

多通道功能性电刺激在临床康复中的应用及研究进展

魏新春,周云,吴建贤,徐军,冯小军,张润

【关键词】 多通道功能性电刺激;康复

【中图分类号】 R49 【DOI】 10.3870/zgkf.2019.06.014

功能性电刺激(functional electrical stimulation, FES)是使用低频电刺激手段、精确的刺激顺序及刺激强度激活失神经控制的轻瘫或者瘫痪的肌肉群,达到改善或者恢复被刺激肌肉或者肌群功能,来帮助病患提高日常生活活动能力^[1]。其工作原理:微量低频脉冲电流经皮刺激由于高位中枢神经障碍而引起的信号传输通路受到阻碍而失去中枢神经控制的肌肉或者肌群,带动相应骨骼肌控制的关节按照常规的规律产生运动功能。自二十世纪60年代开始,美国专家 Liberson 成功地使用低频电流刺激腓总神经支配的胫骨前肌,改善偏瘫患者的足下垂提高步态功能之后,经过50多年的技术创新及发展,FES已经成功的应用到脑卒中患者运动功能的提高及恢复,高位瘫痪患者的手功能、站立及行走等功能、辅助呼吸、排泄、心脏起搏及聋人听觉功能等。而现今的临床康复治疗中应用的FES多以单通道或双通道为主,大量研究表明,FES是安全、简单、有效的可以恢复、重建瘫痪肢体神经肌肉功能的一种治疗方法^[2-4]。但发现近年以来,关于康复中应用多通道FES的文献报告不断递增^[5-7]。

1 多通道功能性电刺激的介绍

1.1 多通道功能性电刺激的概念 查阅国内外FES相关的文献,迄今尚未找到多通道FES的精准概念^[8]。多通道FES是应用交替刺激时序的低频脉冲电流刺激、集中、强化瘫痪的肌肉群,进行肢体运动功能训练的一种康复疗法。近年来其在康复辅助治疗中对中枢神经肢体瘫痪类疾病预后改善、提高临床疗效方面取得了良好效果^[9]。此文就多通道FES及其在临床康复中的应用及研究进展做一综述,为其在临床康复中的应用及机制机理研究提供参考依据。

1.2 多通道功能性电刺激的优点 一般人体每个功

能性动作产生需要多个关节及多组肌群的协调性控制和准确性运动,通常传统FES所引起肢体产生的是针对一个关节或一组肌群的分离运动模式^[10-11],而多通道FES是通过预先设定好的程序,实现对各肢体输出通道的协调性控制^[12]。工作时多通道FES各个输出通道的刺激参数都可各自调整,可实现对多组肌群产生低频电刺激,产生多组肌群、多个关节的协调性功能活动,而且保证各个通道之间互不干扰,相互独立;治疗过程中,各通道都按照协调好的正常肌群收缩次序和时长刺激相应的肌群,诱导肢体产生正常的协调性运动。如基于人体正常行走模式的四通道FES,工作时按照人类正常的行走模式及调整好的正常时序刺激股四头肌、腓绳肌、胫前肌、小腿三头肌,使瘫痪的患肢产生正常的行走样动作^[13]。此种多通道FES产生多关节活动、刺激多组肌群的康复治疗符合人体功能性活动规律,可以更好地提高瘫痪肢体的运动功能^[14]。

2 多通道功能性电刺激的作用机制

多通道FES的作用机制和传统FES比较,两者都要求治疗的瘫痪肢体在解剖上周围神经传导通路具有完整性,即由中枢神经系统损伤引起的肢体运动功能障碍,而对周围神经传导通路不具备完整性的周围神经损伤引起的肢体瘫痪,多不能发挥效果^[15]。同时FES诱导瘫痪肢体产生的重复性、主动性、具有任务导向性及近于正常运动模式的活动,也可使关节本体感觉得到提高,使患肢肌肉信息的输入得到增强,为机体提供更好的运动视觉反馈,提高靶肌肉群的运动能力,从而可促进大脑的可塑性^[16-18]。FES诱导瘫痪肢体产生反复的功能性运动,符合“强制性使用”理论,瘫痪肢体的强制性运动疗法可促进大脑相应区域的功能重组,使脑部运动活性增强,从而也可提高大脑的可塑性^[19]。至于FES对骨骼、肌肉、神经、血管、内分泌的分子生物学机制研究有限^[20],有待开展更多的研究。

3 多通道功能性电刺激在相关疾病康复中的应用

3.1 多通道功能性电刺激在脑卒中康复中的应用

基金项目:安徽医科大学校科研项目(自然科学)(2017xkj049)

收稿日期:2018-11-22

作者单位:安徽医科大学第二附属医院康复医学科,合肥 230061

作者简介:魏新春(1983-),男,主管技师,主要从事骨科康复和中医临床研究。

通讯作者:周云,zhoukg@163.com。

在中国每年大约有 250 余万新发的脑卒中患者,而且发病率还呈现出逐年上升趋势^[21-22]。很多循证医学研究表明,瘫痪后的肢体经过重复的、主动的、任务导向性的运动作用,对提高大脑的可塑性具有重要意义^[11,23]。在二十世纪 60 年代,脑卒中临床康复开始应用 FES,主要是为了替代中枢神经系统损伤致使丧失对肢体运动功能的支配,从某种意义上说把其当做一种特殊的“支具”来使瘫痪肢体的功能性运动提高、改善。

3.1.1 多通道功能性电刺激在脑卒中上肢康复中的应用 通过多通道 FES 改善脑卒中患者偏瘫上肢的运动功能,而对肩关节脱位或者半脱位的症状可以有效预防^[24-25]。脑卒中后偏瘫患者的上肢常表现为以屈肌痉挛为主的异常运动模式,严重影响患侧手的抓握和上肢伸屈取物等功能性运动,且恢复过程较慢,甚至不能恢复。脑卒中患者的上肢运动功能要通过多通道 FES 达到正常的运动模式,从而进行正常的功能性活动的治疗效果,就必须重新建立对偏瘫侧上肢的控制。有学者正是基于此种正常运动模式的理念,设计了一款多通道 FES,使其可以诱导瘫痪肢体产生功能性运动^[26]。许多科研工作者应用 FES 对脑卒中患者偏瘫侧肢体功能重建进行了大量的临床研究^[27-28],多集中在对患肢伸肌肌群,如伸腕、伸肘、伸指等肌群进行低频电刺激。研究表明多通道 FES 可以使肌肉收缩加强,协助调整主动肌、拮抗肌之间的收缩舒张能力,改善异常的肢体痉挛运动模式,促进正常运动模式的输入,从而提高偏瘫侧肢体的运动功能。

3.1.2 多通道功能性电刺激在脑卒中下肢康复中的应用 脑卒中后患侧下肢的运动功能障碍是影响患者功能恢复及生活质量最主要因素^[29]。脑卒中患者通常伴有肌力、肌张力、感觉、运动异常,主动控制、平衡协调功能较差,由此产生多种异常的运动模式,从而致使脑卒中患者无法实现正常步态^[30]。二十世纪 70 年代后期,国外研究者开始使用 FES 改善脑卒中患者偏瘫侧下肢足下垂^[31],使患者的站立、行走运动功能得到提高,但研究对象最初大多是恢复期患者。大量文献报道,发病后最初 3 个月的脑卒中患者,由于人体的自我恢复及康复治疗干预作用,患侧的运动功能得到较快恢复。由此较多专家学者提出在患者生命体征平稳后就可及早介入康复治疗,这也符合人体疾病的恢复规律。由此 FES 逐步被用于脑卒中急性期病情平稳后下肢运动功能恢复的康复临床研究^[32-33]。随着多通道 FES 临床康复研究的开展^[34-37],脑卒中患者偏瘫侧多通道 FES 联合运动训练,患者的功能性活动能力和肢体的运动控制能力得到改善及提高。由

此可见多通道 FES 具有强力改善异常步态,且疗效持续时间较长的优势。国内有研究表明^[38],多通道 FES 辅助踏车系统对脑卒中后的患肢运动功能恢复有显著疗效。陈丹凤等^[39]的研究探讨了多通道 FES 对脑卒中患者脑部纤维束的定性改变来分析神经网络损害对患侧下肢运动功能的影响和特点,研究发现强化、早期的多通道 FES 配合早期康复治疗,能明显改善脑卒中患侧下肢的运动功能及平衡功能。也有研究对恢复期脑卒中患者采用多通道 FES 四肢联动结合常规康复训练进行康复治疗^[40],提出多通道 FES 结合四肢联动训练可有效改善脑卒中患侧下肢运动功能,患者的站立、步行能力得到提高,对患者 ADL 的提高也有重要意义。研究多通道 FES 对脑卒中步行试验和核磁共振弥散张量成像(DTI)扫描结果的影响^[41],发现 DTI 扫描可见脑部病灶区域水肿范围明显减小,可见到增大增粗、颜色加深的白质纤维束,并指出多通道 FES 是目前康复治疗脑卒中偏瘫侧肢体运动功能障碍较为操作方便的新型康复方法,对提高患侧肢体运动能力,改善日常生活质量效果显著。近期符合运动控制理论的研究亦发现^[42],具有持续治疗效果时间长,改善步态能力强等优势特点的多通道 FES 配合早期康复训练,符合功能性运动的要求,使瘫痪侧下肢产生行走样动作,能使脑卒中偏瘫患者下肢的运动功能得到显著改善,而下肢的运动功能改善有助于 ADL 能力的提高,降低的致残率。通过四通道 FES 治疗可以使脑卒中患者重新唤起正确的步态,达到强制性应用及运动再学习的目的。多通道 FES 结合减重平板训练可显著提高脑卒中患者的平衡协调、步行及 ADL 能力,有效改善患肢功能^[43]。

3.2 多通道功能性电刺激在脊髓损伤康复中的应用 脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)是指由于外力或者疾病等因素所造成的脊髓结构损伤及功能的丧失,从而导致损伤平面及以下的运动、感觉及自主神经功能发生了异常改变,是临床上具有严重危害的中枢神经系统急性病损,医学的进步,科技的提高,使 SCI 治疗后存活率及存活时间显著增加,从而提高了此病的致残率。现今尚无脊髓损伤完全治愈的有效手段,防治脊髓损伤后的并发症的措施也十分有限。所以探索用不同的康复方法及新技术去替代或修复损伤后的脊髓是脊髓功能重建的发展趋势。脊髓损伤之后轴突正确连接是中枢神经功能恢复的前提,轴突的生长朝向正确的方向,由此建立功能性连接,需要联系的结构性及重新学习获得信息通路,也需要适当的物理性外部刺激来模拟局部神经发育过程以及生长的微环境状态。模拟再生环境的 FES 对脊髓损伤有显著的治疗作用。

目前在中枢神经系统损伤不可逆的情况下,FES是改善提高脊髓损伤患者运动功能的途径之一^[44]。国内有研究利用多通道FES并结合运动疗法对截瘫患者进行康复运动训练的需要开发设计了多通道FES刺激模型骨骼肌产生肌力^[45],进而实现特定的康复训练动作的康复踏车。FES踏车系统是截瘫患者应用于肢体运动功能提高较为有效的机电设备系统^[46],在最近二、三十年的发展中,全球相关领域的专家学者从不同的角度,设计了大量临床实验,证实了该类系统的康复效果。因此,开展多通道FES踏车相关技术的科学研究,具有强大的现实及理论意义,而且具有相当的临床应用价值。

3.3 多通道功能性电刺激在脑瘫康复中的应用 脑性瘫痪(cerebral palsy CP)即脑瘫,是从受孕开始到婴儿期的非进行性脑部损伤及发育性缺陷所致的一种综合征,主要表现有运动功能障碍及活动姿势异常,通常伴感觉、言语、认知、交流障碍以及其他异常症状。脑瘫患者步行能力的提高及改善关系其未来是否能够具有生活自理能力及能否进入社会,同时也是患者家属最关心的,更是脑瘫康复治疗的长远目标,这更是脑瘫康复的重点难点。绝大多数脑瘫患者都具有本体感觉功能障碍,此种障碍影响到运动控制的传入通路,而低频功能性电刺激所诱导产生的肌肉群运动可提高关节周围的本体感觉,进而可以使机体的感觉、运动神经兴奋性提高^[47],从而使脑瘫患者靶肌肉的功能活动得到正确控制。在对脑瘫的康复训练中,姜艳等^[48]将多通路程序化FES应用于青少年患者,模拟正常的主动运动配合并促进了康复训练动作的实现,恢复了肌肉的部分运动功能,同时对中枢神经系统功能的代偿性恢复及中枢传导通路的重塑方面也具有促进作用。

3.4 多通道功能性电刺激在其他相关疾病康复中的应用 针对消化系统疾病贲门失弛缓症的治疗需求,有专家设计了一种基于多通道FES的食管起搏系统^[49],开展了多通道FES对于食管起搏功能的系统研究;有学者的基础研究发现^[50],模拟人体正常运动模式的多通道FES可以使脑卒中患者的运动功能得到改善和提高,同时也可以使患者的运动皮层及海马区域的神经营养因子浓度明显提高。多通道FES可作为老年性长期卧床患者的一种辅助康复锻炼方法,其可使此类患者的认知功能、ADL能力得到提高,相关的并发症如泌尿系感染、肺部感染的发生率减少,且认为突触的可塑性增强,海马突触、前额叶结构及功能等的改善和其作用机制有相关性^[51]。多通道FES通过刺激膀胱、骶神经根、阴部神经、胫后神经、脊髓治疗膀胱功能、性功能、肠道功能方兴未艾,为药物与手术

之间开拓了一种新的治疗选择^[52]。

4 小结

多通道FES是在传统FES的基础上发展起来的,使用多组电流输出通道,可以诱导刺激多组肌肉群,诱发瘫痪肢体产生类似正常的功能性运动。但在临床康复治疗应用中,同样也有情况产生,如通道过多致使研究、开发、使用比较繁琐;电极种类的选择、治疗参数设置、介入治疗时间、治疗具体部位、治疗疗程及注意事项等方面暂无统一标准;电极与控制系统之间是线路连接,暂无线传输;大多数的康复临床研究缺乏多中心、大样本的研究等;其作用的机制尚不是很明确,更有待加强进一步的研究。随着科学技术的发展及设计日益精密,在未来,多种多样的多通道FES必将产生,为康复医学事业做出应有的贡献。

【参考文献】

- [1] DNRushton. Functional electrical stimulation[J]. *Physiol Meas*,1997,18(4): 241-275.
- [2] EnginKoyuncu,Nakipoglu-Yuzer GF,Dogan A,et al. The effectiveness of functional electrical stimulation for the treatment of shoulder subluxation and shoulder pain in hemiplegic patients;a randomized controlled trial[J]. *DisabilRehabil*,2010,32(7):560-566.
- [3] Embrey DG,Holtz SL,Alon G,et al. Functional electrical stimulation todorsiflexors and plantar flexors during gait to improve walking in adults with chronic hemiplegia[J]. *Archives Physical Medicineand Rehabilitation*,2010,91(5):687-696.
- [4] Sabut SK,Sikdar C,Mondal R,et al. Restoration of gait and motor recovery by functional electrical stimulation therapy in persons with stroke[J]. *Disabil Rehabil*,2010,32(19):1594-1603.
- [5] Mangold S,Schuster C,Keller T,et al. Motor Training of upper extremity with functional electrical stimulation in early stroke rehabilitation[J]. *Neurorehabil Neural Repair*,2009,23(2):184-190.
- [6] Daly JJ,Roenigk K,Holcomb J,et al. _A randomized controlled trial of functional neuromuscular stimulation in chronic stroke subject[J]. *Stroke*,2006,37(1):172-178.
- [7] Alon G,Conroy VM,Donner TW. Intensive training of subjects with chronic hemiparesis on a motorized cycle combined with functional electrical stimulation(FES):a feasibility and safety study[J]. *Physiotherapy Research International*,2011,16(2):81-91.
- [8] 谭志梅,姜文文,燕铁斌. 多通道功能性电刺激及其在脑卒中偏瘫侧肢体康复中的应用[J],*中华物理医学与康复杂志*,2011,33(6):464-467.
- [9] Lairamore CI,Garrison MK,Bourgeon L,et al. Effects of functional electrical stimulation on gait recovery post-neurological injury during inpatient rehabilitation[J]. *Perceptual and motor skills*,2014,119(2):591-608.
- [10] 燕铁斌,程曙光. 基于行走模式的低频脉冲电刺激瘫痪治疗仪[J]. *中国医疗器械信息*,2010,16(1):1-4.
- [11] Daly JJ,Ruff RL. Construction of efficacious gait and upper limb functional interventions based on brain plasticity evidence and model-based measures for stroke patients[J]. *TheScientificWorldJournal*,2007,299(7):2031-2045.

- [12] Thrasher TA, Popovic MR. Functional electrical stimulation of walking: function, exercise and rehabilitation[J]. *Ann Readapt Med Phys*, 2008, 51(6): 452-460.
- [13] 燕铁斌,程曙光.一种基于行走模式的下肢瘫痪功能性低频电刺激治疗仪[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2008, 30(9): 733-735.
- [14] Kesar TM, Perumal R, Reisman DS, et al. Functional electrical stimulation of ankle plantarflexor and dorsiflexor muscles effects on poststroke Gait[J]. *Stroke*, 2009, 40(12): 3821-3827.
- [15] Bogatj U, Gros N, Kijajic M, et al. The rehabilitation of gait in patients with hemiplegia: a comparison between conventional therapy and multichannel functional electrical stimulation therapy[J]. *Physical Therapy*, 1995, 75(6): 490-502.
- [16] Sheffer LR, Chae J. Neuromuscular electrical stimulation in neurorehabilitation. *Muscle Nerve*, 2007, 35(5): 562-590.
- [17] Wang RY. Neuromodulation of effects of upper limb motor function and shoulder range of motion by functional electric stimulation(FES)[J]. *Acta NeumchirSuppl*, 2007, 97(1): 381-385.
- [18] Chae J, Sheffer L, Knutson J. Neuromuscular electrical stimulation for motor restoration in hemiplegia[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2008, 15(5): 412-426.
- [19] Liepert J, Bauder H, Wolfgang HR, et al. Treatment induced cortical reorganization after stroke in humans[J]. *Stroke*, 2000, 31(6): 1210-1216.
- [20] 邵阳, 李民, 陈力学, 等. 功能性电刺激对脊髓损伤的修复作用[J]. *中国医学物理学杂志*, 2010, 27(1): 1668-1671.
- [21] 刘敏, 方向华. 脑卒中后残疾的研究进展[J]. *中华流行病学杂志*, 2013, 34(11): 1146-1150.
- [22] 张薇, 范宇威, 高静, 等. 脑卒中流行病学调查相关文献复习[J]. *中国临床神经科学*, 2014, 22(6): 699-703.
- [23] Jone EG. Cortical and subcortical contributions to activity-dependent plasticity in primate somatosensory cortex[J]. *Annu Rev Neurosci*, 2000, 23(1): 1-37.
- [24] Chae J, Yu DT, Walker ME, et al. Intramuscular electrical stimulation for hemiplegic shoulder pain: a 12-month follow-up of a multiple center, randomized clinical trial[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2005, 84(11): 832-842.
- [25] Fil A, Amutlu K, Atay AO, et al. The effect of electrical stimulation in combination with Bobath techniques in the prevention of shoulder subluxation in acute stroke patients[J]. *Clin Rehabil*, 2011, 25(1): 51-59.
- [26] 燕铁斌,程曙光.一种基于行走模式的下肢瘫痪功能性低频电刺激治疗仪[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2008, 30(11): 733-735.
- [27] Mangold S, Schuster C, Keller T, et al. Motor training of upper extremity with functional electrical stimulation in early stroke rehabilitation [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2009, 23(2): 184-190.
- [28] Ham Y, Ogawa S, Muraoka Y. Hybrid power-assisted functional electrical stimulation to improve hemiparetic upper-extremity function[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2006, 85(12): 977-985.
- [29] 刘翠华, 张盘德, 容小川, 等. 功能性电刺激同步虚拟现实技术对脑卒中患者下肢运动功能障碍的影响[J]. *中国康复医学杂志* 2014, 29(8): 736-739.
- [30] 高春华, 徐乐义, 黄杰, 等. MOTomed 智能运动训练系统对脑卒中偏瘫患者平衡及下肢运动功能的影响[J]. *中国康复理论与实践*, 2013, 19(8): 725-728.
- [31] Daly JJ, Roenigk K, Holcomb J, et al. A randomized controlled trial of functional neuromuscular stimulation in chronic stroke subject[J]. *Stroke*, 2006, 37(1): 172-178.
- [32] Ferrante S, Pedrocchi A, Ferrigno G, et al. Cycling induced by functional electrical stimulation improves the muscular strength and motor control of individuals with post-acute stroke[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2008, 44(2): 159-167.
- [33] Yan T, Hui-Chan CW, Li LS. Functional electrical stimulation improves motor recovery of the lower extremity and walking ability of subjects with first acute stroke: a randomized placebo controlled trial[J]. *Stroke*, 2005, 36(1): 80-85.
- [34] Alon G, Levin AF, McCarthy PA. Functional electrical stimulation(FES) may modify the poor prognosis of stroke survivors with severe motor loss of the upper extremity: a preliminary study[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2008, 87(8): 627-636.
- [35] McCabe JP, Dohring ME, Marsolais EB, et al. Feasibility of combining gait robot and multichannel functional electrical stimulation with intramuscular electrodes[J]. *J Rehabil Res Dev*, 2008, 45(7): 997-1006.
- [36] Leeb R, Gubler M, Tavella M, et al. On the road to a neuroprosthetic hand: a novel hand grasp orthosis based on functional electrical stimulation[C]. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2010: 146-149.
- [37] 陈培荣, 李奎, 吴丹丽, 等. 多通路功能性电刺激四肢联动对于脑卒中患者下肢功能恢复的影响[J]. *中国康复*, 2017, 32(6): 476-478.
- [38] 糜迅, 杨裕梅. 功能性电刺激联合踏车运动在临床康复中的应用及研究现状[J]. *系统医学*, 2017, 2(2): 165-168.
- [39] 陈丹凤, 燕铁斌, 黎冠东, 等. 多通道功能性电刺激对脑卒中患者下肢运动功能的影响[J]. *中国康复*, 2013, 28(4): 289-291.
- [40] 马全胜, 宋德军, 郗淑燕. 功能性电刺激四肢联动训练对脑卒中患者下肢功能及步行能力的影响[J]. *康复学报*, 2016, 26(6): 10-13.
- [41] 金贵梁, 刘慧. 多通道功能性电刺激对脑卒中患者步行试验及 DTI 扫描结果的影响[J]. *泰山医学院学报*, 2017, 38(2): 165-167.
- [42] 黄润连, 姚少凤. 多通道功能性电刺激改善早期脑卒中偏瘫患者日常生活活动能力的随机对照研究[J]. *按摩与康复医学*, 2018, 9(2): 12-14.
- [43] 龙洁珍, 林楚华, 温鸿源, 等. 多通道功能性电刺激结合减重平板训练在提高脑卒中偏瘫患者步行能力中的作用[J]. *按摩与康复医学*, 2018, 9(15): 14-15.
- [44] 毕胜. 功能性电刺激在四肢瘫和截瘫中的应用[J]. *国外医学? 物理医学与康复学分册*, 2003, 23(3): 112-117.
- [45] 李鹏峰, 侯增广, 张峰, 等. 基于 FES 主动康复训练控制系统设计与仿真[J]. *第二十九届中国控制会议论文集*, 2010, 29(31): 6107-6112.
- [46] 马长波, 姜洪源, 陆念力, 等. 新型多通道双相体外肌肉刺激器的设计[J]. *中国康复医学杂志*, 2006, 21(7): 646-648.
- [47] 姜艳, 赵琳蕾. 肌电生物反馈疗法治疗脑瘫患儿腕背屈功能障碍疗效观察[J]. *中国康复理论与实践*, 2008, 14(8): 767-768.
- [48] 姜艳, 刘月芬, 王艳波, 等. 多通道功能性电刺激对脑性瘫痪青少年下肢运动和平衡功能的影响[J]. *中国康复理论与实践*, 2016, 22(9): 1056-1058.
- [49] 许小璇, 陈晓冬, 王邦茂, 等. 基于多通道电刺激的食管起搏系统研究[J]. *纳米技术与精密工程*, 2017, 15(1): 31-35.
- [50] KE Z, YIP S P, LI L, et al. The effects of voluntary, involuntary, and forced exercises on brain-derived neurotrophic factor and motor function recovery: a rat brain ischemia model[J]. *Plos One*, 2011, 6(2): 16643-16644.
- [51] 谢丹丹, 任玉莲, 陈斌, 等. 多通道功能性电刺激对老年长期卧床患者认知功能的影响[J]. *康复学报*, 2018, 28(2): 23-27, 42.
- [52] 刘良乐, 戴鸣海, 汤呈宣, 等. 电刺激应用于脊髓损伤后神经源性膀胱治疗的现状与展望[J]. *中国康复医学杂志*, 2017, 32(12): 1420-1423.