐图，并将食物的宏量营养信息反馈至患者与临床医生，临床医生通过门户网站，查看患者自我管理方案的进展情况，制定个性化的饮食建议与运动方案并推送给患者。该平台服务触点连接家庭（用户）、社区、医院、专业康复机构，可根据患者状况经智能网联推送双向转诊服务，打造出以平台为依托的用户行为引导、交互、反馈式健康管理闭环。

（二）人工智能应用维度

1. 计算机视觉（CV）

CV通过模拟人类视觉系统，基于深度学习建模，可对外界物体进行动态特征提取，实现对目标事物的精准测量。目前CV在主动健康服务中的应用场景如下：一方面，精准监测能量消耗，对用户居家身体活动进行远程监测，估算日常生活中的能量消耗；另一方面，精准捕捉与分析动作，利用智能移动设备的摄像头捕捉身体活动的二维画面，经智能算法重建人体3D运动模型，精确捕捉人体运动图像并自动判断动作是否达标。

基于CV技术的个性化能量评估模型。使用住宅环境中医疗保健传感器平台（SPHERE）进行个性化能量消耗估算[35]。通过平台对镜头下用户的11项日常生活动作图像进行非接触式采集，使用深度学习算法对视频图像动作进行能量消耗评估，形成个性化的热量评估模型，在数据采集过程中算法模型被不断优化，以每32 s的间隔时间连续监测用户的能量消耗，实现了全周期、常态化、精准性的用户居家能耗计算与评估。

采用3D Move AI算法构建的人体三维评估模型进行动作捕捉和功能分析。新型对练智能运动康复系统无需传感器与设备的辅助，利用CV技术判断动作是否标准[36]。用户手机端登陆后可按提示开始训练，界面同时显示运动实时画面和标准动作，用户像“照镜子”一样参照标准动作进行训练。系统将实时捕捉人体运动轨迹，并计算身体关键部位的角度变化，用户根据画面中的角度变化提示将自身动作纠正至合理范围，减少了动作幅度过大、维持时间不够等错误的出现。在动作长时间不达标的情况下，系统会及时进行语音提示辅助患者纠正动作，充分体现了“对着练，练得对”的服务宗旨。

2. 数字孪生技术

数字孪生作为新一代数字技术的集大成者，能够监测、理解和优化人类行为，并提供持续健康的洞察力，可提高生活质量和健康福祉。具体应用场景如下：以“数字+仿真”的智能应用模式建立用户数字孪生体，通过虚实映射实现用户全周期健康管理；利用人工智能消除健康管理中异构数据间的操作障碍；采取机器学习所构建的虚拟模型实时反映用户体征变化并进行健康预测；经智能模型辅助决策实现健康预警报送。

个性化健康管理的数字孪生系统。该系统由数据模型、预测模型、诊断模型、管理模型构成。利用采集患者健康数据的数学模型和深度学习模型构筑出患者数字孪生体，将采集数据经网络传输至系统平台并与数字孪生体对应，从不同角度对患者进行虚拟化评估与可视化展示，并根据测量数据同步更新虚拟模型。同时系统中还嵌入了一种基于机器学习的模型预测控制（LB-MPC）算法，对患者身体活动、营养摄入、血糖变化等进行持续监测。采用个性化健康管理的数字孪生系统对15名患者进行临床模拟实验，结果表明患者的胰岛素注射量下降了14%~29%，症状得到显著改善[37]。

3. 康复机器人

康复机器人是近年来快速发展的高端康复医疗技术，是机器人技术与医疗技术结合的产物，具备数据采集、辅助训练、控制决策、人机交互等多种功能，可帮助运动功能障碍人群和残疾人士提高康复治疗效率与生活质量。主动健康服务中应用的康复机器人通常扮演辅助设备角色，以协助患者进行

身体活动干预。穿戴式外骨骼机器人具有延伸补偿身体活动能力的作用，已被逐步应用于社区康复服务之中，为特殊人群享受健康服务提供可能。

仿生学构造下的穿戴式康复机器人。一款名为“Arque”的穿戴式机械尾部装置，其产品设计模仿海马尾部的骨骼构造，本体由数个关节相互连接而成，在关节内部放置气压式人工肌肉促动器，可实现尾部 8 个方向的活动[38]。用户上半身佩戴身体分析装置以计算重心，通过信号传导至尾部装置，以保持低强度运动过程中的身体平衡。该装置通过维持用户身体平衡以减少运动时跌倒和损伤等不良事件发生，适用于运动功能障碍患者或老年人群。

六、发展建议

（一）强化宏观政策工具，改善自身发展环境

出台相关公共政策，进一步完善智慧主动健康服务政策环境，发挥顶层设计与项目规划的导向作用。① 从国家层面建立政策支持体系。建议国家体育总局、国家卫生健康委员会、国家发展和改革委员会、工业和信息化部、科学技术部等多部门联合发文，共同构建智慧主动健康服务模式创新、产业发展、应用示范等方面的政策矩阵，构筑从国家到地方的垂直政策治理结构。② 地方出台配套政策细则。结合当地数字经济发展状况、数字基建建设现状、居民多元健康需求等实际情况制定智慧主动健康服务实践落地的配套政策。③ 制定专项政策给予支持。囿于智慧主动健康服务的公益性质，市场、社会主体的参与程度未被充分调动，可通过增加税收优惠、财物补贴等专项政策支持，营造政企合作、多方共赢的协同建设生态。

（二）提高民众数字素养，重塑服务参与氛围

民众具备基本数字素养与技能，是提高智慧主动健康服务参与意愿、改变健康管理行为的必要前提。① 加大教育培训力度，以“教育+培训”的形式，在社区、俱乐部、基层医疗服务机构等场域开展数字健康、主动健康的科普传播与教育，同时对数字弱势群体智能手机与可穿戴设备的使用进行培训，提高对其有用性、便利性的感知。② 提高技术使用能力，重在提升服务产品的“易用性”，通过适老化改造、技术驯化等形式，降低使用难度和产品复杂度。③ 塑造数字身份认同，一方面，加强智慧主动健康服务过程中的网络空间治理，维护网络安全，保证个人数据的知情权、使用权，减少数字产品与健康服务的使用风险；另一方面，服务流程与产品设计要以用户健康需求为导向，在服务过程中将数字技术使用视为自我感知的一部分，以提高从事智慧主动健康服务的理念认知。

（三）构建服务标准体系，筑牢智慧服务生态

建立健全服务标准体系，构筑统一、融合、开放的智慧服务生态，是满足智慧主动健康服务可持续发展和常态化应用的有力保障。① 优化数字健康服务指南，对已发布或制定中的部分国家标准、行业标准进行梳理，加快出台数字健康服务标准体系制定、修订、转化的应用指南。② 构建智慧服务生态标准，第一，构建数字基础设施标准，制定智慧主动健康服务实施过程中网络与公共基础设施的数字化改造升级标准；第二，构建健康数据生态标准，包括健康数据资源梳理归并、开放共享、全生命周期管理、资产化管理等方面的规范要求；第三，构建服务平台生态标准，包括服务系统建设、服务管理内容、服务需求登记、服务质量评估等规范，平台架构、平台技术、平台接口等应用标准。③ 制定地方服务建设标准，引导地方、行业协会、产业技术联盟等组织与数字技术组织加强合作，因地制宜、多点并行推进智慧健康服务的地方标准建设，定期组织开展服务标准化试点应用和考核评估，加大地区服务标准应用推广力度。

（四）打造多元供给格局，持续增进服务质量

以满足群众多层次健康需求为核心，加速构建智慧主动健康供给侧改革长效机制，形成共建共享的多元供给格局。① 在服务供给机制多元化，完善服务政府购买机制的同时，健全健康需求与服务供给对接机制，深度挖掘民众健康需求激发社会活力，同时推动服务创投改革，实现政府、市场、社区、非营利组织在服务供给建设中的跨界合作。② 供给资金来源多元化，探索服务建设多元融资渠道，引导和鼓励金融机构和社会资本参与服务提供，同时弘扬慈善文化，鼓励社会捐赠，成立社区发展基金会推进服务应用发展。③ 人才供给培育

多元化：第一，优化人才存量，着眼于已有工作人员，树立服务主体“人本位”思想，通过定期组织培训，增设智慧主动健康服务技术应用相关内容；第二，扩充人才增量，提高科研院所、体育与医疗机构、大健康企业等主体合作，构建复合人才系统化培养模式；第三，拓宽输送渠道，创新平台载体聚集人才，为服务的循证研究、科技创新、产业升级等方面合理配置人才资源。此外，亟需改革人才招聘制度，优化人才待遇，针对紧缺型人才开辟“绿色”通道，为服务开展注入强劲动力。

（五）加快“产学研用”融合，提升科技成果转化

以健康服务企业为主体，同科研机构、高校建立联盟合作关系，以价值共创、利益共生、风险共担为原则，开展智慧主动健康服务的技术创新实践，打造“科研–产品–市场–科研”的闭环发展模式。① 构建战略制度体系，从国家层面颁布激励大健康领域“产学研”结合的政策法规，支持数字健康服务相关科技成果转化，从财政税收、知识产权等方面调动各创新主体的积极性；制定联盟内部管理制度，完善内部激励机制，明确划定风险责任、合理进行利益分配。② 共建联盟实体模式，线上搭建“产学研”服务平台进行资源对接，同时为各方及时提供健康数据与需求信息；线下组建研究开发中心、中试基地等实体，专注“体医工”交叉融合的前沿技术研究。③ 发挥各自优势效能，在企业方面，上游端提高大健康市场洞察能力、信息收集和需求研究能力；下游端提高企业在联盟中创新决策、研发投入、科研组织、成果转化的主体作用。高校和科研机构要推进“体医工”交叉融合向“高精尖”学科发展，为智慧主动健康服务的科研产出与人才供给提供源动力。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: April 12, 2023; **Revised date:** June 7, 2023

Corresponding author: Tang Lixu is a professor from School of Wushu, Wuhan Sports University. His major research field is digital sports and active health. E-mail: tanglixu@126.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on National Health Management Engineering” (2022-XBZD-21); National Social Science Foundation of China (22BTY104); Key Project of Philosophy and Social Science Research in Hubei Provincial Colleges and Universities (21D090); Major Project of Philosophy and Social Science Research in Hubei Province (20ZD079)

参考文献

[1] 郑伟, 韩笑, 吕有吉. 中国人口慢性病的总体状况与群体差异 [J]. 社会科学辑刊, 2022 (3): 139–149.
Zheng W, Han X, Lyu Y J. The overall situation and population differences of chronic diseases in the Chinese population [J]. Journal of Social Sciences, 2022 (3): 139–149.

[2] 庄琦. 始终把人民健康放在优先发展的战略地位——党的十八大以来健康中国行动的成就与经验 [J]. 管理世界, 2022, 38(7): 24–37.
Zhuang Q. Always prioritize people’s health as a strategic priority for development: Achievements and experiences of the Healthy China Action since the 18th National Congress of the Communist Party of China [J]. Managing the World, 2022, 38(7): 24–37.

[3] 韩德民, 卢九星, 李星明, 等. 中国健康服务业发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2017, 19(2): 21–28.
Han D M, Lu J X, Li X M, et al. Research on the development strategy of China’s health service industry [J]. Strategic Study of CAE, 2017, 19(2): 21–28.

[4] 国务院办公厅. 中共中央国务院印发《“健康中国2030”规划纲要》[EB/OL]. (2016-10-25)[2023-04-23]. http://www.go.cn/xinwen/2016-10/25/content_5124174. htm.
The General Office of the State Council. the Central Committee of the Communist Party of China, and the State Council issued the *“Healthy China 2030” plan outline* [EB/OL]. (2016-10-25)[2023-04-23]. http://www.go.cn/xinwen/2016-10/25/content_5124174. htm.

[5] 李祥臣, 俞梦孙. 主动健康: 从理念到模式 [J]. 体育科学, 2020, 40(2): 83–89.
Li X C, Yu M S. Active health: From concept to model [J]. Sports Science, 2020, 40(2): 83–89.

[6] 申曙光, 吴庆艳. 健康治理视角下的数字健康: 内涵、价值及应用 [J]. 改革, 2020 (12): 132–144.
Shen S G, Wu Q Y. Digital health from the perspective of health governance: Connotation, value, and application [J]. Reform, 2020 (12): 132–144.

[7] 朱元利, 赵皎卉, 蔡勇. 智慧健身服务的四元空间模型: 内涵特征、理论框架、关键问题与解决策略 [J]. 北京体育大学学报, 2022, 45(12): 43–55.
Zhu Y L, Zhao J H, Cai Y. The quad space model of intelligent fitness services: Connotative features, theoretical framework, key issues, and solution strategies [J]. Journal of Beijing Sport University, 2022, 45(12): 43–55.

[8] 王蕾, 张戈, 陈佩杰, 等. 体力活动纳入生命体征与运动转介制度: 国外经验与中国路径 [J]. 上海体育学院学报, 2022, 46(7): 76–88.
Wang L, Zhang G, Chen P J, et al. Incorporating physical activity into vital signs and exercise referral systems: Foreign experiences and Chinese pathways [J]. Journal of Shanghai Institute of Physical Education, 2022, 46(7): 76–88.

[9] 邓悦, 倪星. 国外数字健康的内涵、应用与发展趋势 [J]. 国外社会科学, 2021 (1): 104–116.
Deng Y, Ni X. The connotation, application, and development trends of digital health abroad [J]. Foreign Social Sciences, 2021 (1): 104–116.

[10] 翟兴, 肖源, 王若佳, 等. 数智环境下智慧健康信息服务体系构建研究 [J]. 情报科学, 2022, 40(10): 43–50.
Zhai X, Xiao Y, Wang R J, et al. Research on the construction of intelligent health information service system in a digital intelligence environment [J]. Information Science, 2022, 40(10): 43–50.

[11] 沈克印, 寇明宇, 王戬勋, 等. 体育服务业数字化的价值维度、场景样板与方略举措 [J]. 体育学研究, 2020, 34(3): 53–63.
Shen K Y, Kou M Y, Wang J X, et al. The value dimension, scenario model, and strategic measures of digitalization in the sports service industry [J]. Sports Research, 2020, 34 (3): 53–63.

[12] 陈菲, 雷雪. 基于智慧社区的医养服务协同框架及其供给机制研究 [J]. 中国全科医学, 2017, 20(24): 2944–2947.
Chen F, Lei X. Research on the collaborative framework and supply mechanism of medical and nursing services based on smart communities [J]. Chinese General Medicine, 2017, 20(24): 2944–2947.

[13] 陈晓红, 郭建军. 主动健康背景下我国体医融合服务框架的构建 [J]. 首都体育学院学报, 2021, 33(5): 474–480.
Chen X H, Guo J J. Construction of a framework for integrated sports and medical services in China under the background of active health [J]. Journal of Capital Institute of Physical Education, 2021, 33(5): 474–480.

[14] 孙璨, 唐尚锋, 陈超亿, 等. 主动健康内涵分析 [J]. 中国公共卫生, 2023, 39(1): 68–72.
Sun C, Tang S F, Chen C Y, et al. Analysis of active health connotation [J]. China Public Health, 2023, 39(1): 68–72.

[15] 王小宁, 付磊, 尹岭, 等. 全民健康与医药卫生事业发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2017, 19(2): 1–7.
Wang X N, Fu L, Yin L, et al. Research on the development strategy of national health and medical and health industry [J]. China Engineering Science, 2017, 19(2): 1–7.

[16] 杨继星, 陈家起, 高奎亭, 等. 体育融入卫生健康治理的战略定位、现实困境及推进机制 [J]. 上海体育学院学报, 2023, 47(4): 1–11.
Yang J X, Chen J Q, Gao K T, et al. The strategic positioning, practical difficulties, and promotion mechanism of integrating sports into health governance [J]. Journal of Shanghai Institute of Physical Education, 2023, 47(4): 1–11.

[17] 张家彬, 张亮, 纪志敏. 大健康产业的发展桎梏与纾困路径 [J]. 江淮论坛, 2022 (2): 59–64.
Zhang J B, Zhang L, Ji Z M. The development constraints and relief pathways of the big health industry [J]. Jianghuai Forum, 2022 (2): 59–64.

[18] 李韬. 数字健康产业有望成为拉动内需的新动力 [J]. 人民论坛, 2020 (36): 103–105.
Li T. The digital health industry is expected to become a new driving force for driving domestic demand [J]. People's Forum, 2020 (36): 103–105.

[19] 刘路, 仇军. 体育助力健康关口前移: 逻辑考量、现实困境与实现路径 [J]. 体育学刊, 2023, 30(2): 35–40.
Liu L, Qiu J. Sports assisting health: Logical considerations, realistic dilemmas, and implementation paths [J]. Journal of Sports, 2023, 30(2): 35–40.

[20] 徐诗枧, 闫静. 论全民健身与全民健康深度融合——基于"主动健康"视域 [J]. 体育文化导刊, 2023 (2): 1–6.
Xu S J, Yan J. On the deep integration of national fitness and national health—Based on the perspective of "active health" [J]. Sports Culture Guide, 2023 (2): 1–6.

[21] Zang Y, Zhang F, Di C, et al. Advances of flexible pressure sensors toward artificial intelligence and health care applications [J]. Materials Horizons, 2015, 2(2): 140–156.

[22] Rumbaugh J, Blaha M, Premerlani W, et al. Object-oriented modeling and design [M]. Englewood Cliffs: Prentice-hall, 1991.

[23] Wang J T, Wang Y Y, Wei C L, et al. Smartphone interventions for long-term health management of chronic diseases: An integrative review [J]. Telemedicine Journal and E-health, 2014, 20(6): 570–583.

[24] Chen J, Ramanathan L, Alazab M. Holistic big data integrated artificial intelligent modeling to improve privacy and security in data management of smart cities [J]. Microprocessors and Microsystems, 2021, 81: 1–10.

[25] Walrave B, Talmar M, Podoynitsyna K S, et al. A multi-level perspective on innovation ecosystems for path-breaking innovation [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2018, 136: 103–113.

[26] 张建楠, 李莹莹, 顾宴菊, 等. 健康医疗数据共享基本原则探讨 [J]. 中国工程科学, 2020, 22(4): 93–100.
Zhang J N, Li Y Y, Gu Y J, et al. Discussion on the basic principles of health and medical data sharing [J]. Strategic Study of CAE, 2020, 22(4): 93–100.

[27] 华为运动健康实验室揭秘 [J]. 国际公关, 2022 (9): 195–196.
Huawei Sports Health Laboratory reveals secrets [J]. International Public Relations, 2022 (9): 195–196.

[28] NajafiKhoshnoo S, Kim T, Tavares-Negrete J A, et al. A 3D nanomaterials-printed wearable, battery-free, biocompatible, flexible, and wireless pH sensor system for real-time health monitoring [J]. Advanced Materials Technologies, 2023, 8(8): 1–12.

[29] Imani S, Bandodkar A J, Vinu Mohan A M, et al. A wearable chemical-electrophysiological hybrid biosensing system for real-time health and fitness monitoring [J]. Nature Communications, 2016, 7(1): 116–123.

[30] Zhou T, Li X F, Zhao H. Med-PPPHIS: Blockchain-based personal healthcare information system for national physique monitoring and scientific exercise guiding [J]. Journal of Medical Systems, 2019, 43(9): 305–317.

[31] James S, Matthew W, Robert J C, et al. The national referall database: An open dataset of exercise referral schemes across the UK [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(9): 29–46.

[32] Pramanik M I, Lau R Y K, Demirkan H, et al. Smart health: Big data enabled health paradigm within smart cities [J]. Expert Systems with Applications, 2017, 87: 370–383.

[33] 成都市国民体质监测中心. 成都市运动促进健康服务中 [EB/OL]. (2022-08-30)[2023-04-23]. http://www.scxh.net/.
Chengdu National Fitness Monitoring Center. Chengdu sports promotion health service [EB/OL]. (2022-08-30)[2023-04-23]. http://www.scxh.net/.

[34] Joachim S, Forkan A R M, Jayaraman P P, et al. A nudge-inspired AI-driven health platform for self-management of diabetes [J]. Sensors, 2022, 22(12): 47–53.

[35] Perrett T, Masullo A, Damen D, et al. Personalized energy expenditure estimation: Visual sensing approach with deep learning [J].

JMIR Formative Research, 2022, 6(9): 360–372.

[36] Patil V, Narayan J, Sandhu K, et al. Integration of virtual reality and augmented reality in physical rehabilitation: A state-of-the-art review [J]. Revolutions in Product Design for Healthcare, 2022, 2(3): 177–205.

[37] Thamotharan P, Srinivasan S, Kesavadev J, et al. Human digital twin for personalized elderly type 2 diabetes management [J]. Journal of Clinical Medicine, 2023, 12(6): 2094–2102.

[38] Nahoko Y, Daisuke U, Mitsuru M, et al. Social digital cyborgs: The collaborative design process of JIZAI ARMS [R]. New York: The 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2023.