

镜像疗法结合神经肌肉电刺激在脑卒中后运动功能中的应用

王伟吏 温晓妮

【中图分类号】 R743.3 【文献标识码】 A 【文章编号】 1007-0478(2020)06-0852-05
【DOI】 10.3969/j.issn.1007-0478.2020.06.036

镜像疗法(Mirror therapy, MT)是通过产生的错觉反馈来增加动作控制中的认知渗透,改善脑卒中患者的神经功能,成本低且操作简便。该疗法引起了研究者的极大兴趣,但当该疗法单独使用较长时间时其治疗效果可能有限。神经肌肉电刺激(Neuromuscular electrical stimulation, NMES)也是改善偏瘫患者运动障碍的一种方法,但患者是被动参与,无需认知投入,若将 NMES 和认知干预结合是否可以通过克服被动和周期性 NMES 的限制来促进患者持续的集中,产生更大的增益。本研究通过 Pubmed 数据库检索到有关 MT 和 NMES 对改善脑卒中患者运动功能研究的文献,按时间线分两类(MT + NMES、MT + 肌电触发的 NMES)对其进行比较,方便为以后的康复治疗提供更好的思路。

脑卒中是导致死亡和残疾的主要原因。尽管脑卒中的病死率正在下降,但由于人口的增长和老龄化,脑卒中的患病率亦有所增加,脑卒中幸存者人数的增加亦对康复服务产生了更大的需求,在脑卒中的恢复期 60%~80%的幸存者存在上肢或下肢运动障碍,这些障碍将会严重影响其日常生活活动能力^[1-2]。通过控制危险因素、预防房颤、早期识别和对脑卒中症状的反应来减轻脑卒中的负担是很重要的,然而当脑卒中发生时它的不良结局应该通过优化恢复和预防潜在的并发症来达到最小化^[3]。康复正是降低残障率和改善患者生活质量的主要方法,故应该强调脑卒中幸存者康复的重要性,各种治疗技术也已被用来改善受损的运动功能,然而有的治疗方式昂贵,并且需要更多的劳动力,从而限制了它们在广大脑卒中患者康复中的广泛运用。因此,选择一种安全经济、简单有效的康复治疗方法以改善脑卒中患者的活动能力至关重要^[4]。

兴起的 MT 是利用健侧肢体运动所产生的错觉反馈对患者产生刺激,对于脑卒中幸存者来说它是一种以患者为中心且经济有效、便于使用的康复方法,可作为脑卒中后常规康复的辅助手段,而且可以融入到家庭环境中去,患者可以自己进行这些治疗。越来越多的研究表明在常规康复治疗的基础上使用 MT 是更加有效的,所以这对于脑卒中患者和康复工作人员不失为一种理想的选择^[5-7]。MT 作为近年来相对较新的非侵入性技术,对于患者来说经济实惠、使用安全、易于自我管理,该疗法与其他技术的联合应用也得到越来越多的探索,而 NMES 就是一种可以通过感觉刺激来改

善运动功能的疗法,若与 MT 结合是否可以促进脑卒中患者的积极参与且产生更大的效益,本研究对此进行了综述。

1 镜像疗法(MT)

MT 是用于脑卒中后运动功能障碍的治疗方法之一,最初用于减轻截肢者的幻肢疼痛,从此以后被用于其他综合征。MT 是在急性、亚急性和慢性期训练脑卒中患者以改善运动、感觉、知觉等功能障碍的可行方法^[5,8]。通过在患者上肢或下肢之间放置一面镜子,使得偏瘫的肢体被隐藏在患者的视线之外,患者在镜子中观察健侧肢体,通过其产生的视觉错觉来恢复瘫痪侧的运动,这样通过增加动作控制中的认知渗透,可以对运动网络施加强大的影响,以改善脑卒中患者的运动功能^[6,9-10]。

基于功能神经成像或电生理技术的发展,脑卒中引起的大脑半球间失衡可通过镜像视觉反馈来修正,MT 可以减少半球之间的不对称激活来促进脑卒中患者的恢复,患者瘫痪的肢体虽然不会在镜子后面移动,但患者通过镜子对称的视觉反馈会使得受影响半球的运动区产生神经活动,从而导致皮质重组和功能改善,影响患侧的大脑病变和运动相关区域,激活大脑半球,增加偏瘫肢体的兴奋性,这种激活作用也是诱导大脑可塑性神经机制的基础^[11-16]。另外,MT 通过观察他人执行的动作来激活参与运动执行的皮层区域,可改变半球之间的不平衡以促进脑卒中患者的恢复,可归因于镜像神经元系统(MNS)的功能,而在人类中 MNS 主要存在于顶下小叶(IPL)、腹侧运动前皮质(PMV)和额下回(IFG)组成的区域^[15]。

总体而言,MT 可导致广泛的脑内 MNS 激活,有效的改善运动功能和日常生活能力,并能减轻脑卒中患者的疼痛^[16]。MT 被用于脑卒中患者康复的许多研究,已经证明 MT 对运动恢复具有积极作用,它可以单独使用,也可以作为更传统的物理干预策略的辅助手段,故这种能够通过激活子 MNS 来促进运动皮质康复的策略得到越来越多的关注。

但是目前脑卒中后 MT 的使用主要集中在偏瘫侧的上肢,对脑卒中后下肢偏瘫使用 MT 的关注相对比较少,这也可能与实验实施的难易程度相关。对于上肢而言在桌面上设置 MT 相对容易,而且在手和手腕上能够执行和训练许多功能性动作,虽然视觉上只看到了非瘫痪侧的移动及其反射,但运动应该是双侧进行的,而对于脑卒中患者和试图进行双侧运动的患者 MT 更有可能产生效果^[14,17]。还有研究指出 MT 虽然已被证明是对脑卒中患者的有效干预,然而关于 MT 的一些研究方法学质量较弱,导致证据水平不足,因

基金项目:国家自然科学基金(No. 81072972)

作者单位:710068 西安体育学院[王伟吏(2019 级研究生)],
运动与健康科学学院运动医学教研室[温晓妮(通信作者)]

此在脑卒中康复中的 MT 需要设计良好的大样本随机对照研究,以用来评估脑卒中后 MT 的效果^[18]。另外,MT 刺激大脑神经恢复的潜在机制尚不十分明确,获得运动和功能改善的最佳 MT 剂量也尚不清楚,且即时和长期的效果比较如何,也有待大量实验研究证明。

2 神经肌肉电刺激(NMES)

对于中枢神经系统疾病,脑功能区的任务相关激活方法在康复中与运动辅助同等的重要^[19]。脑卒中后会导致身体一侧产生随意肌肉收缩和运动的能力受限,从而使得肌肉进一步萎缩和虚弱。NMES 也是临床上最常用的干预措施之一,目前通常被用作针对各种神经肌肉疾病和残疾的肌肉增强疗法,可以促进非随意肌肉收缩,安全有效地改善肌肉力量和生活质量^[20]。NMES 是一种通过经皮施加外部电流来产生神经肌肉收缩的技术,它在预设的时间内以设定的工作周期来收缩肌肉,NMES 系统可以绕过受伤的中枢回路,电流通过肌膜的去极化直接激活肌肉组织,还可激活神经组织,为原本无功能的肢体或结构提供功能,在脑卒中康复的临床应用中提供了恢复功能的益处,改善了偏瘫患者的运动功能如减少痉挛、增强肌肉力量、增加关节活动度,激活脑卒中幸存者的瘫痪肌肉^[21-23]。另有研究发现,NMES 可能是一种有用的体育锻炼,可替代肌动蛋白调节诱发骨骼肌肥大和神经肌肉适应,NMES 对于脑卒中患者的偏瘫肌肉可能维持刺激蛋白质合成机制的能力,启动骨骼肌合成代谢过程,促进偏瘫患者骨骼肌的生长和强壮^[20,24]。

刺激电流的强度已被证明与皮层刺激相关,低强度刺激会减少肌肉的激活,高强度电流会增强刺激效果,而持续高强度的 NMES 电流也可能造成负面影响如肌肉疲劳,甚至皮肤烧伤,但是脑功能区域的相关激活似乎更为重要,所以有必要在负面影响与治疗效果之间取得平衡,优化参数选择^[19]。总的来说,当前 NMES 系统普遍存在着控制方式缺乏灵活性,瘫痪患者的主动参与度低、刺激模式单一和容易引起肌肉疲劳等不足之处,且如何诱导皮质重组的机制也不十分明确,缺乏对其影响运动功能机制的清晰认识。

3 镜像疗法(MT)结合神经肌肉电刺激(NMES)改善脑卒中后运动功能的相关研究

尽管通过定期电刺激进行的肌肉收缩可有效地改善自发性运动,但仅靠电刺激存在局限性,并且认为运动锻炼与认知干预相结合可增强大脑重组^[25]。也有研究指出,将 NMES 与辅助性技术(如自愿收缩和心理意象等)结合使用时其效果的增强具有联想可塑性的特征^[26]。Lee 等也发现 MT 配合传入电刺激可有效改善脑卒中偏瘫存活者的肌力、步态和平衡能力^[27]。基于两种疗法的单一治疗功效仍然有限,故将其联合应用于临床康复的效果有待进一步探索。MT 和 NMES 成本较低且操作简便,将自愿收缩和心理意象两者有机结合是否能达到更好的互补,促进患者的积极参与,值得进一步探讨。

3.1 MT 结合传统周期性 NMES 的临床应用研究

NMES 方法通过刺激电流作用于外周神经系统,从而使目标肌肉活化而产生动作,由于其使用方便、疗效显著而被广泛采用。Yun 等^[28]对 60 例脑卒中后偏瘫患者的手功能进行研究,分为 3 组(神经肌肉电刺激组、镜像治疗组和镜像治疗+神经肌肉电刺激组),干预前后通过 Fugl-Meyer 评分发现,MT+NMES 组在伸手力、腕、手、协调性等方面的独立评分及综合评分均明显高于其他 2 组,手腕和手的力量有显著的改善,也指出 MT 和 NMES 似乎都通过影响初级运动皮层的大脑激活来改善运动功能,但需要进一步的研究来阐明这两种疗法在大脑激活中是否都产生了协同作用。Lee 等^[29]对 27 例脑卒中偏瘫幸存者下肢功能进行研究,分为 2 组(对照组、镜像治疗+神经肌肉电刺激组),与 Yun 等不同的是,该研究的患者使用受影响较小的下肢的随意运动来调整电刺激,进行自愿和积极的训练,干预后发现 MT+NMES 组的肌力、MAS、BBS、TUG、6 min 步行实验与干预前比较均有显著改善,并且 2 组的肌力、BBS 差异有显著性意义,二者联合能在改善肌肉力量和平衡方面可以提供额外的益处。Xu 等^[30]针对 69 例脑卒中患者的下肢功能尤其是足下垂进行研究,分为 3 组(对照组、镜像治疗组、镜像治疗+神经肌肉电刺激组),干预前后、干预组与对照组比较,在 Brunnstrom 分级、10 m 步行试验、被动活动范围方面均有明显改善,二者联合在减轻踝部屈肌痉挛、提高患者步行能力方面比单纯 MT 有更好的效果。Paik 等^[31]针对 8 例脑卒中患者的上肢功能进行实验研究,但所有患者均先接受 20 min 的 MT,然后进行 20 min 的神经肌肉电刺激,干预前后发现 Fugl-Meyer 评分均有明显改善,但本实验研究对象少且未设对照组,干预效果不能与单纯 MT 或 NMES 比较,故研究结果存在一定局限性。

3.2 MT 结合肌电触发的 NMES(ETMS)的临床应用研究

NMES 可以在有或没有患者参与的情况下使用,但随着激活的肌肉收缩或肌电激活的出现,应考虑 ETMS 它与周期性 NMES 不同,ETMS 需要患者的积极参与,它是自主收缩的,因为需要自愿将注意力引导到运动训练上,肌电信号是通过表面电极测量的,当其超过预设阈值时刺激被传递到目标肌肉以增加整个范围内的运动,有利于患者自主性增强^[21,29,32-33]。将肌电信号检测与电刺激相结合可比周期性的 NMES 更促进大脑的可塑性^[34]。

Kojima 等^[33]用 MT 和 ETMS 对 13 例急性脑卒中后患者的上肢功能进行实验,分为 2 组(即时 ETMS-MT 组、延迟 ETMS-MT 组),干预前后发现无论是即时组的 FMA、还是延迟组的活动范围的增加,增益都是在参与者接受 ETMS-MT 的期间获得的,研究表明增加本体感觉反馈和意志努力来补充运动疗法,可以获得更大的运动功能改善,建议 ETMS-MT 可作为 PT+OT 的辅助手段。Saliha 等^[35]对 13 例急性脑卒中后患者的上肢功能进行实验,但没有联合实验,仅分为 3 组(MT 组、ES 组、对照组)来评估每种疗法相对于另一种疗法的优势,干预前后发现 MT 组和 ES 组在手腕伸展和握力方面显示出显著的改善,但在组间比较中 MT 与肌电图(EMG)触发的神经肌肉刺激比较,治疗后显示上肢运动功能的改善,并且在改善手部技巧方面可能更有用,

但这种改善在3个月后并不持久。Thomas等^[36]将33例脑卒中患者随机分2组(对照组、干预组)进行研究,2组均采用多通道肌电触发的电刺激(EMG-MES)治疗3周,另外干预组接受MT,主要结果通过Fugl-Meyer量表评估上肢的运动恢复情况,发现在双侧多通道肌电触发的电刺激(EMG-MES)之外应用MT可以显著提高严重受累受试者的运动功能,对于重度手臂/手部轻瘫的急性脑卒中患者具有治疗益处,并且指出MT可以提高EMG-MES的有效性。

综上所述,将MT和NMES二者结合在改善脑卒中患者的肌力、平衡、步行能力、活动范围等运动功能障碍中表现出增益。对于痉挛的改善,Yun等^[27]的研究虽然显示3组痉挛状态略有增加,但在统计学上并不显著;Lee等^[29]的研究MT+NMES组的MAS评分下降并显示有明显改善;Xu等^[30]的研究显示MT+NMES组的痉挛程度明显减少,但与MT组的差异不明显。这些可能与刺激方法、干预时间、研究对象不同等有一定关系,MT+NMES联合治疗是否能比单独的疗法在改善痉挛方面产生更大的效益还需要进一步研究。ETMS在自主性方面相比周期性的NMES也显示出一定的优势,更有利于运动再学习。肌电触发的电刺激可以为患者提供周围感觉运动反馈,并且增加了对运动启动的关注,而MT可以提供直接的皮层刺激中央肢体代表^[36]。从当前的研究来看,在二者的联合治疗中可以发现一定增益,但是相关研究还比较少,对于患者运动功能方面改善的研究证据还不够充分,且两者谁为辅助治疗时能发挥更大的益处也有待研究。

另外,积极参与和获得技能是患者康复的关键要素。人脑在发育过程中是有高度可塑性的,而新的连接是通过与任务相关的过程形成的^[19]。在MT过程中未受影响的一侧完成功能性任务可能会比没有有意义任务的人诱导更大的神经组织,也就是说在功能性运动中以任务为导向的训练能够带来更好的任务特异性结果^[37-38]。Kamal等研究发现TB-MT(Task-based mirror therapy)配合常规干预较单纯标准方法能更好地促进手腕功能恢复,任务表现与MT一起对改善脑卒中患者的运动障碍有潜在的好处^[39]。任务导向性训练是一种以功能活动为目标的自上而下的训练方法,并且依赖经验的运动训练可以促进大脑中完好和受损区域的初级运动皮质的重组。另外,在日常训练中以任务为导向的训练,它强调有意义的功能性活动的实践,而不是对损伤的具体补救,可诱发更大的神经可塑性变化,并转移到现实生活中^[40]。但样本量少、缺乏长期观察随访等也是目前实验过程中存在的局限性。

4 小结与展望

通过文献回顾发现,MT是通过认知渗透来改善脑卒中患者的运动功能和促进大脑的激活,但没有刺激瘫痪侧神经根的传入刺激,而NMES可激活运动神经和感觉神经纤维,通过中枢机制促进皮层重组,改善运动功能,当对瘫痪侧上肢进行电刺激时有传入刺激传入瘫痪侧可引起皮质重组和肌肉收缩,从而引起本体感觉反馈,二者的结合在一定程度上达到互补,显现出更多的协同作用^[27,29,31,41]。神经可塑性

(即中枢神经系统的重组能力)是脑卒中后神经功能恢复的基础,脑卒中后受累半球的活动被抑制,两侧大脑会出现失衡,患者运动功能的恢复可通过使大脑半球间的不对称性正常化和促进同侧运动皮层的神经可塑性来实现。长期MT中的视觉反馈可导致激活向受累半球转移,纠正大脑半球间的不平衡,而MNS的募集可能是这一过程中潜在的神经机制之一,通过稳定初级运动皮质(M1)内的皮质活动来促进神经可塑性,而M1是改善瘫痪的关键区域,从而恢复运动指令的执行和功能^[14-15]。还有新的研究表明,NMES可能会提高血清中的脑源性神经营养因子(BDNF)水平,而脑源性神经营养因子(BDNF)作为一种神经营养素,在神经系统功能中的可塑性方面起着重要的作用^[26,42]。所以二者的结合在神经可塑性方面的协调机制还有待更深入研究。

总的来说,目前的研究结果不能排除联合治疗在研究中的有益效果与MT的镜像幻觉有关,所以我们可以研究有电刺激的MT的益处是否是这两种联合治疗模式所特有的,又或是这种改善来自电刺激或MT本身,而在联合治疗中哪一部分又是关键部分,可根据适应症整合到我们以后康复的标准操作治疗中。

在今后的研究工作中可基于患者日常生活活动为导向的MT,通过兴趣来诱导患者主动参与,再配合以电刺激,检查干预量和持续时间变化,以确定适当的剂量水平,确定疗法的最佳频率和持续时间,探讨神经可塑性方面的联合益处,并且可以纳入量化神经可塑性变化的结果测量。另外,观察其长期疗效、研究其最佳恢复阶段、如何让患者产生更大自主性和康复效益,提高它们的可用性也值得进一步去探讨。

参 考 文 献

- [1] Stinear CM, Lang CE, Zeiler S, et al. Advances and challenges in stroke rehabilitation[J]. *Lancet Neurol*, 2020, 19(4): 348-360.
- [2] Feigin VL, Krishnamurthi RV, Parmar P, et al. Update on the global burden of ischemic and hemorrhagic stroke in 1990-2013: the GBD 2013 study[J]. *Neuroepidemiology*, 2015, 45(3): 161-176.
- [3] Michelle G, Andrew MD. Guidelines for adult stroke rehabilitation and recovery[J]. *JAMA*, 2018, 319(8): 820.
- [4] Andy K, Jesse D, Chris R, et al. Sit to stand activity during stroke rehabilitation[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2017, 24(8): 562-566.
- [5] Gandhi DB, Sterba A, Khatter H, et al. Mirror therapy in stroke rehabilitation: Current perspectives[J]. *Ther Clin Risk Manag*, 2020, 16: 75-85.
- [6] Thieme H, Mehrholz J, Pohl M, et al. Mirror therapy for improving motor function after stroke[J]. *J Neurol Sci*, 2013, 333(7): e573.
- [7] Zeng W, Guo Y, Wu G, et al. Mirror therapy for motor function of the upper extremity in patients with stroke: A meta-analysis[J]. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 2018, 50(1): 8-15.
- [8] Cristina LM, Matei D, Ignat B, et al. Mirror therapy enhances upper extremity motor recovery in stroke patients[J]. *Acta Neurol Belg*, 2015, 115(4): 597-603.

- [9] Colomer C, Noé E, Llorens R. Mirror therapy in chronic stroke survivors with severely impaired upper limb function: a randomized controlled trial[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2016, 52(3):271-278.
- [10] Deconinck FJ, Smorenburg AR, Benham A, et al. Reflections on Mirror therapy: a systematic review of the effect of Mirror visual feedback on the brain[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2015, 29(4):349-361.
- [11] Park JY, Chang M, Kim KM, et al. The effect of Mirror therapy on upper-extremity function and activities of daily living in stroke patients[J]. *Journal of Physical Therapy Science*, 2015, 27(6):1681-1683.
- [12] Ju YM, In-Jin Y. The effects of modified constraint-induced movement therapy and Mirror therapy on upper extremity function and its influence on activities of daily living[J]. *Journal of Physical Therapy Science*, 2018, 30(1):77-81.
- [13] Arya K. Underlying neural mechanisms of Mirror therapy: Implications for motor rehabilitation in stroke[J]. *Neurol India*, 2016, 64(1):38.
- [14] Broderick P, Horgan F, Blake C, et al. Mirror therapy for improving lower limb motor function and mobility after stroke: A systematic review and meta-analysis[J]. *Gait Posture*, 2018, 63:208-220.
- [15] Zhang JQ, Kenneth NF, Nandana W, et al. The activation of the Mirror neuron system during action observation and action execution with Mirror visual feedback in stroke: a systematic review[J]. *Neural Plast*, 2018:1-14.
- [16] Yue Y, Zhao QC, Zhang YS, et al. Effect of Mirror therapy on recovery of stroke survivors: a systematic review and network meta-analysis[J]. *Neuroscience*, 2018, 390:318-336.
- [17] Dennis RL, Shannon BL, Janice JE. The efficacy of lower extremity Mirror therapy for improving balance, gait, and motor function poststroke: a systematic review and Meta-Analysis[J]. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 2019, 28(1):107-120.
- [18] Antoniotti P, Veronelli L, Caronni A, et al. No evidence of effectiveness of Mirror therapy early after stroke: an assessor-blinded randomized controlled trial[J]. *Clin Rehabil*, 2019, 33(5):885-893.
- [19] Jiang SL, Wang ZP, Yi WB, et al. Current change rate influences sensorimotor cortical excitability during neuromuscular electrical stimulation[J]. *Front Hum Neurosci*, 2019, 13:152.
- [20] Sanchis-Gomar F, Lopez-Lopez S, Romero-Morales C, et al. Neuromuscular electrical stimulation: A new therapeutic option for chronic diseases based on contraction-Induced myokine secretion[J]. *Frontiers in Physiology*, 2019, 10:1463.
- [21] 20knutson JS, Fu MJ, Sheffler LR, et al. Neuromuscular electrical stimulation for motor restoration in hemiplegia[J]. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 2015, 26(4):729-745.
- [22] Monte-Silvak M, Piscitelli D, Norouzi-Gheidari N, et al. Electromyogram-Related neuromuscular electrical stimulation for restoring wrist and hand movement in poststroke hemiplegia: a systematic review and Meta-Analysis[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2019, 33(2):96-111.
- [23] Nussbaum EL, Houghton P, Anthony J, et al. Neuromuscular electrical stimulation for treatment of muscle impairment: critical review and recommendations for clinical practice[J]. *Physiother Can*, 2017, 69(5):1-76.
- [24] Mettler JA, Bennett SM, Barbara MD, et al. Neuromuscular electrical stimulation and anabolic signaling in patients with stroke[J]. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 2017, 26(12):2954-2963.
- [25] 24kim H, Lee G, Song C. effect of functional electrical stimulation with Mirror therapy on upper extremity motor function in poststroke patients[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2014, 23(4):655-661.
- [26] Carson RG, Buick AR. Neuromuscular electrical stimulation-promoted plasticity of the human brain[published online ahead of print, 2019 Sep 8]. *J Physiol[Z]*, 2019.
- [27] Lee D, Lee G. Effect of afferent electrical stimulation with Mirror therapy on motor function, balance, and gait in chronic stroke survivors: a randomized controlled trial[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2019, 55(4):442-449.
- [28] Yun GJ, Chun MH, Park JY, et al. The synergic effects of Mirror therapy and neuromuscular electrical stimulation for hand function in stroke patients[J]. *Ann Rehabil Med*, 2011, 35(3):316.
- [29] Lee D, Lee G, Jeong J. Mirror therapy with neuromuscular electrical stimulation for improving motor function of stroke survivors: a pilot randomized clinical study[J]. *Technology and Health Care*, 2016, 24(4):503-511.
- [30] Xu Q, Guo F, Salem HM, et al. Effects of Mirror therapy combined with neuromuscular electrical stimulation on motor recovery of lower limbs and walking ability of patients with stroke: a randomized controlled study[J]. *Clin Rehabil*, 2017, 31(12):1583-1591.
- [31] Young-Rim P, Jeong-Hoon L, Doo-Ho L, et al. Effect of Mirror therapy and electrical stimulation on upper extremity function in stroke with hemiplegic patient: a pilot study[J]. *Journal of Physical Therapy Science*, 2017, 29(12):2085-2086.
- [32] Takeda K, Tanino G, Miyasaka H. Review of devices used in neuromuscular electrical stimulation for stroke rehabilitation[J]. *Medical Devices: Evidence and Research*, 2017, 10:207-213.
- [33] Kojima K, Ikuno K, Morii Y, et al. Feasibility study of a combined treatment of electromyography-triggered neuromuscular stimulation and Mirror therapy in stroke patients: A randomized crossover trial[J]. *NeuroRehabilitation*, 2014, 34(2):235-244.
- [34] Steven CM, Zariffa J, Popovic MR, et al. Short-Term neuroplastic effects of Brain-Controlled and Muscle-Controlled electrical stimulation[J]. *Neuromodulation*, 2015, 18(3):233-240.
- [35] Amasyali SY, Yaliman A. Comparison of the effects of Mirror therapy and electromyography-triggered neuromuscular stimulation on hand functions in stroke patients[J]. *International Journal of Rehabilitation Research*, 2016, 39(4):302-307.
- [36] Schick T, Schlake HP, Kallusky JA, et al. Synergy effects of combined multichannel EMG-triggered electrical stimulation and Mirror therapy in subacute stroke patients with severe or very severe arm/hand paresis[J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2017, 35(3):319-332.