

健康中国建设背景下智能康复实施路径

黄国志^{1,2*}

1 南方医科大学珠江医院, 广东 广州 510280;

2 南方医科大学康复医学院, 广东 广州 510515

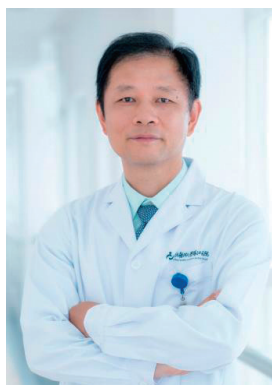
* 通信作者: 黄国志, E-mail: drhuang66@163.com

收稿日期: 2021-06-22; 接受日期: 2021-08-10

基金项目: 国家自然科学基金项目 (81874032、82072528)

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2021.05001

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



黄国志:教授, 主任医师, 博士研究生导师。南方医科大学康复医学院院长, 中国康复医学会常务理事, 中国医师协会康复医师专业委员会常务委员, 中国康复医学会康复教育专业委员会候任主任委员, 广东省残疾人康复协会会长, 广东省医师协会康复医师专业委员会主任委员, 广州市海珠区科协副主席。曾主持国家自然科学基金、广东省医学科学技术研究基金和广州市科学技术协会科普基金等多项课题, 在国内外期刊发表多篇可穿戴设备、3D 打印和康复机器人等智能技术在康复中应用的相关学术论文。

摘要 康复服务能力提升是健康中国建设的重要组成部分, 智能技术是康复发展的有力手段。本文回顾健康中国建设系列国家政策背景, 剖析总结目前制约康复服务能力提升的诸多短板, 提出智能康复实施路径。通过阐述智能康复的服务流程, 并依次从实时健康监测、远程家庭智能康复干预、健康分类评价标准体系和健康干预标准体系 4 个关键环节详细分析适宜融合的智能技术手段, 搭建智能康复实施路径的总框架。文章以高血压康复为例, 介绍了高血压智能设备研发、高血压康复临床研究和高血压康复数据库建设 3 个方面布局的智能康复实践探索借鉴模式。最后结合智能万物互联理念, 提出“康复物联网”定义, 并总结智能康复在健康中国建设背景下的恰逢其时。

关键词 健康中国; 康复; 智能; 可穿戴; 高血压

改革开放以来, 我国卫生健康事业取得新的显著成绩, 医疗卫生服务水平大幅提高, 居民主要健康指标总体优于中高收入国家平均水平^[1]。然而, 人口老龄化、疾病谱变化、人民观念转变等因素, 对我国卫生服务水平提出了新的要求, 以疾病治疗为中心的卫生服务体系已不能满足人民健康需求^[2]。

围绕健康中国建设, 康复在从患者疾病治疗为中心转变为人民健康促进为中心的建设行动中具有天生的使命。2020 年 11 月 27 日, 中国康复医学会智能康复专业委员会在北京国家会议中心正式成立^[3], 该专委会汇集了全国顶尖康复医疗和医学工程等方面人才资源, 致力于搭建智能康复的融合交

引用格式: 黄国志. 健康中国建设背景下智能康复实施路径[J]. 康复学报, 2021, 31(5): 351-357, 364.

HUANG G Z. Implementation path of intelligent rehabilitation under the background of healthy China construction [J]. Rehabilitation Medicine, 2021, 31(5): 351-357, 364.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2021.05001

流平台,探索人工智能与康复医学学科交叉的前沿性课题。以人工智能、虚拟现实、网络云和可穿戴传感等为代表的一系列现代智能技术与康复进行深度的结合,将极大地丰富康复评估和干预的手段,弥补康复医疗服务目前阶段的不足。

1 健康中国建设背景下康复要解决的问题

随着全面建成小康社会决战打响,党和国家高度重视健康问题,分阶段地铺展开健康中国建设的战略蓝图:2016年8月19—20日,全国卫生与健康大会在北京召开,习近平主席明确提出“没有全民健康,就没有全面小康”^[4];2016年8月26日,习近平总书记主持召开中共中央政治局会议,会议认为健康是促进人类全面发展的必然要求^[5];2016年10月25日,中共中央、国务院颁布印发了《“健康中国2030”规划纲要》,作出健康中国建设的总部署^[6];2019年6月24日,国务院办公厅印发《健康中国行动组织实施和考核方案》,明确了健康中国建设的实施框架^[7];2019年7月15日,国务院印发《关于实施健康中国行动的意见》^[8],健康中国行动推进委员会印发《健康中国行动(2019—2030年)》,对健康中国建设的执行进行了详细说明^[9]。这一系列从顶层设计到执行方案的国家会议和文件,共同传达了健康中国建设的核心思想:针对全人群提供全生命周期的公平可及、系统连续的健康服务。康复是指综合地、协调地应用医学的、社会的、教育的、职业的措施,旨在使有健康状况的个体在与他们所处的环境交互作用的过程中,功能最大化并降低功能障碍的影响^[10]。加强全民康复体系建设是健康中国建设的重点内容之一,早诊断、早治疗和早康复是实现全民健康必不可少的组成部分。我国康复服务体系建设应树立“大康复”理念,紧紧围绕全人群和全生命周期的立足点,以社区康复为基础、以预防做导向^[11],提供人人可及和可负担的康复服务。

然而,我国目前的康复服务模式存在诸多缺陷,制约着全民全面康复的实现。总结我国现有研究,主要存在以下问题:①服务人群局限、服务阶段滞后。康复医疗资源集中为伤、病、残者服务,健康人和亚健康者缺乏康复的意识,也缺乏获得专业康复服务的途径;广泛开展住院康复,而多病种早期康复不全面^[12]。②康复医疗资源分布不均衡。我国的康复医疗资源机构和地区分布失衡,大型综合

医院完备而基层医院不足^[13],经济发达地区领先而贫困地区落后^[14]。③功能评价指标体系欠完善。缺乏完善的功能评价指标体系,使得功能改变进展为功能障碍或疾病后才被发现,不能做早期预警;“时间-项目”导向的评价系统和普遍偏低的人员素质,导致基层康复机构解决问题的能力较差,得不到患者的信任^[15]。④评估和干预方式粗化、技术应用迭代滞后。常用康复评估方式以定性和主观判断为主,依赖于操作者的经验;康复专业人员素质参差不齐,康复同质化和干预效果难以保证^[16];评估和干预指南修订搜集和整理证据耗时耗力,导致技术应用迭代滞后。依靠医疗、管理或企业等任一单方面机构的力量,短期内难以解决以上问题,亟需新的手段或模式助力。

2 智能康复实施路径

近年来,信息、传感、网络和人工智能等技术发展迅速,带动了智能化康复技术的发展。由于智能化技术具有信息化、网络化、数据量化和自动化等诸多特点,已在国内外临床康复评估和干预^[17-20]、康复信息化建设^[21]和居家康复^[22-23]等方面被广泛研究和应用。然而,已有的智能康复设备或系统功能较为单一,干预和评估围绕某一疾病的康复,未实现全人群和全周期康复介入;且各类设备彼此相对独立,不同设备厂家各立山头,没有形成统一的智能康复技术标准和体系。因此,需要提出一条系统整合各类智能技术的智能化康复实施路径,让智能康复更好地为健康中国目标服务。

2.1 服务路径

智能康复应定位于全民、全周期和康复同质化。将康复网络下沉家庭,使人人享有康复服务的可及途径;进行实时健康指标监测,前移康复干预,使个体全周期都能得到康复介入;让优质的康复资源可到达各方基层,康复服务实现同质化。根据健康影响因素和危险指标,预测个体将来可能或已经存在某些健康问题,并对健康问题进行分类和评价,给予个体和家庭反馈。针对个体的健康问题,提供科学的处理意见和途径。对于需要在医疗机构干预的,提供转介途径;对于可居家干预的,进行远程家庭干预。同时,全程跟踪记录个体的干预和健康变化情况,直到该轮干预结束后继续进行日常实时健康监测。见图1。

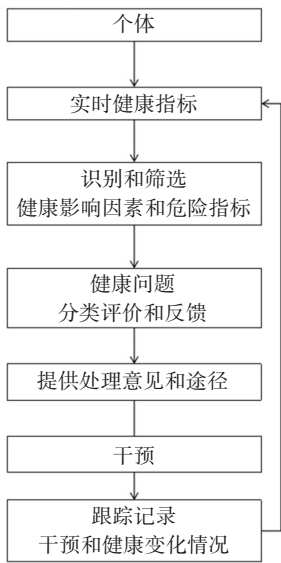


图1 智能康复服务路径

Figure 1 Intelligent rehabilitation service path

2.2 技术路径

2.2.1 实时健康监测 基于《国际功能、残疾和健康分类》(International Classification of Functioning, Disability and Health, ICF)理论,健康状况是个体身体结构与功能、活动、参与和生活环境的交互作

用^[24],健康监测的指标应包括:①个体的心率、心律、呼吸、血压、平衡和关节活动等身体功能与结构指标;②运动、饮食、日常生活等活动和参与指标;③个体所暴露的居家、出行和工作环境等环境指标。采用穿戴式传感器对个体的各项指标进行监测,并集成蓝牙模块。传感器数据通过蓝牙传输至智能手机等客户端,再通过无线网络传输至云端服务器,医疗机构和家庭成员可通过网络从云端获取数据。见图2和表1。表1列举部分穿戴式传感器在健康监测中的应用。此外,还可采用环境传感器进行安全、活动和环境变化的监测,如美国俄勒冈老龄化技术中心智能家居和佛罗里达大学盖特技术智能住宅^[25]。

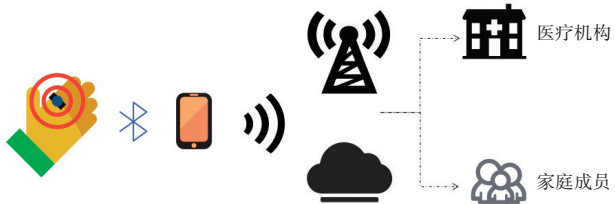


图2 基于可穿戴设备的远程实时健康监测示意图

Figure 2 Schematic diagram of remote real-time health monitoring based on wearable devices

表1 穿戴式传感器在健康监测中的应用

Table 1 Application of wearable sensors in health monitoring		
指标分类	穿戴式传感器类型	应用
身体	光电脉搏波生物传感器	监测心率 ^[26] 和监测血压 ^[27]
	柔性织物集成传感器	监测呼吸 ^[28]
功能与结构	运动捕捉传感器	监测姿势 ^[29]
	生化传感器	监测汗液成分 ^[30]
	电化学传感器	监测食物有害物质 ^[31]
活动与参与	胸带式吞咽呼吸传感器	监测饮食情况 ^[32]
	加速度传感器	识别运动 ^[33]
环境	空气质量传感器	监测个体暴露的空气质量情况(臭氧、颗粒物、温度、湿度等) ^[34]

2.2.2 远程家庭智能康复干预 建立远程家庭智能康复系统,是进行安全居家智能康复干预的基础。通过蓝牙(Bluetooth)、ZigBee、WLAN等近距离通信技术,将可穿戴监测设备、智能手机和电脑等终端,环境传感设备和家庭康复干预设备连接,再通过互联网、服务器和医疗机构连接,建立远程家庭智能康复系统。有研究进行过类似实践,但针对的人群相对局限,功能也较单一。见图3。如李

广^[35]利用无线蓝牙传输技术将生物反馈治疗仪、生理监护仪和上位机(电脑)连接,并通过互联网与服务器和医院连接,设计远程家庭智能康复系统,用于神经肌肉损伤康复;QIU等^[36]将Leap运动控制器、电脑和云端服务器连接,设计远程家庭虚拟现实康复系统(Home based Virtual Rehabilitation System, HoVRS),用于脑卒中后手功能障碍康复。

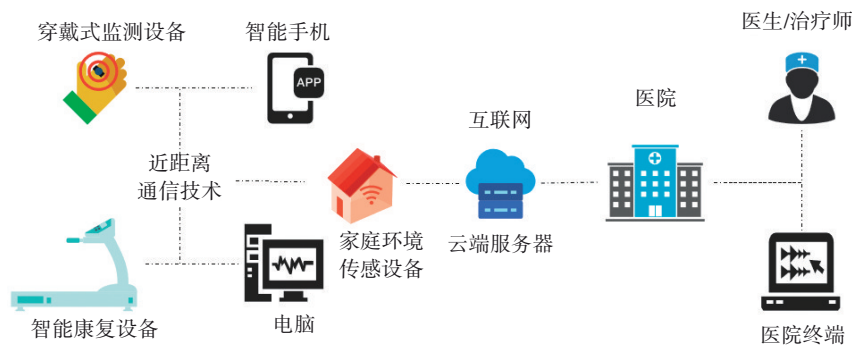
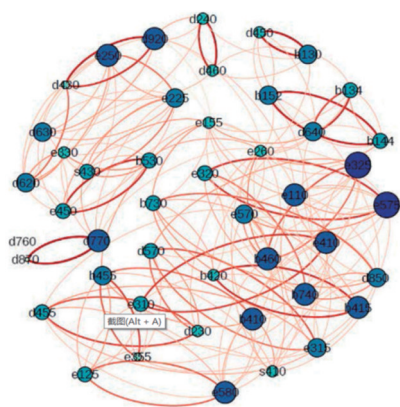


图3 远程家庭智能康复系统示意图

Figure 3 Schematic diagram of remote home intelligent rehabilitation system

2.2.3 健康分类评价标准体系 ICF 核心分类组合是从完整的 ICF 框架中选择出与评估和报告特定健康状况或卫生保健情境的功能信息最为相关的类目列表,用于评定罹患特定疾病或处于特定卫生保健情境中患者的功能^[37]。ICF 核心分类组合打破传统量表评价思维,从身体结构与功能、活动、参与和环境立体地描述了个体健康状况。借鉴 ICF 核心分类组合动态评价健康状况^[24,37],可将各指标判别结果按 ICF 框架转换为标准化的 ICF 限定值,利用人工神经网络(artificial neural network, ANN)进行标准化数据分析,从而形成类似 ICF 核心分类组合的标准化健康评价方式。智能康复系统按照该统一标准进行健康监测和评价,有利于数据的分析和交流。见图 4^[38]。



血压监测设备开发成智能腕带、智能纹身等形式,真正实现无感化连续血压监测。产品化的连续血压监测设备的出现,必将极大提升高血压的知晓率,更好地帮助每个人终身管理血压。

高血压康复临床研究方面,特色运动和呼吸康复疗法是主要研究内容。中等强度持续训练(moderate-intensity continuous training, MICT)是高血压传统的推荐运动方法^[42],但该方式过程枯燥,实践也表明其依从性不佳。高血压的呼吸康复疗法作为一种主动呼吸控制的康复方法,需要身心一体参与,近年来被越来越多的研究证实对血压改善有效^[43-44],但其推广率并不高。因此,研究有效、有趣、有特色的运动和呼吸康复疗法,将能弥补目前高血压康复手段的不足。针对高血压运动康复疗法,研究不同间歇时间和靶强度的高强度间歇运动(high-intensity interval training, HIIT)、循环抗阻运动(circuit resistance training, CRT)等新型运动方式对血压、血管内皮功能和炎症因子水平等高血压相关健康指标的影响,探讨制定最佳的组合式运动方案,最终丰富运动内容,从而提升运动趣味性。针对呼吸康复疗法,研究结合智能终端APP和电子气流传感器、胸腹部呼吸运动传感器等硬件,将呼吸训练过程转换成可视化的游戏;将该呼吸训练方案应用到临床研究中,研究探讨不同呼吸模式对高血压相关健康指标的影响,从而指导临床。

高血压康复数据库建设方面,重点关注与高血压进展密切相关的宏观功能性指标和微观生理、生化指标。高血压是一种心血管系统全身性疾病,它的进展可能影响步行、认知、协调和躯体感觉等多方面功能。血管内皮功能、炎症因子水平、血糖和血脂等生理和生化反映心血管系统整体健康环境,与高血压进展有着密不可分的联系。因此,从这2个角度建立高血压康复数据库,可以将高血压相关人群指标数据逐渐积累,用于探究预测高血压的新标志物和研究干预机制通路,对于高血压防治的长远发展有重要意义。

4 智能康复未来展望

医疗物联网(internet of medical things, IoMT)是指通过物联网和通信技术将医护人员、患者、各种医疗设备和设施智能便捷地连接起来,从而全面支持医疗数据自动识别、定位、采集、跟踪、管理、共享等各项功能,更好地完成智能化医疗以及智能化物品管理^[45]。随着智能化康复的不断发展,借助

各类通讯和传感技术,“个体-设备-医疗机构”之间将互联互通,形成“康复物联网”。与智能医院^[46]、智能社区^[47]和智能城市^[48]等结合,未来“康复物联网”将覆盖个体的全场景,全方位地提供健康监测和康复服务。大数据和云计算技术将通过储存和分析“康复物联网”产生的海量监测、评估、干预和预后数据,不断优化和迭代算法从而调整评估和干预策略,使系统变得越来越精准。通过云端服务器的接入,政府、科研和其他相关组织也将有直接获取全人群健康信息的途径,这将为医疗政策制定、健康领域科学研究、医保标准修订和环境治理等活动提供可靠依据。见图5。

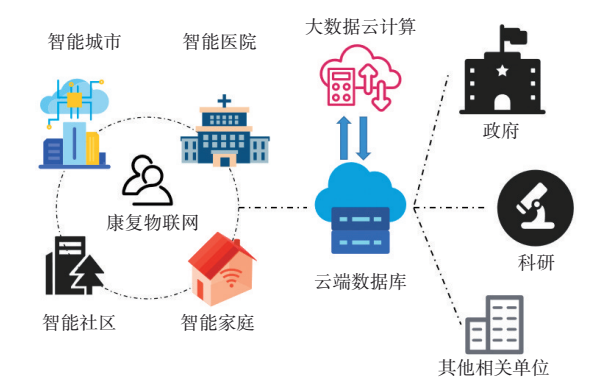


图5 智能康复未来展望
Figure 5 Future of intelligent rehabilitation

5 小结

健康中国建设是全面建成小康社会的必然要求,智能化康复是康复服务普及的重要手段。世界正在迈入数字时代,健康中国建设和康复发展离不开可穿戴传感器、物联网、大数据云计算和人工智能等数字化现代智能技术。这一系列智能技术与康复结合,将可能推动康复全民化、康复全周期和康复同质化的发展。将WHO-FICs应用在康复智能化建设中,赋予智能康复“天人合一”的干预理念,满足人民全面健康的需求。人民需要,技术融合,智能康复正当时!

参考文献

[1] 健康中国行动推进委员会. 健康中国行动(2019—2030年): 总体要求、重大行动及主要指标[J]. 中国循环杂志, 2019, 34(9): 846-858.
Healthy China Action Promotion Committee. The Healthy China Initiative (2019-2030): General requirements, major actions and main indicators [J]. Chin Circ J, 2019, 34(9): 846-858.
[2] 朱坤. 人口老龄化与我国卫生服务体系转型分析[J]. 卫生经济研究, 2019, 36(8): 3-7.

- ZHU K. Analysis of population aging and transformation of China's health service system [J]. Health Econ Res, 2019, 36(8): 3-7.
- [3] 央广网. 中国康复医学会智能康复专业委员会成立大会在京胜利召开[Z/OL]. (2020-12-02) [2020-12-13]. http://health.cnr.cn/qy/20201202/t20201202_525350207.shtml.
Official website of China National Radio and Television. The inaugural meeting of the Intelligent Rehabilitation Professional Committee of The Chinese Rehabilitation Medical Association was successfully held in Beijing [Z/OL]. (2020-12-02) [2020-12-13]. http://health.cnr.cn/qy/20201202/t20201202_525350207.shtml.
- [4] 新华社. 努力全方位、全周期保障人民健康——习近平总书记在卫生与健康大会上的讲话引起强烈反响[Z/OL]. (2016-08-22) [2020-12-20]. http://www.xinhuanet.com/politics/2016-08/22/c_1119434555.htm.
The Xinhua News Agency. Efforts to ensure people's health in all aspects and in the whole cycle — General Secretary Xi Jinping's speech at the National Health and Health Conference has aroused strong response [Z/OL]. (2016-08-22) [2020-12-20]. http://www.xinhuanet.com/politics/2016-08/22/c_1119434555.htm.
- [5] 新华社. 习近平主持政治局会议审议“健康中国2030”规划纲要[Z/OL]. (2016-08-26) [2020-12-20]. http://www.xinhuanet.com/politics/2016-08/26/c_1119462383.htm.
The Xinhua News Agency. Xi presided over a meeting of the Political Bureau to review the outline of the "Healthy China 2030" plan [Z/OL]. (2016-08-26) [2020-12-20]. http://www.xinhuanet.com/politics/2016-08/26/c_1119462383.htm.
- [6] 新华社. 中共中央国务院印发《“健康中国2030”规划纲要》[EB/OL]. (2016-11-20) [2020-12-20]. http://www.gov.cn/gongbao/2016-11/20/content_5133024.htm.
The Xinhua News Agency. The CPC Central Committee and The State Council issued the Outline of a Healthy China 2030 plan [EB/OL]. (2016-11-20) [2020-12-20]. http://www.gov.cn/gongbao/2016-11/20/content_5133024.htm.
- [7] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发健康中国行动组织实施和考核方案的通知[EB/OL]. (2019-07-15) [2020-12-20]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2019-07/15/content_5409499.htm.
General Office of the State Council. Circular of The General Office of the State Council on the issuance of the plan for organizing, implementing and assessing healthy China Action [EB/OL]. (2019-07-15) [2020-12-20]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2019-07/15/content_5409499.htm.
- [8] 新华社. 国务院关于实施健康中国行动的意见[EB/OL]. (2019-07-15) [2020-12-20]. http://www.xinhuanet.com/politics/2019-07/15/c_1124755126.htm.
The Xinhua News Agency. Opinions of the State Council on the Implementation of the Healthy China Initiative [EB/OL]. (2019-07-15) [2020-12-20]. http://www.xinhuanet.com/politics/2019-07/15/c_1124755126.htm.
- [9] 健康中国行动推进委员会. 健康中国行动(2019—2030年)[EB/OL]. (2019-07-15) [2020-12-20]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-07/15/content_5409694.htm.
Healthy China Action Promotion Committee. The Healthy China Initiative (2019-2030) [EB/OL]. (2019-07-15) [2020-12-20]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-07/15/content_5409694.htm.
- [10] 邱卓英, 郭健勋, 李伦. 健康服务体系中的康复[J]. 中国康复理论与实践, 2020, 26(1): 1-14.
- QIU Z Y, GUO J X, LI L. Rehabilitation in health service system [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2020, 26(1): 1-14.
- [11] 陈可冀. 倡导大康复医学理念[J]. 中国医刊, 2015, 50(12): 1-2.
- CHEN K J. Advocating the concept of great rehabilitation medicine [J]. Chin Med J, 2015, 50(12): 1-2.
- [12] 密忠祥, 黄秋晨, 刘菲, 等. 我国康复机构服务及运营管理现状分析[J]. 中国康复理论与实践, 2015, 21(1): 103-105.
- MI Z X, HUANG Q C, LIU F, et al. Operation and administration of rehabilitation institutions in China [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2015, 21(1): 103-105.
- [13] 任艳苹, 郭琪, 李雨晴, 等. 我国社区康复医疗资源的现状与需求[J]. 中国康复医学杂志, 2014, 29(8): 757-759.
- REN Y P, GUO Q, LI Y Q, et al. Current situation and demand of community rehabilitation medical resources in China [J]. Chin J Rehabil Med, 2014, 29(8): 757-759.
- [14] 卓大宏, 贝维斯, 李建军, 等. 中国社区康复的现状、面临的挑战和发展趋势[J]. 中国康复医学杂志, 2015, 30(7): 635-639.
- ZHUO D H, BEI W S, LI J J, et al. The current situation, challenges and development trend of community rehabilitation in China [J]. Chin J Rehabil Med, 2015, 30(7): 635-639.
- [15] 王茂斌. 关于康复医疗服务体系建设的若干问题[J]. 中国康复医学杂志, 2012, 27(7): 587-589.
- WANG M B. Some problems on the construction of rehabilitation medical service system [J]. Chin J Rehabil Med, 2012, 27(7): 587-589.
- [16] 卢迪迪. 康复机构从业人员现状及需求分析[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(7): 859-864.
- LU D D. Analysis of current situation and needs of practitioners in rehabilitation institutions [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2019, 25(7): 859-864.
- [17] FRANGO P M V L, POSTOLACHE O, YANG Y. Smart object for physical rehabilitation assessment [C]//GAVRILAS M, FOSALAU C, HABA C G, et al. International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, 2018: 678-682.
- [18] 张淑娟, 郑雅丹, 李鑫, 等. 智能运动反馈训练在脑卒中恢复期偏瘫患者手及上肢功能康复中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(10): 1183-1187.
- ZHANG S X, ZHENG Y D, LI X, et al. Application of joint angle feedback training on the motor function of hand and upper extremity of stroke patients [J]. Chin J Rehabil Med, 2019, 34(10): 1183-1187.
- [19] 王晓春, 王俊华. 运动反馈虚拟现实四肢康复系统评估模块设计[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(5): 597-601.
- WANG X C, WANG J H. Evaluation module for motor feedback virtual reality rehabilitation system for limbs [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2019, 25(5): 597-601.
- [20] JEONG C W, SEANG L, JOO S C. Construction of smart exercise guide information system for supporting rehabilitation training program [J]. Adv Sci Lett, 2017, 23(12): 12673-12677.
- [21] 董理权, 李晞, 徐进, 等. “互联网+”智能化辅助器具评估与适配服务体系构建研究[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(6): 724-728.
- DONG L Q, LI X, XU J, et al. Construction of assistive products service system using internet plus and artificial intelligence [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2019, 25(6): 724-728.

- [22] DOR-HAIM H, KATZBURG S, LEIBOWITZ D. A novel digital platform for a monitored home-based cardiac rehabilitation program [J]. *J Vis Exp*, 2019(146):e59019.
- [23] PENDERS A, OCTAVIA J R, LEFEVRE S, et al. SEIKO: Smart system for assisting home-based rehabilitation of knee arthroplasty patients [C]//BUJNOWSKI A, KACZMAREK M, RUMINSKI J. Conference on Human System Interaction, 2018: 214-220.
- [24] 燕铁斌. 借力网络与人工智能, 进一步推动《国际功能、残疾和健康分类(ICF)》的临床应用与研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2019, 34(2): 121-124.
- YAN T B. To further promote the clinical application and research of the International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF) with the help of internet and artificial intelligence [J]. *Chin J Rehabil Med*, 2019, 34(2): 121-124.
- [25] PATEL S, PARK H, BONATO P, et al. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2012, 9: 21.
- [26] FALLET S, VESIN J. Adaptive frequency tracking for robust heart rate estimation using wrist-type photoplethysmographic signals during physical exercise [C]//MURRAY A. Computing in Cardiology Conference, 2015: 925-928.
- [27] GANTI V G, CAREK A, NEVIUS B N, et al. Wearable cuff-less blood pressure estimation at home via pulse transit time [J]. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2020, 25(6): 1926-1937.
- [28] ROUDJANE M, BELLEMARE-ROUSSEAU S, DROUIN E, et al. Smart T-shirt based on wireless communication spiral fiber sensor array for real-time breath monitoring: validation of the technology [J]. *IEEE Sens J*, 2020, 20(18): 10841-10850.
- [29] GAO L, ZHANG G, YU B, et al. Wearable human motion posture capture and medical health monitoring based on wireless sensor networks [J]. *Measurement*, 2020, 166: 108252.
- [30] MORRIS D, SCHAZMANN B, WU Y, et al. Wearable technology for bio-chemical analysis of body fluids during exercise [C]//IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference Proceedings, 2008: 5741.
- [31] FERREIRA P C, ATAIDE V N, SILVA CHAGAS C L, et al. Wearable electrochemical sensors for forensic and clinical applications [J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2019, 119: 115622.
- [32] DONG B, BISWAS S. Wearable Diet Monitoring through Breathing Signal Analysis [M]//IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference Proceedings, 2013: 1186-1189.
- [33] XU J C, YUAN K J. Wearable muscle movement information measuring device based on acceleration sensor [J]. *Measurement*, 2021, 167: 108274.
- [34] NGHI D, RICKETTS A, CATLETT B, et al. Wearable sensors for analyzing personal exposure to air pollution [M]//DAM N, RICKETTS A, CATLETT B, et al. Wearable sensors for analyzing personal exposure to air pollution. Virginia: Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS), 2017: 1-4.
- [35] 李广. 基于诊疗系统的远程家庭智能康复系统的研究[D]. 锦州: 辽宁工业大学, 2014: 5-8.
- LI G. Research on remote home intelligent rehabilitation system based on diagnosis and treatment system [D]. Jinzhou: Liaoning University of Technology, 2014: 5-8.
- [36] QIU Q, CRONCE A, PATEL J, et al. Development of the Home based Virtual Rehabilitation System (HoVRS) to remotely deliver an intense and customized upper extremity training [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2020, 17(1): 155.
- [37] 吴文婷, 张继荣. ICF 核心分类组合在临床实践中的应用进展[J]. *中国康复*, 2017, 32(5): 414-417.
- WU W T, ZHANG J R. The application of ICF core classification combination in clinical practice [J]. *Chin J Rehabil*, 2017, 32(5): 414-417.
- [38] YOU M, FANG W, WANG X, et al. Modelling of the ICF core sets for chronic ischemic heart disease using the LASSO model in Chinese patients [J]. *Health Qual Life Outcomes*, 2018, 16(1): 139.
- [39] FORTUNE N, MADDEN R, ALMBORG A H. Use of a new international classification of health interventions for capturing information on health interventions relevant to people with disabilities [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2018, 15(1): 145.
- [40] 万振, 邱丹, 刘元喆, 等. 国内医疗物联网技术发展及应用现状[J]. *医疗卫生装备*, 2020, 41(11): 82-86.
- WAN Z, QIU D, LIU Y Z, et al. Development and application status of medical IoT technology in China [J]. *Med Health Equip*, 2020, 41(11): 82-86.
- [41] 吴琦史, 史明标, 邓燕, 等. 我国成人高血压流行病学分布特征研究进展[J]. *现代预防医学*, 2019, 46(23): 4238-4242.
- WU Q X, SHI M B, DENG Y, et al. Epidemiological distribution of adult hypertension, China [J]. *Mod Prev Med*, 2019, 46(23): 4238-4242.
- [42] 张前锋, 徐晓阳, 李捷. 有氧运动对原发性高血压的降压作用及可能机制[J]. *中国循环杂志*, 2016, 31(12): 1238-1240.
- ZHANG Q F, XU X Y, LI J. The effect of aerobic exercise on primary hypertension and its possible mechanism [J]. *Chin Circ J*, 2016, 31(12): 1238-1240.
- [43] GHATI N, KILLA A K, SHARMA G, et al. A randomised trial of the immediate effect of Bee-Humming Breathing exercise on blood pressure and heart rate variability in patients with essential hypertension [J]. *Explore (NY)*, 2021, 17(4): 312-319.
- [44] KALAIVANI S, KUMARI M J, PAL G K. Effect of alternate nostril breathing exercise on blood pressure, heart rate, and rate pressure product among patients with hypertension in JIPMER, Puducherry [J]. *J Educ Health Promot*, 2019, 8: 145.
- [45] WHELTON P K, CAREY R M, ARONOW W S, et al. 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NM CNA Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines [J]. *Hypertension*, 2018, 71(6): e13-e115.
- [46] KOYUNCU B, KOYUNCU H. Intelligent hospital management system (IHMS) [C]//International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks, 2015: 1602-1604.
- [47] YUAN X, LI Q. Research and development of intelligent healthy community system based on mobile Internet [J]. *J Comput Appl*, 2015, 35: 239-242, 246.
- [48] BOULOS M N K, AL-SHORBAJI N M. On the Internet of Things, smart cities and the WHO Healthy Cities [J]. *Int J Health Geogr*, 2014, 13: 10.

(下转第 364 页)