

数字医疗在老年医学领域中的应用:技术与产业进展

张迎伟, 杨 涵, 宋淑超, 张琪琪, 杨威文, 李 万, 张书瑞, 陈益强, 吕泽平

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号:62302487,61972383); 山东产业技术研究院智能计算研究院创新课题(编号:SDAICT2191010); 中国科学院特别研究助理资助项目

作者单位: 100190 北京,中国科学院计算技术研究所(张迎伟,宋淑超,张琪琪,杨威文,陈益强); 100037 北京,中国康复技术转化及发展促进会(杨 涵,李 万); 130061 长春,吉林大学白求恩第一医院(张书瑞); 100176 北京,北京市老年人功能障碍康复辅助技术重点实验室,国家康复辅具研究中心附属康复医院(吕泽平)

作者简介: 张迎伟,工学博士,副研究员,研究方向:人机交互与普适计算。E-mail:zhangyingwei@ict.ac.cn
通信作者: 吕泽平,医学硕士,主任医师,研究方向:老年神经系统疾病的诊疗与康复。E-mail:lvzeping@163.com



吕泽平,神经内科主任医师,国家康复辅具研究中心附属康复医院院长、党委副书记,高级认知中心主任,北京市老年人功能障碍康复辅助技术重点实验室主任,北京航空航天大学及滨州医学院兼职硕士研究生导师。专注老年神经系统疾病的诊疗与康复研究,在《中国康复医学杂志》、*IJHCS* 等国内外重要刊物发表论文多篇,获省级科技进步奖 4 项。“十三五”科技部重大慢病专项指南编写专家、科技部健康养老领域咨询专家,兼任中国康复医学会监事、中国康复医学会阿尔茨海默病与认知障碍康复专委会名誉主委、中国老年医学学会认知障碍分会常委、中国阿尔茨海默病协会神经认知专业委员会常委、北京医学会物理医学与康复分会常委、中国科协科技人才评审专家、《中国神经免疫学和神经病学杂志》编委。近年承担多模态认知功能评估和认知康复相关国家重点研发计划课题 2 项。

[摘要] 数字医疗指综合利用人工智能、大数据、计算机传感等技术,建立覆盖全病程、全场景的医疗服务模式,提升医疗服务质量和医疗资源利用效率,降低医疗成本。在我国老龄化不断加剧的背景下,数字医疗技术是解决老龄化科技应对难题的可行选择。该文就数字医疗在老年医学领域中的应用,从现有数字医疗技术发展格局、现存不足、未来老龄健康事业的发展等方面进行综述。

[关键词] 数字医疗; 老年医学; 技术; 产业; 主动健康
[中图分类号] R 19 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1674-3806(2023)12-1219-06
doi:10.3969/j.issn.1674-3806.2023.12.03

The application of digital healthcare in the field of geriatric medicine: technological and industrial advancements ZHANG Ying-wei, YANG Han, SONG Shu-chao, et al. Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

[Abstract] Digital healthcare refers to a mode of comprehensively utilizing technologies such as artificial intelligence, big data and computer sensing to establish medical service that covers the entire disease course and various scenarios. This model aims to enhance the quality of healthcare service, optimize the utilization of medical resources, and reduce medical costs. Against the backdrop of the increasing aging population in China, digital healthcare technology offers a feasible solution to address the challenges posed by aging technology. This paper will provide a comprehensive review of the application of digital healthcare in the field of geriatrics from the perspectives of the current development pattern of digital medical technology, the existing deficiencies and the development of future elderly healthcare.

[Key words] Digital healthcare; Geriatric medicine; Technology; Industry; Proactive healthcare

国家统计局 2023 年 2 月 28 日发布的《中华人民共和国 2022 年国民经济和社会发展统计公报》显示,截至 2022 年底,全国 60 岁及以上老年人口达 2.8 亿,占总人口的 19.8%;65 岁及以上老年人口近 2.1 亿,占总人口的 14.9%^[1]。据测算,2035 年左右,我国 60 岁以上老年人口将突破 4 亿,在总人口中占比超 30%,进入重度老龄化阶段。与世界上其他老龄化国家相比,我国老龄化突出具有以下特点:(1)老年人口规模大。我国人口体量大,老年人口规模大,据估计峰值时期我国 65 岁以上老年人口将达 4.25 亿人。(2)老龄化速度快。从 2001 年进入轻度老龄化社会到 2021 年进入中度老龄化社会,我国仅用时 21 年,短于法国的 126 年、英国的 46 年、德国的 40 年。(3)空巢化日益突出。伴随我国城镇化进程和高等教育的发展,我国老年人口中空巢老人占比超一半。(4)社会未富先老。我国人均国民生产总值(gross domestic product,GDP)接近发达经济体下限,面临经济增长和养老负担的双重压力^[2]。据国际人口老龄化先行国家经验来看,医疗制度改革中面临“不可能三角”挑战,即医疗系统难以同时兼顾提高医疗服务质量、增加医疗服务可及性和降低医疗服务价格。数字医疗可基于人工智能、大数据和云计算等先进技术,利用医院(体检、门诊、住院)、医保、医药、社区和家庭数据,对疾病筛查、诊断、监测、治疗、康复全病程进行数字化升级,实现医院、药械企业和医保机构之间的动态互动,助力提供便捷、高效、普惠的医疗服务^[2-6]。数字医疗有望在提高医疗服务质量、医疗资源利用率和降低医疗费用方面发挥积极作用,助力解决“不可能三角”困局,实现全民主动健康管理^[7-8]。因此,本文将围绕数字医疗在老年医学领域中的应用,从技术和产业发展角度进行全面综述。

1 数字医疗在老年医学领域中的应用概况

1.1 老年疾病特点与分类 老年疾病一般存在以下明显特点:(1)多种疾病共存。由于器官组织结构和功能的退化,多个系统或器官可能存在多种病

理改变。(2)临床症状不典型。由于神经系统和免疫系统的退行性改变,老年人代偿能力差,感觉神经中枢的反应能力降低,导致老年疾病的临床症状不典型。(3)并发症多,难处理。由于抵抗力差,导致患病后可能发生多种并发症。(4)病情复杂变化快。当出现明显症状或体征时,病情往往比较严重或迅速趋于恶化。(5)病程较长,康复慢。由于全身反应迟缓,易发病隐匿、症状不典型、症状演变过程慢。(6)药效存在差异。老年人群中不同个体间耐药性差异进一步扩大,机体稳定、代谢水平和耐受能力均降低。本文从以下 12 个方面,对老年疾病进行分类^[9]:(1)心脑血管和呼吸系统疾病;(2)神经精神系统疾病;(3)内分泌与营养代谢疾病;(4)消化系统疾病;(5)泌尿生殖系统疾病;(6)血液系统疾病;(7)骨科与运动系统疾病;(8)五官科疾病;(9)皮肤科疾病;(10)老年病康复护理;(11)生活环境与辅助器具;(12)其他相关领域。

1.2 技术与产业进展调研 本文通过文献综述和企业案例收集,将现有数字医疗产品归纳为数字诊疗系统(数字化成像设备、远程医疗系统、医疗机器人、辅助诊断系统)、应用软件系统(信息采集系统、信息管理系统、科普教育系统)和数字疗法(干预训练康复应用系统、药代动力学指导下的管理干预工具)三类,对其在 12 类老年常见疾病中的应用进行细分,并从数据[电子病历系统(electronic health records, EHR)、传感器、物联网、数据服务等]、算力(处理器芯片、云计算)、算法(自然语言处理、计算机视觉、时序信号分析等人工智能算法)、交互(元宇宙、机器人等)、安全(区块链、联邦学习)角度归纳关键支撑技术。本文共走访企业案例 196 项,走访调研结果见表 1,2。通过调研可知,当前在老年医学领域中的应用案例,以数字疗法大类下的干预训练康复应用系统居多,占 25.51%;数字诊疗系统大类下的辅助诊断系统次之,占 14.29%。

表 1 数字医疗在老年医学领域中应用的支撑技术

分 类	数字诊疗系统				应用软件系统			数字疗法	
	数字化 成像设备	远程医疗 系统	医疗 机器人	辅助诊断 系统	信息采集 系统	信息管理 系统	科普教育 系统	干预训练康复 应用系统	药代动力学指导下的 管理干预工具
数据	√	√	√	√	√			√	
算力				√		√			√
算法	√		√	√		√			√
交互		√	√	√	√		√	√	√
安全		√		√	√	√			

表 2 数字医疗在老年医学领域中应用的企业案例数

分 类	数字诊疗系统				应用软件系统			数字疗法	
	数字化 成像设备	远程医疗 系统	医疗 机器人	辅助诊断 系统	信息采集 系统	信息管理 系统	科普教育 系统	干预训练康复 应用系统	药代动力学指导下的 管理干预工具
心脑血管和呼吸系统疾病	3	2	1	6	4	1	0	6	1
神经精神系统疾病	2	1	3	1	1	1	0	16	1
内分泌与营养代谢疾病	1	1	0	1	3	1	1	1	2
消化系统疾病	1	0	2	3	0	0	0	1	0
泌尿生殖系统疾病	1	0	4	2	0	1	1	6	0
血液系统疾病	1	1	1	2	1	1	0	0	1
骨科与运动系统疾病	2	2	5	2	1	1	0	8	0
五官科疾病	4	2	1	2	2	2	1	1	0
皮肤科疾病	1	1	0	3	0	1	1	0	0
老年病康复护理	0	4	1	3	2	5	1	8	1
生活环境与辅助器具	0	0	1	0	1	0	0	1	0
其他相关领域	0	12	0	3	1	7	7	2	2
合计[<i>n</i> (%)]	16(8.16)	26(13.27)	19(9.69)	28(14.29)	16(8.16)	21(10.71)	12(6.12)	50(25.51)	8(4.08)

2 数字医疗的支撑技术

2.1 数据 数据尤其是大数据技术,是实现数字医疗的基础^[6],TCGA^[10]、PCAWG^[11]等癌症诊疗和PsychENCODE^[12]等神经精神疾病诊疗相关大数据集的出现,有力推动了相关科学领域的进步和技术发展。EHR是最常用的医疗数据管理系统,诞生于20世纪60~70年代,自20世纪90年代以来开始普及应用^[13],但目前仍面临数据碎片化、无法提供疾病诊断建议等问题^[6]。除HER外,可穿戴传感^[14]、环境传感^[15]、物联网等技术^[16]的发展,为解决医院健康数据缺乏问题提供了有效方法,能够有效促进健康诊疗关口前移,推动实现主动健康。实现院内院外数据感知后,可通过数据规范、数据清洗、数据交换和数据集成等技术,对数据进行处理^[17]。

2.2 算力 算力是核心生产力,世界第一台自动化电子计算机ENIAC于1946年在宾夕法尼亚大学诞生^[18],我国第一台电子计算机103机于1958年在中国科学院计算技术研究所诞生,由此迈入信息技术时代。根据规模不同,算力可分为基于CPU芯片的基础算力、基于GPU和NPU芯片的智能算力和基于集群的超级算力。数字医疗中实现基础数据采集、统计和展示,主要需使用基础算力;实现智能推理、诊断和机制探索,主要需使用智能算力;实现人

类基因组分析,主要需使用超级算力。随着目前算力规模不断趋于饱和,阿里云、亚马逊等云计算技术不断涌现,能够提供随用随取的强大算力平台。

2.3 算法 人工智能一词诞生于1956年的达特茅斯会议。此后,人工智能经历“三起三落”,直至2012年,ImageNet年度挑战赛再次开启了人工智能的复兴浪潮,不断涌现了AlphaGo^[19]、波士顿动力机器人Atlas、ChatGPT^[20]等代表性成果。人工智能通过对医疗大数据的综合分析,有效变革了现有医学研究和临床应用范式^[21]。针对不同类型医疗数据,目前以建立完善的智能分析算法体现,如用计算机视觉技术处理图片类医疗数据;用自然语言处理技术处理文本、语音类医疗数据;用时序信号分析技术处理心率、脉搏、脑电、肌电等时序生理数据。

2.4 交互 医学是与人(医护人员、患者、照料者)和设备(成像设备、机器人等)直接相关的科学,人机交互在医学尤其老年医学研究与应用中至关重要^[22],有助于拓宽人与设备之间的交互媒介,提升资源利用效率。目前,多种类型的手术、图像导航机器人不断被研发,人机交互技术有助于根据医师诊疗逻辑,为医护人员提供自然、高效的交互界面。对于患者而言,康复、生活辅助类机器人也需要通过人机交互设计,为患者提供老年人生活习惯的交互界面^[23]。

另外,以虚拟现实和增强现实为代表的元宇宙技术不断发展,也为实现沉浸式数字成像、远程医疗、辅助诊断交互体验带来了可能。

2.5 安全 随着各类安全事件层出不穷,医疗数据安全也广受关注,国家卫生健康委办公厅在 2023 年 9 月印发了《患者安全专项行动方案(2023-2025 年)》,要求探索建立长效数据动态监测平台。目前,区块链和联邦学习是保障医疗数据安全的两项重要技术。区块链通过去中心化的分布式数据服务技术,在医疗信息存储、药品防伪等方面发挥重要作用。联邦学习 2017 年由 Google 团队提出,中国科学院计算技术研究所陈益强团队对其在医疗领域中的应用进行了研究与发展^[24],能够在保障原始医疗数据安全情况下,共同协调各联邦方协作共建医疗大模型。

3 数字诊疗系统

3.1 数字化成像设备 数字化成像设备能够将物体内部的结构和组织以数字化信号的形式显示出来,该信号可被计算设备进一步处理、存储,并用于疾病分析和诊断。常见数字化成像设备包括计算机断层扫描(computed tomography, CT)、磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)、正电子发射断层成像(positron emission tomography, PET)、超声波成像、内窥镜等。在走访 196 项企业案例中,数字化成像设备相关案例 16 项,占 8.16%,应用以五官科疾病、心脑血管和呼吸系统疾病、神经精神系统疾病和骨科与运动系统疾病居多。支撑技术主要有传感器、智能算法等。

3.2 远程医疗系统 远程医疗系统是一种创新的医疗服务模式,可通过物联网和网络通讯技术实现优势医疗资源与医疗需求间的互联互通,为老年人提供高效、便捷、及时的医疗服务。远程医疗系统广泛应用于以下方面:(1)老年人血压、血糖、心率等生理指标参数监测与疾病预警;(2)通过视频会诊、远程影像解读等实现疾病诊断和治疗;(3)在线咨询、心理治疗等;(4)在线健康教育和健康管理。走访案例中,远程医疗系统相关案例 26 项,占 13.27%,应用领域多不局限于具体疾病,主要通过远程咨询、会诊等形式为老年人提供全科指导,典型案例包括好大夫在线、春雨医生、左手医生等。支撑技术主要有**人机交互技术、数据安全技术等。

3.3 医疗机器人 医疗机器人可辅助医疗专业人员和老年人等完成医疗和日常任务,提升医疗服务效率、准确度,降低风险,提高老年人生活质量^[25-26]。常

见医疗机器人功能有远程手术机器人、图像导航机器人、精细操作机器人、康复辅助机器人、社交陪伴类机器人、智能家居机器人等。走访调研案例中,共有 19 项案例从事医疗机器人研发,多用于骨科与运动系统疾病、泌尿生殖系统疾病、神经精神系统疾病和消化系统疾病等。支撑技术主要有传感器、智能算法、人机交互技术等。

3.4 辅助诊断系统 辅助诊断系统旨在提供快速、准确、可靠的诊断结果,以辅助早期疾病预警,帮助医师做出正确的诊断,提供个性化治疗方案,进而在长期治疗和康复过程中实时监测疾病进展。辅助诊断系统是复杂体系,需综合应用数据、算力、算法、交互、安全等技术。走访案例中,共有 28 项案例从事辅助诊断系统研发,多用于心脑血管和呼吸系统疾病、消化系统疾病、皮肤科疾病和老年病康复护理等。

4 应用软件系统

4.1 信息采集系统 信息采集系统通过感知和汇交老年人的各类体征信息,助力老年健康监测、干预和健康管理^[27]。区别于数字化成像设备,信息采集系统同时兼具基于各类可穿戴、物联网、电子化量表等形式进行数据采集的功能。同时,信息采集系统也需要兼具使用数据清洗、滤波等数据服务功能。走访案例中,信息采集系统相关案例共 16 项,主要集中于心脑血管和呼吸系统疾病、内分泌与营养代谢疾病和五官科疾病等。除 EHR、传感器、物联网、数据服务等数据相关技术外,信息采集系统也需使用人机交互技术提升信息采集效率,使用区块链等技术保障数据安全。

4.2 信息管理系统 信息管理系统能够帮助老年人管理健康信息、预防疾病、监控病情发展和康复进程,以提高老年人生活质量和健康水平,主要应用于以下方面:(1)健康档案管理;(2)健康教育和指导;(3)疾病预防和管理;(4)康复管理。走访案例中,信息管理系统相关案例共 21 项,主要集中于老年病康复护理这类需要长期看护的领域。信息管理系统需使用各类算力、算法对信息进行预处理,使用安全技术保障数据安全。

4.3 科普教育系统 科普教育系统旨在促进老年疾病护理相关知识普及和教育,以帮助老年人更好地了解自己的健康状况,学习如何进行健康管理,进而提升老年人的健康水平和生活质量。科普教育系统主要应用于以下方面:(1)健康知识普及;(2)养生知识介绍;(3)康复知识讲解;(4)医学科普。走访案例中,

科普教育系统相关案例共计 12 项,占 6.12%,与远程医疗系统类似,科普教育系统同样不局限应用于具体疾病,典型案例包括百科名医网、听听专家说等。科普教育系统主要需使用人机交互技术提升趣味性和交互自然性。

5 数字疗法

5.1 干预训练康复应用系统 调研案例中,干预训练康复应用系统相关案例 50 项,占 25.51%,是所有数字医疗相关细分方向中占比最高的一类。主要原因是作为数字医疗的细分领域,以干预训练或康复应用为主的数字疗法提供了一种区别于现有传统药物治疗、非药物治疗(手术、放射和物理治疗)及心理行为治疗方法外的全新治疗方式,该治疗方式可与传统治疗方法配合使用,且具有数字化特点^[28-29]。发展干预训练康复应用系统,是实现主动健康管理的重要环节。常见的干预训练康复应用系统包括:(1)计步器和运动监测设备;(2)健康管理应用程序;(3)脑力训练游戏;(4)远程医疗系统。在调研的 50 项案例中,干预训练康复应用系统多应用于神经精神系统疾病,共有 16 项案例,这也与神经精神系统疾病领域的全球临床试验数据吻合。干预训练康复应用系统主要支撑技术有传感器、交互等。

5.2 药代动力学指导下的管理干预工具 药代动力学是研究药物在人体内吸收、分布、代谢和排泄过程的学科,药代动力学研究对优化老年人的药物治疗效果、减少不良反应非常重要。药代动力学指导下的管理干预工具旨在通过一系列措施,实现药物剂量调整、优化药物选择及监测药物安全。走访案例中,药代动力学指导下的管理干预工具相关案例共计 8 项,在多类老年疾病中无明显偏移倾向。药代动力学指导下的管理干预工具的主要支撑技术有算力、人工智能算法和人机交互技术等。

6 存在问题

当前,数字技术在医疗健康领域中广泛应用,打破了时空限制,带来了数字医药和治疗手段的创新,有效推进了公共卫生体系的完善和服务模式的变革。但由于老年人群特殊的生理和心理特征,数字医疗在老年医学领域中的应用仍面临以下问题:(1)数字医疗产品供应不足。部分产品未针对老年群体设计,存在应用的数字鸿沟;针对特定疾病类型,目前尚缺乏对应的数字医疗产品。(2)数据共享障碍。缺乏统一数据封装格式和隐私保护机制,数据质量差、数量少为大模型构建带来挑战。(3)数据安全问题严峻。医疗结构安全基础设施较为薄弱,发展与

安全平衡难以把握。(4)数字鸿沟难以跨越。数字医疗产品适老化程度低,老年群体对数字产品接受度低、消费能力弱。(5)医疗资源分配不均衡。优质医疗资源多分布在发达地区和核心大城市,偏远和欠发达地区医疗资源相对匮乏。(6)专业队伍缺乏。缺乏专业老年科医师和复合型医工交叉人才。(7)监管政策不完善。医疗器械数字医疗指导性政策体系构建已取得重要进展,但相关产品审评审批制度、监管法规仍不完善。(8)支付模式不健全。仍需协调患者、医疗结构、医保、政府、商保和企业等,共同完善支付模式。

7 结语

尽管数字医疗还存在不足,但是数字医疗在综合利用人工智能、大数据、计算机传感等技术,建立覆盖全病程、全场景的医疗服务模式,提升医疗服务质量和医疗资源利用效率,降低医疗成本等方面取得了长足的进步。在我国老龄化不断加剧的背景下,数字医疗技术是解决老龄化科技应对难题的可行选择。

参考文献

- [1] 国家统计局. 中华人民共和国 2022 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2023-02-28)[2023-10-30]. https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202302/t20230228_1919011.html.
- [2] Lv X, Li W, Ma Y, et al. Cognitive decline and mortality among community-dwelling Chinese older people[J]. BMC Med, 2019,17(1):63.
- [3] Ma Y, Zhang Y, Cai S, et al. Flexible hybrid electronics for digital healthcare[J]. Adv Mater, 2020,32(15):e1902062.
- [4] Duggal R, Brindle I, Bagenal J. Digital healthcare: regulating the revolution[J]. BMJ, 2018,360:k6.
- [5] Sharma R, Kshetri N. Digital healthcare: historical development, applications, and future research directions[J]. Int J Inf Manage, 2020,53:102105.
- [6] Agrawal R, Prabakaran S. Big data in digital healthcare: lessons learnt and recommendations for general practice[J]. Heredity (Edinb), 2020,124(4):525-534.
- [7] 弓孟春,刘莉,王媛媛,等. 主动健康管理模式的构建策略[J]. 科技导报,2022,40(6):93-100.
- [8] 刘珏,李蔚东,么鸿雁,等. 主动健康研究进展与展望[J]. 中国预防医学杂志,2023,24(7):750-752.
- [9] 刘晓红,陈彪. 老年医学[M]. 3 版. 北京:人民卫生出版社,2020.
- [10] Tomczak K, Czerwińska P, Wiznerowicz M. The Cancer Genome Atlas (TCGA): an immeasurable source of knowledge[J]. Contemp Oncol (Pozn), 2015,19(1A):A68-A77.
- [11] ICGC/TCGA Pan-Cancer Analysis of Whole Genomes Consortium. Pan-cancer analysis of whole genomes[J]. Nature, 2020,578(7793):82-93.

- [12] PsychENCODE Consortium, Akbarian S, Liu C, et al. The PsychENCODE project[J]. *Nat Neurosci*, 2015,18(12):1707–1712.
- [13] Evans RS. Electronic health records: then, now, and in the future[J]. *Yearb Med Inform*, 2016,25(Suppl 1):S48–S61.
- [14] Starmer T. Human-powered wearable computing[J]. *IBM Syst J*, 1996,35(3.4):618–629.
- [15] Issa ME, Helmi AM, Al-Qaness MAA, et al. Human activity recognition based on embedded sensor data fusion for the internet of healthcare things[J]. *Healthcare(Basel)*, 2022,10(6):1084.
- [16] Atzori L, Iera A, Morabito G. The internet of things: a survey[J]. *Comput Networks*, 2010,54(15):2787–2805.
- [17] 吴信东,董丙冰,堵新政,等. 数据治理技术[J]. *软件学报*,2019,30(9):2830–2856.
- [18] McCartney S. ENIAC: The triumphs and tragedies of the world's first computer[M]. Walker & Company, 1999.
- [19] Wang FY, Zhang JJ, Zheng X, et al. Where does AlphaGo go: from church-turing thesis to AlphaGo thesis and beyond[J]. *IEEE/CAA J Autom Sinica*, 2016,3(2):113–120.
- [20] Ray PP. ChatGPT: a comprehensive review on background, applications, key challenges, bias, ethics, limitations and future scope[J]. *Internet Things Cyber Phys Syst*, 2023(3):121–154.
- [21] Jiang F, Jiang Y, Zhi H, et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future[J]. *Stroke Vasc Neurol*, 2017,2(4):230–243.
- [22] Sainfort F, Jacko JA, Edwards PJ, et al. Human-computer interaction in healthcare[M]. *Human-computer interaction*. CRC Press, 2009:155–172.
- [23] Dino MJS, Davidson PM, Dion KW, et al. Nursing and human-computer interaction in healthcare robots for older people: an integrative review[J]. *Int J Nurs Stud Adv*, 2022,4:100072.
- [24] Chen Y, Qin X, Wang J, et al. Fedhealth: a federated transfer learning framework for wearable healthcare[J]. *IEEE Intell Syst*, 2020,35(4):83–93.
- [25] 董陈诚,张秋环. 机器人 NOSES 手术在直肠癌治疗中的应用现状[J]. *中国临床新医学*,2023,16(7):755–759.
- [26] 习锦峰,徐 全. 机器人胸腺扩大切除术在重症肌无力患者中的应用价值[J]. *中国临床新医学*,2023,16(6):542–546.
- [27] Marref R, Abou Amsa K, Lewkowicz M. Practice-centered approach to design cooperative healthcare information systems: data, architectural and organizational challenges[J]. *Comput Informatics*, 2022,41(1):191–212.
- [28] Homola B, Sheldon I, Ago S, et al. Prototyping exoskeleton interaction for game-based rehabilitation[C]. *CHI conference on human factors in computing systems extended abstracts*, 2022:1–6.
- [29] Wang P, Koh GCH, Boucharenc CG, et al. Designing two-player competitive games for the rehabilitation of upper-limb motor function after stroke[C]. *Proceedings of the 2017 CHI conference extended abstracts on human factors in computing systems*, 2017:2201–2209.
- [收稿日期 2023–11–10][本文编辑 吕文娟 余 军]

本文引用格式

张迎伟,杨 涵,宋淑超,等. 数字医疗在老年医学领域中的应用:技术与产业进展[J]. *中国临床新医学*,2023,16(12):1219–1224.