

# 虚拟现实技术在脑卒中后平衡功能康复中的作用机制和应用进展

王梦婷<sup>1,2</sup> 殷稚飞<sup>2</sup> 张瑞媿<sup>1,2</sup> 陈艳茹<sup>1,2</sup> 刘宾<sup>3</sup> 蔡可书<sup>2</sup>

<sup>1</sup>南京市栖霞区医院康复医学科,南京 210046; <sup>2</sup>南京医科大学第一附属医院康复医学中心,南京 210029; <sup>3</sup>南京医科大学生物医学工程与信息学院,南京 211166

通信作者:蔡可书,Email:caikeshu@sina.com

**【摘要】**虚拟现实(VR)技术因具有高效交互性和沉浸性而逐渐被用于多种疾病的康复治疗,其真实、丰富的训练场景和以目的为导向的训练方式,可有效提高康复治疗的趣味性和患者参与的积极性。VR技术基于高沉浸性、丰富的训练场景和交互方式,可促进脑卒中患者的感知觉功能和平衡功能的改善,结合机器人训练系统还可增加其训练强度和训练量,可进一步地提高康复治疗的效果。本文旨在通过综述VR技术在脑卒中后平衡功能康复中的作用机制和应用进展,以期VR技术在临床康复的应用和研究提供参考依据。

**【关键词】**虚拟现实技术; 脑卒中; 平衡功能障碍; 交互技术; 感知觉功能

DOI:10.3760/cma.j.cn421666-20200622-00794

脑卒中后约有80%的患者会遗留不同程度的运动功能障碍<sup>[1]</sup>,尤其运动控制缺陷会导致平衡能力下降,致使几乎一半的患者会在出院后发生跌倒事件,其中大多发生在“转身”等活动中<sup>[2]</sup>。因此,提高脑卒中患者的平衡功能,对其生活回归具有关键作用。

传统的平衡训练如重心转移训练、平衡控制训练和步态训练等,均存在康复周期长、趣味性低、患者依从性差等缺点<sup>[3]</sup>。另一方面,脑卒中后,患者对真实环境缺少应变能力,其在治疗室内所改善的平衡和步态往往难以转换成实用性的姿势控制和有效步行<sup>[4]</sup>。

近年来,虚拟现实(virtual reality, VR)技术提供了实时的内在和外在的多感官反馈(视觉、听觉、触觉等躯体感觉系统),并通过模拟现实场景和日常生活任务的各种虚拟环境来提供丰富的动机性训练和目标导向任务训练<sup>[5]</sup>。在改善脑卒中患者的平衡功能和步行能力方面,VR技术显示出明显的优势。本文就VR技术在脑卒中后平衡功能障碍的相关机制和临床应用进行综述,旨在为VR技术在面对脑卒中偏瘫患者姿势调整和平衡功能的康复梳理研究思路。

## VR技术改善脑卒中后平衡功能障碍的机制

平衡是指人体重心偏离稳定位置时,通过自发的、无意识的或反射性的活动,重新恢复重心稳定的能力<sup>[3]</sup>。研究表明,保持人体平衡需要三个环节,即感觉输入(视觉、触觉、本体感觉和前庭觉等)、中枢神经功能整合和运动控制<sup>[6]</sup>。脑卒中后,偏瘫患者的触觉、本体感觉、视觉、前庭觉等会出现各种功能障碍,其中枢神经系统整合能力、躯干核心和四肢肌肉的肌力及其协同功能,甚至认知功能都会随之减弱,从而导致静态姿势维持和动态运动控制障碍等问题<sup>[7]</sup>,而VR技术对脑卒中后平衡功能障碍的调控作用可从以下机制中得到体现。

一、VR技术可促进感知觉功能的改善,对平衡调节具有前馈和后馈作用

脑卒中后,患者的注意力、记忆和执行功能减退会影响其平衡功能和运动能力<sup>[8]</sup>。VR技术可通过呈现不同的场景和任务为患者提供丰富的视觉、听觉信息输入,在平衡训练中具有前馈作用<sup>[9]</sup>。VR设备还可获取个体的重心位置、身体姿态等数据,并以视觉或听觉的形式反馈给患者,帮助患者意识到自己的动作偏差,及时调整身体的姿势和动作,从而改善平衡能力<sup>[10]</sup>。研究认为,视觉感知输入在视觉皮质整合成连贯的信息流时,特异性视觉信息才可被大脑编码为反馈信息<sup>[11]</sup>;而VR训练任务则是利用视觉整合激活皮质和皮质下神经回路,改善中枢神经系统对感觉输入的反应,诱导受损大脑增强处理信息的能力,进一步提高患者的感知觉功能和对运动计划的执行度<sup>[12]</sup>。视觉整合是通过大脑前馈信息与自下向上的动态反馈信息之间的复杂信息交互作用实现的,研究认为,这一概念从解剖学和行为学角度均成立,因为高位皮质神经可不基于视觉信息提供灵活的前馈信息指令而主动提前做出应变准备<sup>[13]</sup>。

## 二、VR技术可激活镜像神经系统,强化运动记忆

镜像神经系统可提供一种动作观察-执行匹配机制,它们在个体执行动作以及观察到其他个体执行相同或相似动作时会被激活,在动作观察、动作模仿、运动想象和运动学习等神经生理学过程中具有重要作用<sup>[14]</sup>。脑电图显示,虚拟训练可以提高镜像神经系统的兴奋性<sup>[15]</sup>。在虚拟现实训练中,由于镜像神经元的作用,使用者在观察虚拟场景中的动作时,仿佛自己正在执行这些动作,从而提高训练效果<sup>[16]</sup>。镜像疗法可有效地利用镜像神经元的特性,激活大脑中与患侧肢体运动相关的镜像神经元,从而促进患侧肢体的运动功能恢复<sup>[17]</sup>。脑-机接口技术是通过检测大脑中的神经信号将其转化为计算机可识别的指令,从而实现其对外部设备的控制,在这个过程中,镜像神经元的动作观察和执行的匹配机制可能有助于提高大脑对动作意图的表达和识别,从而提高脑-机接口的性能<sup>[18]</sup>。因此,镜像神经元的动作观察-执行匹配机制是VR疗法、镜像疗法和脑-机接口等技术的重要神经调节机制<sup>[19]</sup>。上述研究表明,当

个体观察到他人执行某种动作时,其镜像神经元会被激活,就好像自己在执行同样的动作一样,这种机制可使个体更好地理解他人的动作意图和情感状态,同时也有助于其学习和模仿新的动作技能。

### 三、VR 技术可诱导核心肌群良性协同

神经、肌肉和骨关节的功能是维持站立平衡的基本保证,要维持稳定的站立平衡,除了稳定的平衡感知觉外,还必须有与躯干肌和下肢肌良性协同的肌力和肌张力<sup>[16]</sup>。脑卒中后,核心肌群常表现为低兴奋性,虚弱肌肉间的竞争性拮抗无法维持脊柱稳定的中立位和抗重力协同运动,从而影响其平衡功能<sup>[20]</sup>。而 VR 的任务导向性训练可激发内在肌群的稳定性,在静力性或运动性的姿势控制中可有效地调控肌肉间的协调性,更准确地控制躯干和下肢的移动;同时 VR 任务的实时反馈还可最大化地减少代偿的发生,改善患者的运动和平衡能力<sup>[21-22]</sup>。

## VR 技术在脑卒中后平衡功能障碍的临床应用

基于上述脑卒中后平衡功能障碍的相关机制,目前的临床研究显示,在 VR 环境下针对平衡功能的训练可改善患者的感知觉功能和肢体运动功能,进一步提高患者的平衡功能。

### 一、VR 训练可通过改善感知觉功能来促进平衡功能的改善

脑卒中后,大部分患者均伴有不同程度的认知功能障碍,会影响患者的平衡能力,降低其生活质量<sup>[23]</sup>。研究发现,脑卒中患者的感觉缺失会使其无法通过视觉、躯体本体感觉或前庭觉的输入来精准地判断站立时身体所处的位置与周围环境的关系,从而导致姿态和平衡障碍问题<sup>[24-25]</sup>。

Lin 等<sup>[26]</sup>的综述指出,VR 治疗可显著改善病情稳定的急性脑卒中患者的注意力、记忆力、运动执行能力、平衡运动功能和日常生活活动能力,且治疗方案是安全的。还有研究发现,中枢胆碱能递质系统与学习记忆密切相关<sup>[27]</sup>,而脑卒中患者功能的改善可能与 VR 训练可激活大脑代谢、增加神经递质和胆碱能递质释放及促进皮质重塑等有关<sup>[28]</sup>。

VR 联合镜像治疗可将健侧下肢运动投射到患侧肢体上方,利用视错觉提供更广阔的视野,使患者可同时观察到双侧的肢体,从而纠正不对称姿势。Mielaus 等<sup>[29]</sup>的研究发现,59 例脑卒中偏瘫患者经 VR 联合镜像治疗连续干预 10 d 后,其患侧下肢的主动关节活动度、肌肉力量、下肢运动功能和姿势平衡等均显著改善,且疗效优于对照组。该研究指出,VR 联合镜像治疗的过程中,患者可通过观察镜像获得正常的视觉反馈,以补偿本体感受输入的减少或缺失,从而激活与学习记忆和共通感觉相关的镜像神经系统,这可能是 VR 联合镜像治疗改善平衡的作用机制。

VR 技术还可通过改善前庭功能来改善步态和动态平衡。一项研究将纳入的亚急性偏瘫患者随机分为 2 组,分别给予为期 8 周的前庭康复治疗(视觉与头部协调性运动)和 VR 治疗<sup>[30]</sup>,结果发现,VR 治疗在改善患者平衡和步态方面更有效。

### 二、VR 可通过改善运动功能来促进平衡功能的改善

脑卒中后,患者躯干控制能力、核心肌力以及下肢肌肉的肌力、肌张力和协调功能的减退和丧失都会影响下肢肌肉的激活<sup>[31-32]</sup>,从而导致平衡功能和活动障碍<sup>[33]</sup>。

脑卒中患者常因患侧肌群肌力和肌张力异常而导致不对称的躯干运动,躯干不稳定可使患者在执行任务时姿势控制困难,从而影响其外周肢体协调和平衡能力<sup>[34]</sup>。研究表明,躯干肌控制能力的提高有助于改善脑卒中患者的步行能力和平衡能力。Lee 等<sup>[35]</sup>的研究指出,坐位下 VR 独木舟划桨训练可显著改善亚急性脑卒中患者的功能性伸展测试评分和姿势摇摆测试评分。此外,Sultan 等<sup>[36]</sup>使用 VR 游戏对脑卒中偏瘫患者进行姿势控制核心肌群训练,8 周后,患者的 Berg 平衡量表(Berg balance scale, BBS)、功能独立性测量(functional independence measurement, FIM)、躯干损伤量表(trunk injury scale, TIS)和计时起立行走测试(time up and go test, TUG)等评估结果均较治疗前明显改善。上述研究表明,VR 技术可通过对躯干核心肌肉力量训练增强本体感受器的感觉输入,提升脑卒中患者的感知能力,从而提高其日常生活活动能力。

Park 等<sup>[37]</sup>研究发现,经 VR 离心肌力训练治疗 8 周后,脑卒中后下肢功能障碍患者下肢的肌肉自主收缩百分比和稳定极限较治疗前均明显改善,患者平衡能力的改善机制可能与其下肢肌肉的激活有关。

在应对身体重心变化时,除肌力、肌张力等的协调作用,踝策略也常用于解决与平衡有关的问题。然而,脑卒中后患者的踝策略丧失,重心转移时无法以踝关节为中心主动调整重心,平衡能力显著下降,增加了跌倒的风险<sup>[38]</sup>。Kumar 等<sup>[39]</sup>的研究发现,采用 VR 重心辅助平台和传感鞋对脑卒中后偏瘫患者实施平衡训练,有助于诱导患者踝策略的启动,并可显著改善其重心转移能力、动态平衡和姿势控制能力。

### 三、VR 联合机器人辅助康复训练系统来促进平衡功能的改善

近年,越来越多的研究将 VR 和机器人辅助康复训练系统相结合,通过高强度、多重复、以任务为导向的训练,为不能独立站立或步行的脑卒中患者提供了接近于正常步态的平衡训练和步行训练,使其运动方式和肢体趋于稳定,大大促进了脑卒中患者的恢复率<sup>[40]</sup>。

Bergmann 等<sup>[41]</sup>验证了脑卒中患者对 VR 联合机器人辅助步行训练(robot-assisted gait training, RAGT)的耐受性,以明确干预措施对患者接受度、患者内在动机、完成率等的影响,结果发现,经连续 4 周的 VR 联合 RAGT 干预后,脑卒中患者的行走时间明显增加,其接受度和依从性更佳。

Park 等<sup>[42]</sup>的研究也发现,RAGT 联合步态训练可显著改善脑卒中后步行功能障碍患者的平衡和步行功能,该结果表明,VR 训练通过视觉刺激促进大脑皮质和中枢神经系统的激活,有助于步行和平衡能力的再学习。

## 总结

VR 训练易于收集数据,可对患者的训练提供实时的反馈,治疗师也可根据个人的数据分析给予针对性的训练处方。同时在安全的前提下,患者可在沉浸式的场景中自由训练,甚至在康复过程中可以忽略肢体的障碍,更容易达到训练目的,设计方案优异的 VR 训练程序可有效改善脑卒中后平衡功能,提高转移功能,降低跌倒风险。临床治疗应充分发挥 VR 技术优势,促进脑卒中患者的康复进程。

目前,VR 训练技术也存在一些局限性:首先,VR 通过改善

脑卒中后感知障碍而提高平衡功能的研究还缺乏大样本量的随机对照研究循证依据;其次,VR 康复训练的人机交互策略相对较为简单,尚缺乏基于符合患者兴趣的深度沉浸式个体化训练程序;再者,常用的 VR 训练场景可能会导致部分患者出现呕吐、眩晕等不适症状。

综上所述,VR 训练对脑卒中后平衡功能的改善具有积极的意义,虽存在一些局限性,但随着 VR 技术的不断革新和训练方案的丰富完善,其在平衡功能训练方面有着非常广阔的应用前景。

## 参 考 文 献

- [1] Khalid S, Malik AN, Siddiqi FA, et al. Overview of gait rehabilitation in stroke [J]. *J Pak Med Assoc*, 2023, 73 ( 5 ) : 1142-1145. DOI: 10.47391/JPMA.23-39.
- [2] Rahayu UB, Wibowo S, Setyopranoto I, et al. Effectiveness of physiotherapy interventions in brain plasticity, balance and functional ability in stroke survivors: a randomized controlled trial [J]. *NeuroRehabilitation*, 2020, 47 ( 4 ) : 463-470. DOI: 10.3233/NRE-203210.
- [3] Lei C, Sunzi K, Dai F, et al. Effects of virtual reality rehabilitation training on gait and balance in patients with Parkinson's disease: a systematic review [J]. *PLoS One*, 2019, 14 ( 11 ) : e0224819. DOI: 10.1371/journal.pone.0224819.
- [4] Muhla F, Duclos K, Clanché F, et al. Does the management of visual and audible motion information during an immersive virtual reality timed up and go test impact locomotor performance in the elderly? [J]. *Gerontology*, 2022, 68 ( 4 ) : 456-464. DOI: 10.1159/000517286.
- [5] Rajashekar D, Boyer A, Larkin-Kaiser KA, et al. Technological advances in stroke rehabilitation: robotics and virtual reality [J]. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 2024, 35 ( 2 ) : 383-398. DOI: 10.1016/j.pmr.2023.06.026.
- [6] Rubin DA, Rose DJ, Escano DL, et al. Contributing factors to postural stability in Prader-Willi syndrome [J]. *Hum Mov Sci*, 2023, 91: 103125. DOI: 10.1016/j.humov.2023.103125.
- [7] Mang J, Xu Z, Qi Y, et al. Favoring the cognitive-motor process in the closed-loop of BCI mediated post stroke motor function recovery: challenges and approaches [J]. *Front Neurobot*, 2023, 17: 1271967. DOI: 10.3389/fnbot.2023.1271967.
- [8] Bergqvist M, Möller MC, Björklund M, et al. The impact of visuospatial and executive function on activity performance and outcome after robotic or conventional gait training, long-term after stroke-as part of a randomized controlled trial [J]. *PLoS One*, 2023, 18 ( 3 ) : e0281212. DOI: 10.1371/journal.pone.0281212.
- [9] Panzeri D, Genova C, Poggi G, et al. Visual feedback and virtual reality in gait rehabilitation of hemiparetic children and teenagers after acquired brain injury: a pilot study [J]. *Children*, 2022, 9 ( 11 ) : 1760. DOI: 10.3390/children9111760.
- [10] Kim KH, Kim DH. Improved balance, gait, and lower limb motor function in a 58-year-old man with right hemiplegic traumatic brain injury following virtual reality-based real-time feedback physical therapy [J]. *Am J Case Rep*, 2023, 24: e938803. DOI: 10.12659/AJCR.938803.
- [11] Chen L, Cichy RM, Kaiser D. Alpha-frequency feedback to early visual cortex orchestrates coherent naturalistic vision [J]. *Sci Adv*, 2023, 9 ( 45 ) : eadi2321. DOI: 10.1126/sciadv.adi2321.
- [12] Kumar J, Patel T, Sugandh F, et al. Innovative approaches and therapies

- to enhance neuroplasticity and promote recovery in patients with neurological disorders: a narrative review [J]. *Cureus*, 2023, 15 ( 7 ) : e41914. DOI: 10.7759/cureus.41914.
- [13] Salin PA, Bullier J. Corticocortical connections in the visual system: structure and function [J]. *Physiol Rev*, 1995, 75 ( 1 ) : 107-154. DOI: 10.1152/physrev.1995.75.1.107.
- [14] Lahuerta-Martín S, Llamas-Ramos R, Llamas-Ramos I. Effectiveness of therapies based on mirror neuron system to treat gait in patients with parkinson's disease-a systematic review [J]. *J Clin Med*, 2022, 11 ( 14 ) : 4236. DOI: 10.3390/jcm11144236.
- [15] Calabrò RS, Naro A, Russo M, et al. The role of virtual reality in improving motor performance as revealed by EEG: a randomized clinical trial [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2017, 14 ( 1 ) : 53. DOI: 10.1186/s12984-017-0268-4.
- [16] Walia S, Kumar P, Kataria C. Interventions to improve standing balance in individuals with incomplete spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis [J]. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 2023, 29 ( 2 ) : 56-83. DOI: 10.46292/sci21-00065.
- [17] Zhang K, Ding L, Wang X, et al. Evidence of mirror therapy for recruitment of ipsilateral motor pathways in stroke recovery: a resting fMRI study [J]. *Neurotherapeutics*, 2024, 21 ( 2 ) : e00320. DOI: 10.1016/j.neurot.2024.e00320.
- [18] Nunes JD, Vourvopoulos A, Blanco-Mora DA, et al. Brain activation by a VR-based motor imagery and observation task: an fMRI study [J]. *PLoS One*, 2023, 18 ( 9 ) : e0291528. DOI: 10.1371/journal.pone.0291528.
- [19] Torricelli F, Tomassini A, Pezzulo G, et al. Motor invariants in action execution and perception [J]. *Phys Life Rev*, 2023, 44: 13-47. DOI: 10.1016/j.plrev.2022.11.003.
- [20] Karthikbabu S, Ganesan S, Ellajosyula R, et al. Core stability exercises yield multiple benefits for patients with chronic stroke: a randomized controlled trial [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2022, 101 ( 4 ) : 314-323. DOI: 10.1097/PHM.0000000000001794.
- [21] Kantha P, Hsu WL, Chen PJ, et al. A novel balance training approach: Biomechanical study of virtual reality-based skateboarding [J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2023, 11: 1136368. DOI: 10.3389/fbioe.2023.1136368.
- [22] Ai X, Santamaria V, Omofuma I, et al. Effects of boundary-based assist-as-needed force field on lower limb muscle synergies during standing posture training [J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2023, 31: 2306-2314. DOI: 10.1109/TNSRE.2023.3273990.
- [23] Zhang B, Li D, Liu Y, et al. Virtual reality for limb motor function, balance, gait, cognition and daily function of stroke patients: A systematic review and meta-analysis [J]. *J Adv Nurs*, 2021, 77 ( 8 ) : 3255-3273. DOI: 10.1111/jan.14800.
- [24] Awosika OO, Garver A, Drury C, et al. Insufficiencies in sensory systems reweighting is associated with walking impairment severity in chronic stroke: an observational cohort study [J]. *Front Neurol*, 2023, 14: 1244657. DOI: 10.3389/fneur.2023.1244657.
- [25] Kuramatsu Y, Suzukamo Y, Izumi SI. Two types of sensorimotor strategies for whole-body movement in individuals with stroke: a pilot study [J]. *Physiother Theory Pract*, 2022, 38 ( 13 ) : 2580-2591. DOI: 10.1080/09593985.2021.1962461.
- [26] Lin C, Ren Y, Lu A. The effectiveness of virtual reality games in improving cognition, mobility, and emotion in elderly post-stroke patients: a

- systematic review and meta-analysis[J]. *Neurosurv Rev*, 2023, 46(1): 167. DOI: 10.1007/s10143-023-02061-w.
- [27] Fatemeh G. Correction to: cholinergic neurotransmitter system; a potential marker for post-stroke cognitive recovery[J]. *Brai*, 2022, 145(9): e81. DOI: 10.1093/brain/awac251.
- [28] Hao J, Xie H, Harp K, et al. Effects of virtual reality intervention on neural plasticity in stroke rehabilitation: a systematic review[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2022, 103(3): 523-541. DOI: 10.1016/j.apmr.2021.06.024.
- [29] Miclaus RS, Roman N, Henter R, et al. Lower extremity rehabilitation in patients with post-stroke sequelae through virtual reality associated with mirror therapy[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(5): 2654. DOI: 10.3390/ijerph18052654.
- [30] Sana V, Ghouse M, Kashif M, et al. Effects of vestibular rehabilitation therapy versus virtual reality on balance, dizziness, and gait in patients with subacute stroke: a randomized controlled trial[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2023, 102(24): e33203. DOI: 10.1097/MD.00000000000033203.
- [31] Cabanas-Valdés R, Bagur-Calafat C, Girabent-Farrés M, et al. The effect of additional core stability exercises on improving dynamic sitting balance and trunk control for subacute stroke patients: a randomized controlled trial[J]. *Clin Rehabil*, 2016, 30(10): 1024-1033. DOI: 10.1177/0269215515609414.
- [32] Haruyama K, Kawakami M, Otsuka T. Effect of core stability training on trunk function, standing balance, and mobility in stroke patients[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2017, 31(3): 240-249. DOI: 10.1177/1545968316675431.
- [33] Li YA, Chen ZJ, He C, et al. Exoskeleton-assisted sit-to-stand training improves lower-limb function through modifications of muscle synergies in subacute stroke survivors[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2023, 31: 3095-3105. DOI: 10.1109/TNSRE.2023.3297737.
- [34] Balkan A F, Yeliz Salcı, Keklicek H, et al. The trunk control: Which scale is the best in very acute stroke patients[J]? *Top Stroke Rehabil*, 2019, 26(6): 1-7. DOI: 10.1080/10749357.2019.1607994.
- [35] Mo L M, Jin L K, Ho S C. Game-Based virtual reality canoe paddling training to improve postural balance and upper extremity function: a preliminary randomized controlled study of 30 patients with subacute stroke[J]. *Med Sci Monit*, 2018, 24: 2590-2598. DOI: 10.12659/MSM.906451.
- [36] Sultan N, Khushnood K, Qureshi S, et al. Effects of virtual reality training using xbox kinect on balance, postural control, and functional independence in subjects with stroke[J]. *Games Health J*, 2023, 12(6): 440-444. DOI: 10.1089/g4h.2022.0193.
- [37] Park SK, Yang DJ, Uhm YH, et al. The effect of virtual reality-based eccentric training on lower extremity muscle activation and balance in stroke patients[J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28(7): 2055-2058. DOI: 10.1589/jpts.28.2055.
- [38] Kitatani R, Ohata K, Hashiguchi Y, et al. Clinical factors associated with ankle muscle coactivation during gait in adults after stroke[J]. *NeuroRehabilitation*, 2016, 38(4): 351-357. DOI: 10.3233/NRE-161326.
- [39] Kumar D, González A, Das A, et al. Virtual reality-based center of mass-assisted personalized balance training system[J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2017, 5: 85. DOI: 10.3389/fbioe.2017.00085.
- [40] Giovanni M, Stefano P, Andrea C, et al. Robot-assisted gait training for stroke patients: current state of the art and perspectives of robotics[J]. *Neuropsychiatr Dis Treat*, 2017, 13: 1303-1311. DOI: 10.2147/NDT.S114102.
- [41] Bergmann J, Krewer C, Bauer P, et al. Virtual reality to augment robot-assisted gait training in non-ambulatory patients with a subacute stroke: a pilot randomized controlled trial[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2018, 54(3): 397-407. DOI: 10.23736/S1973-9087.17.04735-9.
- [42] Park J, Chung Y. The effects of robot-assisted gait training using virtual reality and auditory stimulation on balance and gait abilities in persons with stroke[J]. *Neuro Rehabilitation*, 2018, 43(2): 227-235. DOI: 10.3233/NRE-172415.

(修回日期: 2024-11-20)

(本文编辑: 阮仕衡)

· 征订启事 ·

## 欢迎订阅《中华物理医学与康复杂志》

《中华物理医学与康复杂志》是中华医学会主办的物理医学与康复学专业的高水平学术期刊之一。本刊全面介绍本学科及相关领域领先的科研成果和新理论、新技术、新方法、新经验,以及对物理因子治疗、康复临床、疗养等有指导作用且与本学科密切相关的基础理论研究,及时反映我国物理医学与康复领域的重大进展。

本刊现设有述评、基础研究、临床研究、研究快报、个案报道、综述、讲座、继续教育、学术争鸣、外刊重要文章摘登、学会信息、康复器械与用品信息等栏目,并将依来稿情况随时作一些调整。

《中华物理医学与康复杂志》为月刊,大 16 开,内芯 96 页码,中国标准刊号:ISSN 0254-1424 CN 42-1666/R,邮发代号:38-391,每月 25 日出版;2024 年每册定价 30 元,全年 360 元整。热忱欢迎国内外物理治疗、物理医学与康复、康复医学领域以及神经内科、神经外科、骨科等相关科室的各级医务工作者踊跃订阅、投稿。

订购办法:①邮局订阅:按照邮发代号 38-391,到全国各地邮局办理订阅手续。②直接订阅:通过邮局汇款至《中华物理医学与康复杂志》编辑部订购,各类订户汇款时务请注明所需的杂志名称及年、卷、期、册数等。

编辑部地址:430100 武汉市蔡甸区中法新城同济专家社区 E 栋《中华物理医学与康复杂志》编辑部。

电话:(027)-69378391;E-mail:cjpmr@tjh.tjmu.edu.cn;杂志投稿网址:www.cjpmr.cn。