

智能设备在脑卒中后平衡功能障碍康复中的应用

曹倩茹, 周予婧, 刘梦君, 凌晨, 张泓, 肖四旺

【关键词】 智能设备; 脑卒中; 平衡

【中图分类号】 R49; R743.3 【DOI】 10.3870/zgkf.2021.12.011

平衡能力作为人体重要的生理机能之一,与姿势、转移及运动控制有关。平衡功能受损常表现为坐立不稳、转移及步行能力降低、跌倒风险增加,严重影响日常生活和生存质量^[1]。据统计,近年来脑卒中的致残率高达60%~70%^[2],其中约83%遗留有平衡功能障碍^[3-4],极大地加重了家庭和社会的负担,平衡功能的提高是运动功能和日常生活活动能力恢复的根本,因此平衡康复尤为重要^[5]。近年来,随着物联网、人工智能等现代化技术高速发展,传统康复手段已不能满足当今患者的康复需求,智能设备已成为脑卒中患者平衡功能障碍康复领域的研究热点。本文对平衡功能的常规康复及智能康复进行了比较分析,并以平衡维持机制的主要环节要点为框架,将智能设备分为视觉反馈平衡训练仪、康复机器人、虚拟现实技术、便携式智能可穿戴设备四类,介绍了智能康复设备在脑卒中后平衡功能障碍康复中的应用,同时比较了不同智能设备的优缺点,为临床研究与应用实践提供思路与参考。

1 智能康复与常规康复的比较

平衡康复的原理是基于中枢神经系统的可塑性机制^[6-7],增加以任务为导向的重复性学习,刺激大脑皮层特定区域神经纤维募集、产生神经冲动、诱发新的运动模式,从而提高平衡及运动功能。常规的平衡康复方法主要是由治疗师采用各种手法或利用康复器具(平衡垫、双杠、巴氏球等)进行不同体位姿势下的重心转移和运动控制练习;还可通过姿势矫正镜、触碰、言语提示等强化感觉输入;而悬吊、核心训练、神经肌肉

促进技术等侧重于增强核心稳定性,对躯干控制、重心转移及整体运动功能进行训练^[8-9]。虽然在一定程度上能提高患者的平衡及运动功能,但其治疗效果受治疗师工作经验和技能水平影响较大,训练过程中缺少必要的反馈训练,容易造成异常的运动和损伤,且动作单一、缺乏趣味性和客观性,难以调动患者的积极性和主动性,无法满足长时间、持续精准、有针对性的高质量康复训练要求。而随着国家政策与人工智能技术的发展,依托于智能设备的康复方法已成为卒中后平衡康复的新选择。视觉反馈平衡训练仪、下肢康复机器人、虚拟现实技术及智能可穿戴设备等已逐渐应用于临床,并具有常规康复方法所无法比拟的优势。可满足高重复性、高强度的训练要求,提供准确、规范及个性化的训练方案,增强趣味性并能充分调动患者的积极性和主动性^[10];还可实时监测与评估,大大弥补了常规康复方法的不足,更为高效、安全与便捷。

2 智能康复在脑卒中平衡康复中的应用

平衡的维持依赖于中枢神经系统控制下感觉系统与运动系统的共同参与和相互作用^[11],即大脑中枢对外周传入视觉、本体觉、平衡觉等感觉信息进行整合分析后形成相应的运动方案并下达运动指令,运动控制系统接收指令后按照相应的运动模式协调控制姿势、调整重心、恢复或重建平衡。智能康复便是基于平衡维持的这三大系统,利用新兴技术手段干预感觉的输入以及运动的传出,通过反复训练从而提高脑卒中后患者的平衡功能。

2.1 视觉反馈平衡训练仪 视觉反馈平衡训练仪是利用视觉反馈系统采用情景模拟游戏等强化感觉的输入;可通过患者本身平衡觉和平衡仪的反馈,获取重心移动轨迹和姿势摇摆的动态反馈,向中枢传入各类感觉刺激,强化本体感觉,促进身体重心对称性分布,从而改善平衡功能^[12-14]。常见的平衡训练仪包括 Pro-Kin、Tetrax、PC-708A、MTD-systems、Smart-EquiT-

基金项目:国家自然科学基金资助项目(81603705);湖南省“国内一流培育学科”中西医结合开放基金项目(2020ZXYJH37);湖南省残疾人联合会康复科研资助项目(2019XK028);湖南中医药大学研究生创新课题项目(2020CX53)

收稿日期:2021-02-13

作者单位:湖南中医药大学,长沙 410208

作者简介:曹倩茹(1997-),女,硕士研究生,主要从事神经系统疾病的康复机理与临床方面的研究。

通讯作者:肖四旺,2358158223@qq.com

est、Neurocom、Balance Control Trainer等;其中 Pro-Kin 平衡训练仪在满足重复性、趣味性和个性化训练的基础上还可进行定性、定量的客观评估,在临床上应用最为广泛^[15]。近年来无论是文献研究还是临床实践^[16-19],均表明视觉反馈平衡仪在脑卒中的康复中具有积极作用,有助于改善患者的站立位平衡及日常生活能力。李光磊等^[20]对24例脑卒中后遗留平衡功能障碍的患者采用 Prokin 视觉反馈平衡训练仪进行治疗发现,视觉反馈平衡训练可增强患者本体感觉、有效提高其平衡及步行能力。由于临床实践中只有在站立情况下方可使用该仪器,不适用于早期康复;因此有研究者创新性地将视觉反馈平衡训练仪与减重系统相结合^[21],使患者早期在减重状态下便可利用视觉反馈平衡系统进行训练,对尽早改善平衡及步行功能意义深远,大大减少了卒中后遗症的发生。

2.2 康复机器人 将智能化机器人设备与现代生物医学相结合是数据时代发展的潮流,更是互联网趋动的必然。常见的下肢康复机器人以外骨骼式和末端式为主^[22],Lokomat 下肢康复机器人作为世界上第一台将下肢外骨骼机械与运动平板相结合的智能运动训练系统机器人^[23],具备高强度、重复性的特点,被广泛应用于脑卒中的康复治疗中并取得了良好的疗效。Lokomat 主要由减重系统、外骨骼矫正器、运动跑台及其控制系统组成^[24],可利用减重系统支撑部分体重,在减重状态下外骨骼矫正器与跑台相协调,通过机械腿带动患者按正常运动模式进行重复性、规律性及渐进性摆动;还可测量并记录运动过程中的数据,及时感知下肢肌张力的变化,根据患者的功能进展情况适时调整运动模式,有利于平衡功能的整体提高^[25]。国内外研究发现下肢康复机器人联合常规平衡康复疗法更有助于提升下肢肌力,改善平衡与运动功能,尤其对亚急性期脑卒中患者的平衡及步态恢复具有良好的疗效^[26-28]。吴志远等^[29]研究采用下肢康复机器人根据患者自身实际情况选择站立角度、踏步模式及左/右腿活动范围,结果发现下肢康复机器人训练提高了静态、动态平衡及日常功能控制的指标,如 Berg 平衡量表(Berg balance scale, BBS)、Fugel-Meyer 运动功能评分(Fugel-Meyer motor assessment scale, FMA)明显增加而神经功能缺损评分(national institute of health stroke scale, NIHSS)明显降低,由此可见下肢康复机器人训练可减轻脑卒中患者神经损伤程度,促进平衡功能及下肢运动功能的恢复。

2.3 虚拟现实技术 虚拟现实(virtual reality, VR)技术作为一项新兴技术,基于脑神经网络的可塑性和动作学习与控制理论^[30],利用计算机及其辅助系统模

拟产生一个具有多感官刺激的三维立体虚拟环境,根据患者自身功能水平选择并设置不同的运动模式与难易程度,患者通过对视、听、触等各种感觉的反馈实现人机交互,实时感知虚拟环境的变化并加以调整从而达到康复训练的目的。VR 兼具交互、沉浸与构想三大特点,可提供丰富的虚拟环境,使患者产生身临其境般的感受和体验,同时还为康复训练提供了重复练习、实时反馈、维持动机等关键因素的技术手段,在丰富的环境中通过重复性的主动训练,运动再学习,增加神经源性因子的产生,加快侧支循环建立,改善神经功能缺损,提高平衡及整体运动功能^[31-32]。已有多项研究表明^[33-35]基于 VR 的平衡训练可改善脑卒中后不同体位姿势下的动、静态平衡功能,尤其在改善长期站立位平衡方面疗效显著^[36]。此外更有学者选择将 VR 技术与核心稳定性训练、本体感觉神经肌肉促进技术(proprioceptive neuromuscular facilitation, PNF)等常规康复疗法联合使用,均取得了较为可观的治疗效果^[37]。

2.4 便携式智能可穿戴设备 脑卒中后易出现的足下垂、内翻严重影响平衡及步态的恢复^[38],而便携式智能可穿戴设备如动态踝足矫形器(dynamic ankle-foot orthosis, DAFO)、可穿戴式智能足底压力视觉反馈鞋垫等可利用传感系统对患者运动过程中平衡和步态的数据进行监测,基于实时监测数据为患者提供个性化的训练方案。俞沁圆等^[39]探讨动态踝足矫形器对脑卒中患者步行能力及平衡功能康复的影响研究发现,使用 DAFO 可有效矫正患者踝足功能障碍,促进其平衡及步行能力的恢复,较常规康复而言可在更短时间内达到更好的疗效。梁嘉欣等^[40]研究可穿戴式智能足底压力视觉反馈鞋垫对脑卒中患者的影响发现其可通过内衬于鞋垫的足底压力传感器对患者进行平衡与步态数据监测与训练,可有效改善患者的平衡、协调与步态,且较常规训练方法效果更为显著。

3 不同智能设备在脑卒中平衡康复中的比较

视觉反馈平衡训练仪以干预视觉传入作为主要手段,利用视觉反馈强化感觉刺激、调节前庭功能;适合于已具备站立位平衡的患者,主要用于改善站立位动、静态平衡及步行功能,并可结合足底压力,利用生物力学反馈,定性、定量地进行评估。但其视觉传入的真实性、立体性较虚拟现实技术差,游戏相对单调,不生活化,必须与减重设备联合使用方能应用于卒中就早期患者,性价比相对较低。

下肢康复机器人以干预运动传出作为主要手段,训练中通过逐渐减少承重强化本体感觉输入,反复刺

激大脑皮层引起特定神经纤维募集,诱发新的运动模式;更适用于亚急性期患者,主要用于改善站位平衡及步行功能。下肢康复机器人还可根据反馈系统及时感知张力的变化,更为安全有效且能精准控制肢体的运动,可减少由于代偿所致的一系列不正确的运动模式,但机器人设备较为笨重,需要专业人士在特定场所才能进行,灵活性差、价格昂贵,且基本不具备评估功能。

虚拟现实技术则是将视觉传入与运动传出进行整合后的手段,利用计算机模拟产生的丰富虚拟环境,以自然方式实现用户与环境的刺激交互,可使患者在训练时观察强化对动作的认知,适合卒中后各个时期的患者,应用最为广泛,可全方位改善患者不同体位下的动、静态平衡。其视觉传入是三维立体的,可凭借自然方式实现用户与环境的刺激交互,与其他智能设备相比更生动形象、趣味性更强、性价比更高但评估功能相对较弱。

便携式智能可穿戴设备是基于传感系统对平衡和步态的数据进行监测,适合已具备站立位三级平衡或步行功能的患者,主要用于改善站立位下的动态平衡及步态,并可在训练的同时达到实时监测的效果,兼具评估与治疗。其最便携性与易用性是其相较于其他智能设备而言最大的优点,可操作性强、性价比高,但仅适用于某一类功能障碍患者的需求,且需要量身定制,针对不同类别的功能障碍类型需要适配不同的可穿戴设备。

4 小结与展望

基于文献可知,智能设备应用于脑卒中后平衡功能障碍康复中的疗效显著且具有可观的发展前景,但设备本身研发以及临床应用研究仍存在一定的局限。就其设备本身而言目前大致存在以下几个方面的问题:人工智能的建立依托大数据,但目前针对智能设备康复这方面的研究不足,缺乏足够且高质量的数据支撑,严重影响其精准性;智能设备大多依靠传感器与计算机处理实现可视化,但传感器的稳定性及可靠性尚未得到具体的证实。临床上利用智能设备进行康复越来越普及,但也存在一定的局限性:对治疗参数的选择、治疗时间、强度及适应症均缺乏统一的标准规范,疗效可比性存在一定争议。临床使用过程中存在误差较大、功能单一以及设备佩戴的舒适性问题。

对此我们建议:①在今后的实验中,在符合医学道德伦理要求的前提下,征得患者同意,丰富智能设备在脑卒中康复中的研究,扩充人工智能系统大数据库储备,保证大数据处理的可靠性;②寻求技术支持,在满足治疗要求的基础上简化机器设备,达到轻便易携带

的效果,使智能康复得到全民普及;③完善优化研究设计方案,加大对治疗参数、时间、强度记忆适应症等的研究,形成统一的标准体系。④加大对智能设备康复的推广及应用,使其能普及大众。

综上所述,依托于智能设备的康复手段对脑卒中后平衡功能障碍患者具有良好的疗效,尽管目前存在不足,但随着互联网数据时代的发展以及国家的政策支持,智能康复必将成为未来康复发展的新趋势,人工智能的介入将为脑卒中的康复提供新的思路与保障。

【参考文献】

- [1] De Bruyn N, Essers B, Thijs L, et al. Does sensorimotor upper limb therapy post stroke alter behavior and brain connectivity differently compared to motor therapy Protocol of a phase II randomized controlled trial[J]. *Trials*, 2018, 19(1):1-10.
- [2] Akutagawa N, Sadashima S, Nakagaki H, et al. Intracerebral hemorrhage after intravenous recombinant tissue plasminogen activator (rt-PA) therapy for acute cerebral infarction in a patient with ANCA-associated vasculitis[J]. *Rinsho Shinkeigaku*, 2017, 57(8):454-456.
- [3] 舒馨馨,邵梦鸣.平衡功能及等速肌力训练对脑卒中患者步行能力的影响研究[J]. *按摩与康复医学*, 2018, 9(14):11-12.
- [4] Batchelor FA, Williams SB, Wijeratne T, et al. Balance and gait impairment in transient ischemic attack and minor stroke[J]. *J Stroke Cerebrovasc*, 2015, 24(10): 2291-2297.
- [5] Jafri SK, Ehsan L, Abbas Q, et al. Frequency and Outcome of Acute Neurologic Complications after Congenital Heart Disease Surgery[J]. *J Pediatr Neurosci*, 2017, 12(4):328-331.
- [6] 张大威,叶祥明,林坚,等.下肢任务导向性训练对慢性期脑卒中患者步行能力的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2011, 26(8):768-770.
- [7] Molteni F, Gasperini G, Cannaviello G, et al. Exoskeleton and End-Effector Robots for Upper and Lower Limbs Rehabilitation: Narrative Review[J]. *PM R*, 2018, 10(9):174-188.
- [8] 孙芸,文艳红,彭荣琳,等.社区康复运动对脑梗死患者运动功能和生活能力影响[J]. *社区医学杂志*, 2020, 18(10):736-739.
- [9] 王鑫,孟兆祥,钱贞,等.丰富平衡训练对脑卒中偏瘫患者平衡功能的影响[J]. *中国康复*, 2016, 31(6):438-441.
- [10] van Hedel HJA, Meyer-Heim A, Rüschoft C, et al. Robot-assisted gait training might be beneficial for more severely affected children with cerebral palsy[J]. *Dev Neurorehabil*, 2016, 19(6): 410-415.
- [11] 南登昆,黄晓琳.实用康复医学[M].第4版.北京:人民卫生出版社,2010:79-80.
- [12] Park DS, Lee DG, Lee K, et al. Effects of Virtual Reality Training using Xbox Kinect on Motor Function in Stroke Survivors: A Preliminary Study[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2017, 26(10): 2313-2319.
- [13] Liu SW. Effect of the balancing instrument training on balance function in stroke patients [J]. *Chin Contin Med Edu*, 2017, 9(26):131-133.

- [14] Li GL, Zhu XM, Ma R, et al. Effect of prokin balance trainer on balance function of stroke patients with hemiplegia[J]. Chin Health Standa Manag, 2019,10(4):52-54.
- [15] Mackintosh S F, Hill K D, Dodd K J, et al. Balance Score and a History of Falls in Hospital Predict Recurrent Falls in the 6 Months Following Stroke Rehabilitation[J]. Arch Phys Med Rehab, 2006, 87(12):1583-1589.
- [16] 王晓春,王俊华,谢水平. 视觉反馈平衡训练仪训练对脑卒中后平衡及步行能力影响的 Meta 分析[J]. 循证医学, 2019,19(2):86-91,101.
- [17] Zhang M, You H, Zhang H, et al. Effects of visual feedback balance training with the Pro-kin system on walking and self-care abilities in stroke patients[J]. Medicine, 2020,99(39):e22425.
- [18] Noh HJ, Lee SH, Bang DH. Three-Dimensional Balance Training Using Visual Feedback on Balance and Walking Ability in Subacute Stroke Patients: A Single-Blinded Randomized Controlled Pilot Trial[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2019, 28(4):994-1000.
- [19] 迪晓霞,李鑫铭,翟月萍. 平衡仪训练对脑卒中患者平衡功能及跌倒风险的影响[J]. 中国康复, 2017,32(3):196-198.
- [20] 李光磊,朱晓明,马蕊,等. 视觉反馈平衡训练在脑卒中偏瘫患者中的应用[J]. 中国卫生标准管理, 2020,11(15):16-18.
- [21] 谢秋蓉,江征,罗庆禄,等. 视觉反馈平衡训练仪结合减重支持系统在脑卒中早期康复阶段中的应用效果分析[J]. 中国当代医药, 2015,22(31):61-63,66.
- [22] Zhang X, Yue Z, Wang J. Robotics in Lower-Limb Rehabilitation after Stroke[J]. Behav Neurol, 2017, 2017(4):1-13.
- [23] Jezernik S, Colombo G, Keller T, et al. Robotic orthosis lokomat: a rehabilitation and research tool[J]. Neuromodulation, 2003, 6(2):108-115.
- [24] Weber L M, Stein J. The use of robots in stroke rehabilitation: A narrative review[J]. Neuro Rehabil, 2018, 43(1):99-110.
- [25] Chen B, Ma H, Qin LY, et al. Recent developments and challenges of lower extremity exoskeletons[J]. J Orthop Transl, 2016, 5(1):26-37.
- [26] Maggio M G, Naro A, Manuli A, et al. Effects of Robotic Neurorehabilitation on Body Representation in Individuals with Stroke: A Preliminary Study Focusing on an EEG-Based Approach[J]. Brain Topogr, 2021,34(4):1-15.
- [27] 解二康,李策,陆蓉蓉,等. 骨盆减重康复机器人训练对脑卒中后偏瘫患者下肢功能的影响[J]. 中国康复, 2020,35(8):404-408.
- [28] 朱勤贤,顾伯林,周湘明,等. 头针联合下肢康复机器人训练对脑卒中患者平衡和步行能力的影响[J]. 中国中西医结合杂志, 2019,39(12):1422-1427.
- [29] 吴志远,李坤彬,娄书伟,等. 下肢康复机器人训练对脑卒中患者运动及平衡功能的影响[J]. 康复学报, 2020,30(2):114-118.
- [30] 梁顺利,吴忧,张荣博,等. 虚拟现实训练对有平衡障碍的小脑梗死患者平衡和步态的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2020,35(6):700-704.
- [31] Jeon S N, Choi J H. The effects of ankle joint strategy exercises with and without visual feedback on the dynamic balance of stroke patients[J]. J Phys Ther Sci, 2015, 27(8):2515-2518.
- [32] Nima T, Jane M, Armstrong D G, et al. The Influence of Diabetic Peripheral Neuropathy on Local Postural Muscle and Central Sensory Feedback Balance Control[J]. Plos One, 2015, 10(8):e0135255.
- [33] 胡靖然,陈小飞. 虚拟现实技术联合下肢康复机器人训练对缺血性脑卒中患者下肢功能及平衡能力影响的研究[J]. 中国康复, 2020,35(12):633-636.
- [34] 张丽华,米立新,马全胜,等. 虚拟现实平衡训练对脑卒中患者的临床疗效[J]. 中国康复, 2019,34(12):635-638.
- [35] In T, Lee K, Song C. Virtual Reality Reflection Therapy Improves Balance and Gait in Patients with Chronic Stroke: Randomized Controlled Trials[J]. Med Sci Monit, 2016, 28(22):4046-4053.
- [36] 冯绍雯,王萍,王建国,等. 虚拟平衡游戏训练在脑卒中患者平衡和步行功能康复中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2015,30(11):1171-1173.
- [37] 王帆,何雯,蔡妍卿,等. PNF 技术结合虚拟现实训练对脑卒中后平衡功能的疗效[J]. 按摩与康复医学, 2018,9(3):20-22.
- [38] Awad L N, Bae J, O'donnell K, et al. A soft robotic exosuit improves walking in patients after stroke[J]. Sci Transl Med, 2017, 9(400):eaai9084.
- [39] 俞沁圆,刘伟,吴思雨,等. 动态踝足矫形器对脑卒中患者步行能力及平衡功能康复的影响[J]. 现代医药卫生, 2020,36(9):1287-1290,1294.
- [40] 梁嘉欣,黄国志,王俊辉,等. 可穿戴式智能足底压力视觉反馈技术对脑卒中患者平衡功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2019,34(3):267-272.

本刊办刊方向:

立足现实 关注前沿 贴近读者 追求卓越