

卒中康复治疗技术的研究进展

张豪杰^{1,2,3}, 张通^{1,2,3}

【关键词】 卒中;康复;神经发育促进术

【中图分类号】 R49;R743.3 【DOI】 10.3870/zgkf.2022.06.012

卒中已成为全球及中国范围内第一致死原因和成人致残因素^[1],康复训练是经循证医学证实可以改善残疾程度的有效方法^[2-4]。卒中后进行有效的康复训练能够减轻功能上的残疾,节约社会资源^[5]。目前有很多种康复治疗方法,但每种方法均有特定的理论基础及适用范围,另外没有统一的康复治疗技术分类方法,本文以康复技术发展的时间为顺序,分为早期经典康复技术、新型康复技术及前沿康复技术,分别阐述每种康复治疗技术的特点。

1 早期经典康复技术:神经发育促进技术

1.1 Bobath技术 由英国Bobath夫妇提出^[6],最早是用于脑瘫患儿的康复治疗,后来逐渐发展至治疗成人中枢神经系统损伤导致的偏瘫、痉挛、平衡及肢体控制障碍等。理念基于正常人神经生长发育规律,认为机体功能是由不成熟到成熟、粗大到精细的过程,在治疗过程中利用正常的生理反射诱发及促进动作的形成,抑制异常的姿势运动模式,避免加重痉挛的姿势反射,先训练头、颈、躯干、骨盆等近端核心肌控制能力,再由近到远的顺序训练各个关节的运动及控制能力。目前Bobath技术应用非常广泛,能够有效改善卒中患者运动功能障碍,纠正肌肉痉挛及异常运动模式,但该疗法过于强调训练的先后顺序,先抑制痉挛模式,一定程度上可能会增加康复疗程。

1.2 Brunnstrom技术 由瑞典物理治疗师Signe提出,脑损伤后重新出现了发育初期的运动模式,把运动功能恢复分为I~VI期,认为迟缓、肢体痉挛、联合反应及共同运动等异常运动模式是要经历的过程^[7]。该技术基本理念是充分利用原始反射及异常运动模式诱

发肢体动作及共同运动,从异常运动模式中诱发部分分离运动,最后达到完全随意运动。相对于Bobath技术,Brunnstrom技术更加激进,允许异常的运动模式产生,在一定程度上加快了肢体功能恢复的进程,但恢复过程可能是一个产生“错误”模式并再纠正“错误”模式的曲折过程。另外,随着其它康复理念及技术方法的应用,肢体痉挛、联合反应及共同运动等异常模式可能得到最大程度的抑制,六阶段理论不一定得到体现。

1.3 本体感觉神经肌肉促进技术 由神经生理学家Kabat^[8]在上世纪40年代提出,后由治疗师Voss等^[9]进一步发展完善。基于神经生理学及人体发育理论,肌腱、关节囊等处的本体感觉感受器受刺激后产生神经冲动,经周围神经、脊髓后索及内侧丘系传入大脑皮质感觉中枢,分析整合后产生运动传出冲动,调整运动姿势反应。人体发育理论认为动作的完成需要多肌群、多关节的共同参与,螺旋对角线运动是日常生活中基本的运动模式,强调整体训练的重要性,多关节肌群共同参与完成动作,而不是关注部分的肌肉或关节。该疗法可以提高肢体运动、平衡、步态及日常生活能力,局限性是专业性强,动作设计及模式命名比较复杂,一定程度上影响了该疗法的广泛推广。

1.4 Rood技术 又称多种感觉刺激疗法,由美国治疗师Margaret^[10]创立,核心理念是确切的感觉刺激可以诱发出特定的运动反应,通过痛温觉、触觉、位置觉、振动觉、视觉及听觉等多种感觉刺激,调整感觉刺激与中枢神经的联系,兴奋或者抑制动作的产生及调节肌张力,最终促进肢体功能的提高。临床操作基本方法有经皮感觉易化技术(如:痛温觉刺激、触觉刺激、叩击肌腱、特殊感觉刺激)及特定感觉抑制技术(如:挤压、牵拉等)。该方法操作温和,已成为经典的神经发育技术之一,但该疗法的局限性是过于强调感觉刺激的输入,对中枢神经系统的分析整合作用及运动输出没有给予足够重视。

2 新型康复技术

2.1 运动再学习技术 由澳大利亚学者Carr于20世纪80年代提出^[11],认为中枢神经损伤后肢体功能

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2018CZ-2;2013CZ-26);中国康复研究中心项目(2018ZX-10)

收稿日期:2021-09-24

作者单位:1.首都医科大学康复医学院,北京100068;2.中国康复科学所,北京100068;3.中国康复研究中心博爱医院神经康复科,北京100068

作者简介:张豪杰(1983-),男,主治医师,主要从事神经康复方面的研究。

通讯作者:张通,tom611@126.com

的恢复是一种再学习或再训练的过程,通过给予合理的物理及作业疗法,实现对患者科学运动学习方法再教育,促进功能恢复。该方法强调患者的主动参与,结合神经科学、认知心理学、运动学及生物力学等理论基础,根据每位患者的具体情况设计不同的训练动作及康复方案,有很强的个体化治疗特征,临床操作实用性强,目前该疗法已得到广泛应用。

2.2 镜像疗法 由美国学者 Ramachandran^[12] 于 1995 年提出,最早用于对截肢后幻肢痛的治疗,1999 年 Altschuler 等^[13] 报道镜像疗法可以改善偏瘫上肢的运动功能,后该疗法在卒中康复领域逐渐推广。该疗法临床操作简单,在受试者面前矢状位放置一面平面镜,健侧上肢放在镜子前面,患肢挡在镜子后面不能看到,当健侧上肢在镜子运动时,受试者可以通过镜子看到健侧肢体运动,但视觉传导反馈是感觉到患肢在做相同的运动。作用机制可能有视觉反馈、镜像神经元的激活^[14]、双侧半球经胼胝体运动易化抑制再平衡等。该疗法目前已广泛于偏瘫、疼痛及其他感觉运动障碍的治疗^[15-16],优点是设备简单易于推广,节省医疗资源,但由于成像原理,对躯干及下肢的功能康复有一定的局限性。

2.3 强制性运动诱导疗法 (Constraint-induced Movement Therapy, CIMIT) 该疗法理论基础是神经科学及行为心理学的习得性废用及其矫正。1981 年 Ostendorf 等^[17] 报道了第一例采用 CIMIT 治疗偏瘫患者的上肢功能,后该疗法逐渐用于卒中患者运动功能康复。CIMIT 主要内容是集中、大量、重复强化训练患肢,同时限制或者尽量减少健侧肢体活动,一般每天强化训练 6 小时,根据患者的个体情况,逐渐增加任务的设计难度,最终达到可以完成日常生活中需要的动作。该疗法主要适用于有一定的运动功能的亚急性期或慢性期卒中患者,对于功能严重受损、失语及认知障碍患者不一定适用。

2.4 运动想象疗法 由 Hossack^[18] 在 1950 年首次提出,开始主要应用于教育及体育领域,可以改善记忆力、学习及运动能力,在 20 世纪 80 年代末逐渐应用于卒中康复。心理神经肌肉理论是该疗法的理论基础,认为中枢神经系统内已经存储有执行特定任务的运动计划或流程图,任何随意运动,总是在脑内先形成运动意念,然后运动中枢才发出冲动至周围神经出现运动,运动想象可以强化并且调整运动计划,能够使动作更加流畅准确。具体操作方法是患者肢体没有活动情况下进行运动想象,想象内容可以分为第一人称想象法及第三人称想象法,第一人称想象法是想象自己在完成某项任务时如何执行动作,第三人称想象法是想象

在观察别人(或者自己)在执行某项任务时如何完成动作,也称为视觉想象。运动想象训练可以强化正常运动传导通路,改善缺血半暗带再灌注及脑血流,增强半球间运动皮质的功能联系^[19],改善运动功能。该疗法简单易行,不增加治疗成本,易于推广,但易受患者想象力及依从性影响,并且治疗参数、适应症及操作规范不完全清楚。

2.5 音乐疗法 该疗法主要是通过给予音乐的干预方式达到治疗或缓解疾病,音乐可以引起生理及心理反应为其理论基础。音乐干预大致可以分为主动参与式及被动聆听式,主动式是引导患者直接参与到音乐活动中,如演奏乐器、唱歌及创作音乐等,被动式是患者聆听音乐治疗师演奏或播放的音乐。音乐的不同节奏可以影响肢体的运动功能及肌张力,在听音乐或跳舞提供节奏支持的情况下,运动障碍患者可能更容易完成动作^[19-21]。目前音乐疗法应用广泛,对卒中后偏瘫、帕金森综合征、癫痫、多发性硬化及精神心理类疾病均有不同程度的疗效,可以改善患者的情绪及生活质量,但音乐治疗的干预参数,如音乐类型及节奏的选择,最佳的干预时间等尚未明确及规范化。

2.6 减重步行训练 (Body Weight Support Treadmill Training, BWSTT) 该疗法在 1958 年就开始应用于临床康复治疗,但由于设计的局限性,并没有得到广泛推广。直到 1989 年 Visint 等^[22] 报道 BWSTT 有效改善偏瘫患者步态后,此疗法才逐渐得到重视。BWSTT 是利用悬吊装置减少体重对下肢的负荷,能够使下肢支撑能力不足的患者保持正常行走姿势,避免早期负重行走可能引起下肢伸肌协同异常运动模式。中枢模式发生器 (Central Pattern Generator, CPG) 生理学机制是其理论基础,CPG 位于脊髓或脑干灰质,接受外周传入的本体感觉经分析整合产生传出冲动引起步态运动。BWSTT 能够将负重、前进、迈步及重心转移等正常步态各要素在患者中实现,将正常的本体感觉刺激传到皮质中枢并不断强化,促进患者产生正常的步态模式。一般来讲,减重原则是维持在能够保证正常步态模式及患者耐受性的最低水平,即患者能够进行髋膝关节屈伸,患腿通常负担体重的 10%~45%,一旦患者取得进步就应尽快降低支持力量,但达到负全重后仍应给予保护措施。BWSTT 能有效促进步态恢复、减轻下肢肌肉痉挛及增强平衡能力,但减重量、训练时间及强度等参数尚待明确。

2.7 重复经颅磁刺激 (Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, rTMS) 一种非侵入性脑部刺激技术,利用通电线圈产生的磁场脉冲刺激皮质中枢,影响神经元细胞代谢及电活动,出现相应的生理生化反应。

1985年英国科学家Barker^[23]成功研制第一台经颅磁刺激治疗仪,从开始治疗抑郁为主逐渐发展至运动、认知及睡眠等多方面功能障碍。治疗操作中,一般认为rTMS低频(≤ 1 Hz)对皮质有抑制作用,高频(≥ 5 Hz)则产生兴奋作用,刺激强度主要是根据运动阈值,即刺激皮质运动区引起对侧手指产生 $50\mu\text{V}$ 的运动诱发电位时的最小刺激。根据患者病灶部位(患侧/健侧)及症状特点(运动障碍/失语/吞咽),选择刺激靶点及对应的频率是兴奋性或抑制性,强度一般为运动阈值的80%~120%,治疗前的各项参数评定对干预效果有至关重要的作用。该疗法相对安全及无明显副作用,是一种很有前景的康复方法^[24],但目前对各项参数的选择还处于探索阶段,疾病严重程度、发病阶段及症状特点可能需要更加个体化参数选择^[24]。

2.8 经颅直流电刺激(Transcranial Direct Current Stimulation, tDCS)也是一种非侵入性的脑部刺激方法,用恒定、低强度直流电(1~2 mA)调节大脑皮质神经元的活动。不同于rTMS技术,它不是通过阈上刺激引起神经元兴奋放电,而是通过颅骨电极产生的微弱直流电调节皮质神经元兴奋性。电极刺激类型一般分为3种:阳性刺激、阴性刺激和伪刺激,阳性极刺激起兴奋作用,可以激活增强刺激部位神经元活性,阴极刺激起抑制作用,降低刺激部位神经元兴奋性,伪刺激通常是一种对照刺激。tDCS的作用机制主要包括改变神经元细胞兴奋性、增强神经突触可塑性、改变局部脑血流量、调节神经功能网络拓扑特征等^[25-26],目前在慢性疼痛、卒中康复、癫痫、帕金森病、抑郁及成瘾等神经精神领域已有广泛应用。该技术无创、安全、费用低廉等优点,但主要问题是刺激靶点选择、刺激强度、持续时间及电极大小等参数尚不明确。

2.9 肌电生物反馈 表面肌电图衍生技术之一,临床上多以肌电图与神经肌肉电刺激相结合应用,也称肌电触发电刺激,运动再学习及生物反馈为理论基础。表面肌电图电极记录患者肌肉收缩时的微弱电信号,设备对信号进行分析整合,并以视觉或听觉形式反馈出来,这样患者可以感知到本来不能感受到的肌肉功能变化,根据反馈信息患者自主调整肌肉活动,经反复练习逐步达到对肌肉的控制能力,实现改善运动功能目的。目前可以用来治疗偏瘫、吞咽障碍及尿便失禁等^[27]。肌电生物反馈具有操作简便、安全等优点,但治疗过程中需要患者积极配合,如果配合欠佳效果可能不明显,另外对于该疗法是否会加重肢体肌肉痉挛及诱发异常运动模式,目前尚无定论。

2.10 机器人辅助训练法 自20世纪90年代第一代康复机器人MIT-Manus出现以后,机器人辅助训练

法便蓬勃发展,技术方法不断改进。根据不同的分类角度,康复机器人可以分为不同的类别,基于机械结构类型分为牵引式及外骨骼式,牵引式是对肢体末端施加作用力引导肢体运动,外骨骼式也称穿戴式机器人,将机器人套在人体外,对身体起增强及保护作用,外骨骼式需要模拟人体结构特点,设计更加复杂;基于训练部位不同分为上肢康复机器人及下肢康复机器人,上肢康复机器人又可细分为肩肘部康复机器人及腕手部康复机器人;基于功能组合角度,可分为生物反馈神经肌肉电刺激康复机器人、虚拟现实技术康复机器人及脑-机接口上肢康复机器人。康复机器人主要提供4种训练模式:主动运动、辅助运动、被动运动及抗阻运动,主动运动模式不提供动力支持,仅起运动监测及数据收集分析作用;辅助运动模式是当患者不能主动完成动作及任务时,机器人提供一定的辅助支持以帮助完成动作;被动运动模式是患者病情严重完全不能运动时,机器人提供完全的辅助,帮助完成各种动作;抗阻模式是患者有自主运动能力后,在运动过程中机器人可以提供一定阻力,提高患者肌肉力量等。康复机器人可以替代康复师进行更多的高强度、重复性训练,能有效提高肢体运动功能及肌肉力量,但对肌张力的训练效果目前存在争议^[28]。康复机器人优势主要有提供精准的训练模式及运动学参数,能够准确控制训练量,可以监测评估肢体运动功能质量及状态,但不足是不能实时与患者交流,缺乏人文关怀,该技术还需进一步改良,创造出能够满足实际康复需求的智能化康复机器人。

3 前沿康复技术

3.1 虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术 起源于美国军方的作战模拟系统,后由美国Visual Programming Language公司的创办者Jaron Lanier在20世纪80年代初首次提出该名称,也称“灵境技术”或“人工环境”,利用计算机模拟真实环境,通过多种传感器设备使使用者“融入”到该环境中,实现从视、听、触等方面与虚拟环境进行自然交互,目前广泛应用于医学、军事、娱乐及教育等领域。VR具有沉浸性、交互性、构想性等三大特点。与传统康复技术相比,VR有很多优势:①个性化,根据每位患者情况设置不同的治疗场景和刺激,进行个体化的训练和评估。②安全性,在虚拟环境中训练,避免了真实环境因操作不当发生意外的情况。③趣味性,提供丰富多样的训练场景及游戏式的训练方式,使枯燥乏味的康复训练变得轻松有趣。④反馈及时,可以迅速得到治疗效果反馈信息,有利于医生及时评估患者的康复情况,并对治疗方案及时调

整。VR 在运动、感觉、认知、语言及日常生活行为康复等方面已取得较多的临床结果^[29-30], 可以作为标准康复治疗方案的一种替代疗法。

3.2 远程康复 远程医学分支, 依托计算机互联网通讯技术, 实时监测、反馈、指导康复训练, 满足患者与专业治疗师远距离进行“面对面”交流, 充分利用高级专科医院的资源优势, 为偏远和医疗技术欠发达地区带去福音。Podury 等^[31]利用远程康复治疗上肢偏瘫的卒中患者, 干预 3 个月结果显示试验组的上肢功能及情绪较对照组有显著性改善。Steven 等^[32]开展一项基于家庭的远程康复系统对上肢功能及卒中健康教育的研究, 结果提示基于家庭的远程康复系统与在医院的传统康复方法相比无明显差异, 远程康复可以作为一种康复手段为患者服务。还有研究提示远程康复可以提高卒中患者的认知、平衡功能及治疗的成本效益^[33-35]。

3.3 干细胞治疗 Reynolds 在 20 世纪 90 年代体外培养出成年哺乳动物的干细胞, 提出成年人体内可能存在神经干细胞, 从此干细胞的研究逐渐发展起来。干细胞具有自我复制更新、多向分化及高度增殖能力, 这些特性可用于治疗脑卒中后神经细胞重建^[36-37], 干细胞的作用机制复杂, 包括调节免疫反应、促进血管再生及神经细胞替代等, 减轻脑水肿、降低免疫损伤及促进神经血管再生等。Keith 等^[38]在病灶侧壳核注射人类胚胎神经干细胞, 观察治疗后 2 年的临床及影像特征, 结果显示临床症状改善, 并且没有发生相关的有害事件。Savitz 等^[39]用自体骨髓源性干细胞治疗大脑中动脉梗死, 观察 1 年结果显示没有出现临床有害事件, 试验组与对照组之间在日常生活能力评分上没有显著性差异。作为一项新的康复治疗手段, 干细胞治疗的疗效及安全性尚需更多观察。

3.4 神经移位术 主要是改变神经解剖传导通路, 最早用于周围神经损伤, 特别是臂丛神经损害, 常把健侧第 7 颈神经移植到患侧颈神经, 可以改善临床症状, 目前此方法也用于脑卒中偏瘫患者。Zheng 等^[40]给 18 例脑损伤的治疗组患者行颈神经移位手术, 术后辅助康复治疗, 对照组 18 例患者只给予康复治疗, 结果提示治疗组的上肢痉挛程度及运动功能均较对照组改善, 神经电生理及功能磁共振结果也提示正常侧大脑半球对同侧肢体(患肢)也有支配作用。通过手术方式改变神经的传导通路促进临床症状改善, 丰富了目前的康复手段, 也为脑的可塑性机制研究开辟了新的方向。

4 小结

目前, 早期经典康复技术仍然是卒中康复的基础,

特别是 Bobath 技术应用最为广泛, 但传统康复技术的局限性是康复效果可能与治疗师的经验有很大关系, 进行临床研究时可能存在相关异质性问题; 新型康复技术种类繁多, 除本文阐述的方法外, 还有针灸、按摩等中医康复, 另外有些机构可能还采用比较有特色的技术手段; 前沿康复技术仍处于探索阶段, 方法的有效性 & 安全性需要进一步验证。每种康复技术都有自身的优势及不足, 多种康复方法相结合可能提高治疗效果。另外, 随着科学技术的进步, 出现了很多有价值及应用前景的康复技术, 但每种技术的成熟都需要一个过程, 将来可能需要进行更多大样本、多中心的随机对照试验来验证每种方法, 筛选出优质高效的康复技术, 满足各类患者的需求。

【参考文献】

- [1] Global, regional, and national burden of stroke, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016 [J]. *Lancet Neurol*, 2019, 18(5):439-458.
- [2] Chen J, Sun D, Zhang S, et al. Effects of home-based telerehabilitation in patients with stroke: A randomized controlled trial [J]. *Neurology*, 2020, 95(17):2318-2330.
- [3] Bernhardt J, Urimubenshi G, Gandhi DBC, et al. Stroke rehabilitation in low-income and middle-income countries: a call to action [J]. *Lancet*, 2020, 396(10260):1452-1462.
- [4] Duncan PW, Bushnell C, Sissine M, et al. Comprehensive Stroke Care and Outcomes: Time for a Paradigm Shift [J]. *Stroke*, 2021, 52(1):385-393.
- [5] 刘跃华, 王志鹏, 齐海梅. 脑卒中康复治疗的成本效果研究[J]. *中华老年医学杂志*, 2018, 37(6):5-7.
- [6] Bobath B. The very early treatment of cerebral palsy [J]. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 1967, 9(4):373-390.
- [7] Brunnstrom S. Motor testing procedures in hemiplegia: based on sequential recovery stages [J]. *Phys Ther*, 1966, 46(4):357-375.
- [8] Kabat H. Studies on neuromuscular dysfunction; new principles of neuromuscular reeducation [J]. *Perm Found Med Bull*, 1947, 5(3):111-123.
- [9] Voss DE. PROPRIOCEPTIVE NEUROMUSCULAR FACILITATION [J]. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 1967, 46(1):838-898.
- [10] Sym D. Approaches to the Treatment of Patients with Neuromuscular Dysfunction [J]. *Occupational Therapy: the Official Journal of the Association of Occupational Therapists*, 1963, 26(10):7-9.
- [11] McKenney Moulton P. A Motor Relearning Programme for Stroke (2nd ed.) [J]. *American Journal of Occupational Therapy*, 1989, 43(6):418-419.
- [12] Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D, Cobb S. Touching the phantom limb [J]. *Nature*, 1995, 377(6549):489-490.
- [13] Altschuler EL, Wisdom SB, Stone L, et al. Rehabilitation of hemiparesis after stroke with a mirror [J]. *Lancet*, 1999, 353(9169):2035-2036.
- [14] Mazurek KA, Schieber MH. Mirror neurons precede non-mirror

- neurons during action execution[J]. *J Neurophysiol*, 2019,122(6):2630-2635.
- [15] Saha S, Sur M, Ray Chaudhuri G, et al. Effects of mirror therapy on oedema, pain and functional activities in patients with post-stroke shoulder-hand syndrome: A randomized controlled trial[J]. *Physiother Res Int*, 2021,26(3):1902-1911.
- [16] Chen Q, Shen W, Sun H, et al. Effects of mirror therapy on motor aphasia after acute cerebral infarction: A randomized controlled trial[J]. *NeuroRehabilitation*, 2021,49(1):103-117.
- [17] Ostendorf CG, Wolf SL. Effect of Forced Use of the Upper Extremity of a Hemiplegic Patient on Changes in Function: A Single-Case Design[J]. *Physical Therapy*, 1981,61(7):1022-1028.
- [18] 韩晴, 徐宁, 庄贺, 等. 运动想象疗法在卒中后运动功能障碍康复的研究进展[J]. *中国康复*, 2021,36(6):372-375.
- [19] Wang H, Xu G, Wang X, et al. The Reorganization of Resting-State Brain Networks Associated With Motor Imagery Training in Chronic Stroke Patients[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2019,27(10):2237-2245.
- [20] Calabrò RS, Naro A, Filoni S, et al. Walking to your right music: a randomized controlled trial on the novel use of treadmill plus music in Parkinson's disease[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2019, 16(1):68-75.
- [21] Pohl P, Wressle E, Lundin F, et al. Group-based music intervention in Parkinson's disease - findings from a mixed-methods study [J]. *Clin Rehabil*, 2020,34(4):533-544.
- [22] Visintin M, Barbeau H. The effects of body weight support on the locomotor pattern of spastic paretic patients[J]. *Can J Neurol Sci*, 1989,16(3):315-325.
- [23] Barker AT, Jalinous R, Freeston IL. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex[J]. *Lancet*, 1985,1(8437): 1106-1107.
- [24] Koch G, Bonni S, Casula EP, et al. Effect of Cerebellar Stimulation on Gait and Balance Recovery in Patients With Hemiparetic Stroke: A Randomized Clinical Trial[J]. *JAMA Neurol*, 2019, 76(2):170-178.
- [25] Ortiz M, Iáñez E, Gaxiola-Tirado JA, et al. Study of the Functional Brain Connectivity and Lower-Limb Motor Imagery Performance After Transcranial Direct Current Stimulation[J]. *Int J Neural Syst*, 2020,30(8):205-213.
- [26] Workman CD, Fietsam AC, Ponto LLB, et al. Individual Cerebral Blood Flow Responses to Transcranial Direct Current Stimulation at Various Intensities[J]. *Brain Sci*, 2020,10(11):855-862.
- [27] 柯秀君, 潘巍一, 葛俊胜, 等. 神经肌肉电刺激联合运动贴布对脑卒中后足下垂患者康复中应用价值[J]. *中国康复*, 2021,36(5):278-281.
- [28] Veerbeek JM, Langbroek-Amersfoort AC, Wegen EE, et al. Effects of Robot-Assisted Therapy for the Upper Limb After Stroke[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2017,31(2):107-121.
- [29] Ikbali AS, Mirzayev I, Umit YO, et al. Virtual Reality in Upper Extremity Rehabilitation of Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2018,27(12):3473-3478.
- [30] Pazzaglia C, Imbimbo I, Tranchita E, et al. Comparison of virtual reality rehabilitation and conventional rehabilitation in Parkinson's disease: a randomised controlled trial[J]. *Physiotherapy*, 2020,106(17):36-42.
- [31] Podury A, Raefsky SM, Dodakian L, et al. Social Network Structure Is Related to Functional Improvement From Home-Based Telerehabilitation After Stroke[J]. *Front Neurol*, 2021, 12(2):603-612.
- [32] Cramer SC, Dodakian L, Le V, et al. Efficacy of Home-Based Telerehabilitation vs In-Clinic Therapy for Adults After Stroke: A Randomized Clinical Trial[J]. *JAMA neurology*, 2019,76(9): 1079-1087.
- [33] 赵科洪, 马睿, 屈云. 远程康复技术在脑卒中患者平衡康复的应用[J]. *中国康复*, 2021,36(5):309-312.
- [34] Torrisi M, Maresca G, De Cola MC, et al. Using telerehabilitation to improve cognitive function in post-stroke survivors: is this the time for the continuity of care? [J]. *Int J Rehabil Res*, 2019,42(4):344-351.
- [35] Chau JPC, Lo SHS, Lee VWY, et al. Effectiveness and cost-effectiveness of a virtual multidisciplinary stroke care clinic for community-dwelling stroke survivors and caregivers: a randomised controlled trial protocol[J]. *BMJ Open*, 2019,9(5):e026500.
- [36] Chung JW, Chang WH, Bang OY, et al. Efficacy and Safety of Intravenous Mesenchymal Stem Cells for Ischemic Stroke[J]. *Neurology*, 2021,96(7):1012-1023.
- [37] Jaillard A, Hommel M, Moisan A, et al. Autologous Mesenchymal Stem Cells Improve Motor Recovery in Subacute Ischemic Stroke: a Randomized Clinical Trial[J]. *Transl Stroke Res*, 2020,11(5):910-923.
- [38] Kalladka D, Sinden J, Pollock K, et al. Human neural stem cells in patients with chronic ischaemic stroke (PISCES): a phase 1, first-in-man study[J]. *Lancet*, 2016,388(10046):787-796.
- [39] Savitz SI, Yavagal D, Rappard G, et al. A Phase 2 Randomized, Sham-Controlled Trial of Internal Carotid Artery Infusion of Autologous Bone Marrow-Derived ALD-401 Cells in Patients With Recent Stable Ischemic Stroke (RECOVER-Stroke)[J]. *Circulation*, 2019,139(2):192-205.
- [40] Zheng MX, Hua XY, Feng JT, et al. Trial of Contralateral Seventh Cervical Nerve Transfer for Spastic Arm Paralysis[J]. *N Engl J Med*, 2018,378(1):22-34.