

·名家论坛·

“手脑感知-手脑运动”理论在脑卒中后 上肢康复中的应用

贾 杰*

复旦大学附属华山医院, 上海 200040

* 通信作者: 贾杰, E-mail: shannonjj@126.com

收稿日期: 2024-01-24; 接受日期: 2024-04-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(82272606, 91948302, 82021002); 国家重点研发计划项目(2018YFC2002300);

福建省科技创新联合资金项目(2021Y9130)

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2024.04001

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



贾 杰, 教授, 主任医师, 博士生导师。“十三五”国家重点研发计划项目“老年全周期康复技术体系与信息化管理研究”首席科学家。现任国家区域医疗中心(复旦华山福建医院)副院长, 新乡医学院康复学院院长, 健康老龄化智慧医疗教育部工程研究中心副主任, 复旦大学附属华山医院康复医学科副主任, 上海市静安区中心医院康复医学科执行主任。担任中国康复医学会常务理事、社区康复工作委员会主任委员、循证康复医学工作委员会副主任委员, 上海市残疾人康复协会康复辅具器具专业委员会副主任委员, 上海市抗癌协会肿瘤心理学专业委员会常务委员等职。在脑卒中康复、手功能康复、老年全周期康复、肿瘤康复、社区康复等领域深耕30余年。主持国家级、省部级项目15项, 获国家科学技术进步奖一等奖1项, 中国康复医学会科学技术奖一等奖2项, 中国产学研创新合作成果奖二等奖1项, 中华医学奖二等奖1项, 上海市科普教育创新奖科普传媒奖三等奖1项, 上海市康

复医学科技奖一等奖1项、二等奖2项, 以及国家卫生健康委员会脑卒中防治工程委员会突出贡献专家奖、中国康复医学会“最美康复科技工作者”等荣誉称号, 授权发明专利13项, 转化实用新型专利2项, 牵头制订专家共识2篇、指南书籍8部, 参与制订国际共识1篇, 起草国家标准1项、团体标准2项、地方残联规范1项, 主编出版专著17部, 副主编出版专著7部, 发表学术论文436篇, 其中SCI收录143篇。

摘要 上肢运动功能障碍是脑卒中后患者面临的主要问题, 寻求更多有效的康复技术对减轻患者功能障碍程度、提升生活质量具有重要意义。本研究关注感觉功能对上肢运动功能恢复的重要作用, 并对“手脑感知-手脑运动”理论开展进一步的解读。在该理论的指导下, 课题组就手脑感知康复评估与训练系统创建手脑感知训练五步法(感觉评估、感觉宣教、感觉训练、任务导向性训练和感觉认知)、手脑感知-脑机接口训练范式、手脑感知-镜像疗法训练范式和“手脑感知-手脑运动”理论的其他应用进行阐述, 分析了“手脑感知-手脑运动”理论与“中枢-外周-中枢”闭环康复理论的关系, 以期康复医务人员在治疗脑卒中后上肢感觉、运动功能障碍提供参考依据与启发。

关键词 脑卒中; 上肢康复; 运动功能; 感觉功能; 手脑感知; 手脑运动

引用格式: 贾杰. “手脑感知-手脑运动”理论在脑卒中后上肢康复中的应用[J]. 康复学报, 2024, 34(4): 311-315, 322.

JIA J. Application of "hand-brain perception and hand-brain movement" theory in upper limb rehabilitation after stroke [J]. Rehabil Med, 2024, 34(4): 311-315, 322.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2024.04001

©《康复学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 4.0 协议

© Rehabilitation Medicine, OA under the CC BY-NC-ND 4.0

脑卒中是中国成人致死、致残的首要原因,约 50% 以上的患者存在长期上肢运动功能障碍^[1]。康复是减轻运动功能障碍、提高患者生活质量的重要手段,但仅着眼于患者上肢运动功能的训练,常使康复效果处于“瓶颈”。随着脑科学研究不断发展与深入,感觉与运动功能的相互关系及作用机制逐渐明朗。在脑卒中上肢康复训练中加入感觉元素的训练对运动功能恢复具有增益作用。但是,临床康复工作者常常忽略了感觉功能对运动功能恢复的重要影响,主要原因是缺乏具有针对性的理论指导及有效的训练策略。本研究以“手脑感知-手脑运动”理论为起点,论述感觉功能参与运动恢复的作用机制,以及该理论指导下的康复策略,以期为我国临床康复人员开展脑卒中上肢康复治疗提供参考。

1 “手脑感知-手脑运动”理论

1.1 感觉功能在脑卒中后上肢运动功能恢复中的重要作用

上肢作为探知世界的一个基础工具,占全身功能的 60%,而手功能则占上肢功能的 90%^[2]。手部功能在中央前回、中央后回占据了大面积投影,脑卒中病变常累及手部皮层控制区,导致手功能障碍,影响患者日常生活活动能力。手完成正常动作需要感觉与运动的整合,若其中一个步骤出现异常,手的运动将失去协调性,进一步加重患者的手功能障碍。研究发现,50%~80% 脑卒中患者存在感觉功能障碍,60% 脑卒中患者表现出至少一种躯体感觉功能受损,其中轻触觉最常受影响,而温度觉受影响较小^[3]。手部感觉的输入与整合是协调运动的先导和必要条件,感觉信息经过传入、转化为运动输出以产生适当的动作。躯体感觉信号通过体感-运动整合机制在精细运动控制中发挥作用,其中触觉-运动和本体感觉-运动整合机制可能在手指灵巧性运动中发挥不同的作用,而重复的动作练习能重组感觉-运动整合功能,使手指精细运动更加灵活^[4]。特殊感觉(如视觉)与感觉运动系统相互作用并诱导初级体感皮层(primary somatosensory cortex, S1)的神经可塑性改变以支持熟练运动的表现^[5]。在进行复杂的视觉运动任务学习后,S1 区的兴奋性和抑制性功能均得到增强,而 S1 区兴奋性改变与运动学习效率增加有关^[6]。新习得的运动技能最初是不稳定的,通过巩固得以保留。研究发现,初级运动皮层虽然具有与运动学习相关的可塑性,但

是其参与记忆巩固的直接证据有限,通过利用经颅磁刺激阻断巩固,发现 S1 区的可塑性参与了运动记忆的巩固^[7]。此外,研究表明,脑卒中后躯体感觉障碍的自发恢复是上肢运动功能完全恢复的前提条件^[8]。然而,临床上很少有研究关注到手感觉功能受损对运动恢复的影响,呈现“重运动,轻感觉”的临床现状。

1.2 “手脑感知-手脑运动”的定义与内涵

自 2016 年起,本课题组研究脑卒中后上肢感觉功能与运动恢复的相关性,并在临床实践中不断探索感知训练促进运动恢复的康复策略。2020 年,课题组正式提出“手脑感知-手脑运动”理论,系统性论述“手脑感知”与“手脑运动”的相互关系^[9]。“手脑感知”是指手部在外界环境刺激下,各类感觉信息通过相应传导通路上行传导至特定中枢脑区,经过分析、整合、加工,继而将处理信息下行传导至肌肉、骨骼等外周效应器,通过手部肌肉和骨骼的运动方式表现出来。“手脑运动”指的是基于大脑可塑性和神经调控机制,临床上通过外周干预及中枢干预等手段,促进中枢神经系统重塑,以加快手运动功能的恢复。该理论强调感觉器官是引起肌肉骨骼运动的先导,大脑在对多模态感知信息进行整合后,产生正确的肌肉骨骼运动模式,形成“手脑感知”闭环通路,提出以“手脑感知”启动“手脑运动”的康复新思路,呼吁康复医师、康复治疗师关注上肢感觉功能恢复。

2 “手脑感知-手脑运动”理论指导下的创新康复策略

如何通过“手脑感知”启动“手脑运动”以进一步促进脑卒中患者上肢功能康复是临床关注的科学问题。在“手脑感知-手脑运动”理论指导下,课题组研发了相应的评估与训练设备,创建了手脑感知五步训练法以及相关疗法的联合应用范式,并通过临床试验证实其可行性、有效性。

2.1 手脑感知康复评估与训练系统的开发

为推进临床对手脑感知理论与康复策略的同质化应用,课题组研发了手脑感知康复评估与训练设备——SensiTouch2^[10]。SensiTouch2 设备包括训练桌和训练配件 2 个部分:训练桌由底座支架、桌面、雾化玻璃、雾化玻璃控制电路、抽屉、脚踏开关组成;训练配件由单丝、软刷、凉温感觉器、音叉、两点辨别觉测试工具、摩擦棒、实体觉训练配件、质量觉训练配件组成。通过雾化玻璃挡住患者视线,在

视觉屏蔽状态下,康复治疗师使用不同的配件对患者进行浅、深及复合感觉的评估与感知训练,在训练过程中患者感知错误时,通过脚踏开关使雾化玻璃透明,患者能够借助视觉了解感知情况,帮助患者建立、强化正确的“感-知”过程。此外,设备配套智能平板端,用于患者信息管理及感知康复训练记录。

2.2 手脑感知训练五步法

良好的上肢功能需要感知-运动的相互调控,通过将自身和外部环境的感觉整合以形成运动,并合理协调前馈和反馈过程^[11]。在上肢及手功能康复过程中,手脑感知理论强调以“手脑感知”启动“手脑运动”作业任务态,在丰富密集的手脑感知环境中进行手脑感知训练,利用刺激工具或康复手法、可视化或遮蔽视觉等,为患者提供多模态感知信息(包括浅、深、复合感觉以及视觉、听觉等特殊感觉),促进脑卒中患者脑区感觉-运动信息的分析整合,以引导正确运动行为的产生和执行。对此,课题组提出了手脑感知训练五步法,包括感觉评估、感觉宣教、感觉训练、任务导向性训练和感觉认知^[12]。

2.2.1 感觉评估 任何康复训练均始于评估、终于评估。感觉初评能够帮助临床康复人员掌握脑卒中患者感觉损伤情况,针对性地开展手脑感知训练。感觉末评能够真实反映患者训练前后的功能对比情况,有利于增强患者康复信心,并为制订下一步治疗计划提供依据。

2.2.2 感觉宣教 临床康复人员针对脑卒中患者存在的感觉问题,向患者及家属进行日常生活的宣教,并进行通俗易懂的感觉相关知识科普,提高脑卒中患者及家属对感觉训练重要性的认识,有利于患者配合训练。

2.2.3 感觉训练 除了关注脑卒中患者自身感觉能力,还需要关注外部感觉环境,创造丰富感知环境,并运用在手脑感知训练过程中,以达到更好的康复效果。

2.2.4 任务导向性训练 手脑感知训练并非单一的感觉刺激训练,还综合应用了任务导向性训练。康复治疗师根据脑卒中患者实际感觉、运动功能情况以及患者自身密切相关的作业活动,设计符合患者难度的作业任务,帮助患者将感觉、运动功能训练成果泛化应用到作业活动中。

2.2.5 感觉认知 手脑感知训练五步法中每个步骤并非独立分离的,而是相互融合的,最后一步的

感觉认知即对前述训练步骤的学习记忆与巩固,使整体训练成为一个循环反复的过程。

在手脑感知五步法基础上,课题组进一步设计了涵盖浅感觉、本体感觉、复合感觉和特殊感觉4个感觉模块场景和任务的训练范式,强调视觉遮蔽、开放和健/患侧手交替。训练过程中治疗师根据患者表现及时给予反馈、适时调整任务难度,从简单到复杂,循序渐进。通过对亚急性期、慢性期脑卒中患者进行为期4周的随机临床对照试验发现,接受基于手脑感知训练五步法的多感觉训练、本体感觉训练的患者其上肢感觉功能、精细运动功能、手部灵活性及日常生活活动能力均较对照组有明显改善^[13]。

2.3 手脑感知-脑机接口训练范式

脑机接口(brain-computer interface, BCI)是前沿热门的中枢干预技术之一,强调人机互动,对患者主动参与意识要求高。BCI通过大脑活动的皮质振荡帮助患者实现对外部设备的意志控制,以此促进大脑神经可塑性改变。课题组基于既往研究成果,将手脑感知理论应用于BCI上肢康复训练范式的开发,设计了运动尝试、触觉刺激和触觉刺激辅助运动尝试3种BCI训练范式。研究结果发现,与运动尝试、触觉刺激训练范式比较,脑卒中患者在触觉刺激辅助运动尝试训练范式下的alpha和beta节律的感觉运动相关皮层激活更强,并且患者在任务态和静息态的BCI解码准确率也明显提高,表明躯体感觉输入在运动执行中起到重要作用,有利于促进脑卒中患者大脑皮层神经可塑性改变^[14]。

2.4 手脑感知-镜像疗法训练范式

镜像视觉反馈(mirror visual feedback, MVF)是1项基于视错觉缓解疼痛、改善肢体功能的中枢干预手段,利用平面镜成像原理将健侧肢体影像反馈至患侧,通过镜像视错觉诱导脑卒中患者对患侧肢体影像产生具身化体验,从而增强对患侧肢体的感知,促进患侧肢体功能^[15]。MVF是视觉刺激与运动意向的结合,基于摄像头的MVF(camera-based MVF, camMVF)打破了传统应用真实镜面的局限性,为患者提供多样化的治疗方案。课题组前期基于自主研发的camMVF开展了多项随机对照试验验证其有效性^[16],并通过脑电图进一步探索camMVF对脑卒中患者的潜在神经作用机制。有研究纳入20例亚急性期卒中患者随机接受常规康复和camMVF干预,临床量表评估结果显示,接受camMVF干预后脑卒中患者的运动功能和日常生活活动能力明显改

善;脑电图评估结果也显示,MVF重塑了脑卒中患者枕叶、颞叶、顶叶及双侧中央前回与中央后回的脑网络效率,证实正常手部运动的视错觉输入与感觉运动系统相互作用有助于上肢运动功能恢复^[17]。在此基础上,课题组开发了MVF下的主动感觉抓握训练范式,其主动感觉抓握训练与运动训练比较能够进一步改善患者的运动功能。

2.5 “手脑感知-手脑运动”理论的其他应用

目前,“手脑感知-手脑运动”理论的应用大部分集中于脑卒中领域。在脑卒中上肢功能评估方面,越来越多国内学者关注“手脑感知-手脑运动”理论,重视评估手段的研发与应用。石雨等^[18]开展研究证实了多维度视频定量评估系统在脑卒中手功能障碍方面评估的潜力;杨宇琦等^[19]采用跨文化调试的方法建立中文版改良诺丁汉感觉功能评价量表,为脑梗死患者的预后评估提供方法学依据。在脑卒中上肢功能障碍干预方面,“手脑感知-手脑运动”理论内涵得到实际落地应用。李壮苗等^[20]观察艾盐包热熨手三阳经对脑卒中患者上肢功能恢复的作用,将感知理论与传统康复方法再结合,从现代康复角度对传统康复方法应用价值进行诠释。感知理论在一些新兴疗法的临床研究中也常被提及。王旭豪等^[21]探讨水中运动疗法对脑卒中后偏瘫患者上肢运动功能和日常生活活动能力恢复的影响,通过静水压力及水温为患者提供多样感觉环境,将感觉刺激与运动训练融合,促进脑卒中患者肢体功能恢复。感知理论也为脑卒中神经调控技术及外周刺激技术的临床应用提供支撑。王利凯等^[22]研究经皮耳迷走神经电刺激联合经颅直流电刺激对脑卒中恢复期患者上肢功能的影响,提供多通道刺激帮助提高脑卒中患者上肢功能和日常生活活动能力。

此外,感知理论还延伸运用至其他康复领域。杜承润^[23]以“手脑感知与手脑运动”等手功能康复理论作为指导与参考,针对电竞运动员手指慢性运动损伤设计功能性训练方案;李逸清等^[24]以感知理论作为参考设计活动,探讨作业疗法对分娩性臂丛神经损伤患儿上肢运动功能的改善作用。

3 “手脑感知-手脑运动”理论与“中枢-外周-中枢”闭环康复理论的关系

在“手脑感知-手脑运动”理论提出之前,笔者针对临床上的中枢干预与外周干预开展多项临床研究,探讨中枢与外周应如何结合应用才能最大限

度地促进脑卒中患者上肢运动功能恢复,并提出了“中枢-外周-中枢”闭环康复理论^[25]。该理论提出先利用中枢干预手段对皮层兴奋性进行调控,提高神经可塑性,随后在皮层兴奋的情况下,通过外周干预强化感觉与运动控制模式进行反馈,以达到促进中枢重塑、外周功能再建的目的。此后,闭环康复理论的内涵在临床实践与基础研究中不断发展。“手脑感知-手脑运动”理论与闭环康复理论关系密切。闭环康复理论的中枢与外周即指干预模式,也指中枢皮层与外周器官,不同的器官功能对应着不同的主导皮层。“手脑感知-手脑运动”正是聚焦到上肢感觉运动功能与中央前回、中央后回、额顶网络等脑区的深层作用机制,以外周感觉输入-中枢感知-外周运动输出-中枢反馈的循环为基础开发多种形式的感知康复训练策略,以促进卒中后上肢感觉、运动功能改善。

4 结 语

“手脑感知-手脑运动”理论具有丰富且深入的内涵,自提出以来得到了广泛关注与应用,也形成了系列颇具疗效的康复策略。感知觉的传入和整合、感知觉间的相互作用是如何影响最后的信息输出,进而影响上肢运动功能恢复是极具科学价值的研究问题。在临床应用方面,探索更客观的手脑感知评估体系(如结合电生理、功能性近红外光谱技术、定量感觉测量等评价技术)、根据不同损伤人群的康复需求开发更多的感知觉康复策略,是未来进一步的研究方向。同时,还需对已有的感知康复技术制订标准化训练方案,推动更多康复人员在临床中规范地开展手脑感知训练。

参考文献

- [1] MICERA S, CALEO M, CHISARI C, et al. Advanced neurotechnologies for the restoration of motor function [J]. *Neuron*, 2020, 105(4): 604-620.
- [2] 贾杰. 脑卒中后手功能康复应评价和治疗并重[J]. *上海医药*, 2014, 35(2): 6-9.
JIA J. Rehabilitation of hand function after stroke requires attention to both assessment and therapy [J]. *Shanghai Med Pharm J*, 2014, 35(2): 6-9.
- [3] KESSNER S S, SCHLEMM E, CHENG B, et al. Somatosensory deficits after ischemic stroke [J]. *Stroke*, 2019, 50(5): 1116-1123.
- [4] HIRANO M, KIMOTO Y, FURUYA S. Specialized somatosensory-motor integration functions in musicians [J]. *Cereb Cortex*, 2020, 30(3): 1148-1158.
- [5] GOLDENKOFF E R, MCGREGOR H R, MERGOS J, et al. Reversal of visual feedback modulates somatosensory plasticity [J].

- Neuroscience, 2021, 452: 335-344.
- [6] PHAM M V, SAITO K, MIYAGUCHI S, et al. Changes in excitability and GABAergic neuronal activity of the primary somatosensory cortex after motor learning [J]. *Front Neurosci*, 2022, 16: 794173.
 - [7] KUMAR N, MANNING T F, OSTRY D J. Somatosensory cortex participates in the consolidation of human motor memory [J]. *PLoS Biol*, 2019, 17(10): e3000469.
 - [8] ZANDVLIET S B, KWAKKEL G, NIJLAND R H M, et al. Is recovery of somatosensory impairment conditional for upper-limb motor recovery early after stroke? [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2020, 34(5): 403-416.
 - [9] 贾杰. 脑卒中上肢康复: 手脑感知与手脑运动[J]. *中国康复医学杂志*, 2020, 35(4): 385-389.
JIA J. Upper limb rehabilitation after stroke: hand-brain perception and hand-brain movement [J]. *Chin J Rehabil Med*, 2020, 35(4): 385-389.
 - [10] 何洁莹. 基于视觉反馈的本体感觉训练对脑卒中后上肢功能康复影响的临床研究[D]. 福州: 福建中医药大学, 2022: 3-5.
HE J Y. Effects of proprioceptive training with visual feedback on upper limb function after stroke [D]. Fuzhou: Fujian University of Traditional Chinese Medicine, 2022: 3-5.
 - [11] 贾杰. 老年卒中的感知-运动互调控[J]. *中国卒中杂志*, 2022, 17(10): 1037-1039.
JIA J. Perception-motor intermodulation in elderly stroke [J]. *Chin J Stroke*, 2022, 17(10): 1037-1039.
 - [12] 贾杰. 手脑感知理论与实践[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2022: 5-8.
JIA J. Theory and practice of hand-brain perception [M]. Beijing: Scientific and Technical Documents Publishing House, 2022: 5-8.
 - [13] 林佳丽, 贾杰. 基于“左右制衡”机制探讨多感觉刺激疗法对脑卒中后患者手部运动和感觉的影响[J]. *按摩与康复医学*, 2020, 11(24): 47-50.
LIN J L, JIA J. Based on the "left-right balance" mechanism, this paper discusses the influence of multi-sensory stimulation therapy on hand movement and sensation of patients after stroke [J]. *Chin Manip Rehabil Med*, 2020, 11(24): 47-50.
 - [14] SHU X K, CHEN S G, MENG J J, et al. Tactile stimulation improves sensorimotor rhythm-based BCI performance in stroke patients [J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2018, 66(7): 1987-1995.
 - [15] 丁力, 贾杰. 镜像视觉反馈促进脑卒中后手与上肢运动功能康复的机制研究进展[J]. *中国康复医学杂志*, 2021, 36(6): 752-756.
DING L, JIA J. Research progress on the mechanism of mirror visual feedback promoting the rehabilitation of hand and upper limb motor function after stroke [J]. *Chin J Rehabil Med*, 2021, 36(6): 752-756.
 - [16] DING L, WANG X, GUO X L, et al. Camera-based mirror visual feedback: potential to improve motor preparation in stroke patients [J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2018, 26(9): 1897-1905.
 - [17] DING L, WANG X, CHEN S G, et al. Camera-based mirror visual input for priming promotes motor recovery, daily function, and brain network segregation in subacute stroke patients [J]. *Neuro-rehabil Neural Repair*, 2019, 33(4): 307-318.
 - [18] 石雨, 马红梅, 贾杰, 等. 多维度视频定量评估系统在脑卒中患者手功能康复评估中的应用[J]. *新疆医科大学学报*, 2022, 45(3): 296-301.
SHI Y, MA H M, JIA J, et al. Application of multi-dimensional video quantitative evaluation system in hand function rehabilitation evaluation of stroke patients [J]. *J Xinjiang Med Univ*, 2022, 45(3): 296-301.
 - [19] 杨宇琦, 山磊, 厉含之, 等. 中文版改良诺丁汉感觉功能评价量表的建立及信效度检验[J]. *中国康复医学杂志*, 2021, 36(11): 1378-1383.
YANG Y Q, SHAN L, LI H Z, et al. Establishment, validity and reliability of Chinese version revised Nottingham sensory assessment scale [J]. *Chin J Rehabil Med*, 2021, 36(11): 1378-1383.
 - [20] 李壮苗, 余梦婷, 刘芳, 等. 艾盐包热熨手三阳经对脑卒中偏瘫患者上肢运动功能的影响[J]. *护理学报*, 2023, 30(6): 61-67.
LI Z M, YU M T, LIU F, et al. Effect of hot medicated compress with moxa-salt on three Yang meridians of hand on upper limb motor function of stroke patients with hemiplegia [J]. *J Nurs China*, 2023, 30(6): 61-67.
 - [21] 王旭豪, 王寅, 詹欣树, 等. 水中运动疗法对脑卒中偏瘫上肢功能和日常生活能力恢复的影响[J]. *中国康复*, 2022, 37(7): 427-429.
WANG X H, WANG Y, ZHAN X S, et al. Effect of water exercise therapy on the recovery of upper limb function and daily living ability of stroke hemiplegia [J]. *Chin J Rehabil*, 2022, 37(7): 427-429.
 - [22] 王利凯, 萧禹, 王立童. 经皮耳迷走神经电刺激联合经颅直流电刺激对脑卒中患者上肢功能的影响[J]. *中国康复*, 2023, 38(11): 659-663.
WANG L K, XIAO Y, WANG L T. Transcutaneous auricular vagus nerve stimulation combined with transcranial direct current stimulation on upper limb function during convalescence of stroke [J]. *Chin J Rehabil*, 2023, 38(11): 659-663.
 - [23] 杜承润. 电竞运动员手指慢性运动损伤的功能性训练方案研究[D]. 北京: 首都体育学院, 2022: 36-40.
DU C R. Study on functional training scheme of chronic finger injury of E-sports athletes [D]. Beijing: Capital University of Physical Education and Sports, 2022: 36-40.
 - [24] 李逸清, 李凤岩, 李贺, 等. 作业疗法对分娩性臂丛神经损伤患儿上肢功能的改善作用观察[J]. *山东医药*, 2021, 61(3): 72-74.
LI Y Q, LI F Y, LI H, et al. Observation on the effect of occupational therapy on improving upper limb function in children with obstetric brachial plexus injury [J]. *Shandong Med J*, 2021, 61(3): 72-74.
 - [25] 贾杰. “中枢-外周-中枢”闭环康复: 脑卒中后手功能康复新理念[J]. *中国康复医学杂志*, 2016, 31(11): 1180-1182.
JIA J. "central-peripheral-central" closed-loop rehabilitation: a new concept of hand function rehabilitation after stroke [J]. *Chin J Rehabil Med*, 2016, 31(11): 1180-1182.

(下转第 322 页)