

# 振动疗法在脑卒中康复的应用

杨晓华,李古强

【关键词】 脑卒中;振动疗法;康复

【中图分类号】 R49;R743.3 【DOI】 10.3870/zgkf.2021.05.013

振动疗法利用振动因素作用于机体局部或全身使其发生周期性或非周期性变化,从而产生疗效<sup>[1]</sup>。振动疗法早已应用于医学实践中,古希腊时期,医护人员就已运用手动训练器振动刺激患部,改善机体功能。振动疗法虽一直沿用至今,但并未受到重视。随着科技发展及康复医学水平的提高,振动疗法作为一种现代康复手段以其易于操作、治疗时间短、依从性高等特点在康复领域受到越来越多的关注,目前已广泛应用于帕金森病、脑性瘫痪、多发性硬化等疾病康复<sup>[2-4]</sup>,为其在神经康复领域的临床应用提供了依据。

当下脑卒中是位居第二位危害中老年人群的心脑血管疾病<sup>[5]</sup>,具有高发病率、高发率、高致残率及高死亡率的特点。我国城乡脑卒中年发病率为200/10万,年死亡率为80~120/10万,约75%脑卒中幸存者遗留运动、感觉等各功能障碍<sup>[6]</sup>,甚至丧失自理能力,加重了家庭和社会的经济、医疗负担。研究发现,振动疗法对降低卒中后偏瘫肢体肌张力、改善肌肉痉挛所致的运动功能障碍、预防并发症等方面有积极疗效,本文对振动疗法的分类及其在脑卒中康复的作用机制、应用研究进行综述,为其临床应用提供实践借鉴及理论依据。

## 1 振动疗法概述和分类

振动疗法是一种通过机械设备产生特定参数高精度重复振动波刺激机体产生疗效的理疗方法。根据作用部位,分为以下两类:①局部振动疗法(Focal Muscle Vibration, FMV):指患者取舒适体位后直接振动刺激目标部位,刺激仅作用于目标部位及其相邻区域。②全身振动疗法(Whole Body Vibration, WBV):指振动刺激经由直接接触部位自下而上地传递至全身,使全身受到刺激<sup>[7]</sup>。根据作用方向,分为垂直振动疗法;横向振动疗法;侧向振动疗法。根据振动能量源,分为

机械振动疗法、电致振动疗法和磁致振动疗法<sup>[1]</sup>;根据振动方式,分为同步振动和交替振动模式。

## 2 振动疗法在脑卒中康复的作用机制

研究表明振动疗法对卒中患者感觉、运动、平衡等功能产生影响,并能改善心脑血管和活化肌力,是种安全、有效、依从性高的训练方式。其作用机制具体如下:①促进感觉功能。小剂量、短时间的低频振动使肌梭等多种感受器兴奋,本体感觉输入增加,受损神经的兴奋性提高,促进神经再生,进而改善本体感觉<sup>[17]</sup>。②增加大脑皮层兴奋性。振动增加大脑皮质的本体感觉输入,通过SI区和M1区间特有联系提高运动皮质的兴奋性,影响中枢对运动功能的调控<sup>[8]</sup>。Marconi等<sup>[9]</sup>振动刺激卒中患者患肢,发现M1区激活面积增大且最大运动诱发电位和短间隔皮质内抑制在振动后显著提高,表明振动能够使皮质脊髓束兴奋性提高并产生皮质内抑制,从而降低肌张力。③调节牵张反射。肌梭属于长度感受器,反复振动刺激使肌梭敏感性发生适应性降低,并降低经Ia纤维传入的 $\alpha$ 运动神经元兴奋性,减少病理性运动单位的募集,促进肌张力趋于正常<sup>[10]</sup>。另外,振动刺激可使肌肉产生张力性振动反射(Tonic Vibration Reflex, TVR),梭外肌收缩而梭内肌放松,继发Ia纤维传入减少, $\gamma$ 运动神经元兴奋性减低,肌梭的传入冲动减少,也导致 $\alpha$ 运动神经元兴奋性减低,进而降低肌张力<sup>[11]</sup>。Noma等<sup>[12]</sup>发现,FMV刺激痉挛肌肉引起肌肉强烈收缩,但持续数分钟后收缩消失,上肢痉挛缓解,且缓解效应可维持30min。④活化肌力。振动刺激可诱发有神经支配的骨骼肌发生TVR,通过单突触闭合传导途径增加II型肌纤维的激活强度,提高快肌纤维百分比,增加肌肉爆发力<sup>[13]</sup>。同时,振动刺激触发的多突触传导途径也能增强中枢系统对协调肌的支配,增强肌力<sup>[14]</sup>。⑤改善心脑血管。人体内血液的流动属于脉动型,本就有加速度,进行振动治疗时,振动设备产生的水平加速度和血液流动的加速度相互影响,使血流速增加。血流速增加提高了血管内皮剪切力并刺激内皮细胞合成释放NO,继而促使血管舒张,增加血流量<sup>[15]</sup>。振动治疗可

收稿日期:2020-05-31

作者单位:滨州医学院康复医学院,山东烟台264003

作者简介:杨晓华(1993-),女,在读研究生,主要从事神经疾病康复治疗方面的研究。

通讯作者:李古强 liguqiang@126.com

改善血液重分配,强化血液循环系统功能,对于萎缩、梗死等因血液循环不良所致的心血管疾病有一定疗效。Andrew 等<sup>[16]</sup>首次报道了振动治疗对脑卒中患者的即刻效应,发现振动可改善患者全身的硬化指标且可持续 30min。

### 3 振动疗法在脑卒中康复的应用

**3.1 肢体功能障碍** WBV 通过改善脑卒中患者神经—肌肉系统功能促进卒中后肢体功能恢复。龙耀斌等<sup>[17]</sup>发现,振动刺激通过诱导 Ia 传入末梢突触前抑制,减少递质释放,缓解卒中患者偏瘫下肢肌张力,改善关节活动度和运动功能。Miyara 等<sup>[18]</sup>对 16 例卒中患者进行坐位下腓绳肌、腓肠肌和比目鱼肌的 WBV 训练,发现 WBV 训练不仅改善患者肌张力和关节活动度,还提高步行能力、改善步态。振动疗法可降低卒中后偏瘫肢体痉挛程度,缓解关节痉挛和促进运动模式正常化,改善平衡和步行能力。Chan 等<sup>[19]</sup>发现,WBV 治疗可降低卒中偏瘫患者踝关节跖屈肌痉挛,同时改善步态,提高步行功能和日常生活活动能力。金振华等<sup>[20]</sup>的随机对照试验发现,WBV 组患者功能性步行分级、10m 步行测试成绩、Berg 平衡量表(Berg Balance Scale, BBS)评分均优于对照组,表明 WBV 治疗可改善卒中患者步行能力和平衡功能,与 Lee<sup>[21]</sup>的研究结论相同。此外,Choi 等<sup>[22]</sup>发现视觉控制 WBV 疗法可能有助于发展患者其他控制平衡的感觉系统,进而改善脑卒中患者的功能性平衡能力和动态平衡能力。WBV 刺激作用于全身,故其对上肢功能也有影响。Lee 等<sup>[23]</sup>对 15 例卒中后偏瘫患者进行 WBV 训练,发现振动后上肢肌张力显著下降,且患侧手最大握力与健侧差距缩小,表明 WBV 能够缓解卒中患者上肢痉挛,促进手功能恢复。虽然国际文献肯定了 WBV 疗法对脑卒中康复的积极影响,但仍有学者对其疗效存有质疑。一项最新 Meta 分析指出<sup>[24]</sup>,WBV 疗法可能是改善卒中患者症状的一种安全的替代治疗方式,但其对患者在日常活动中起重要作用的肌肉力量、平衡和步态功能的影响效应值较小。综合分析目前相关文献研究发现,除振动参数和治疗时间外,脑卒中类型、病灶部位、病灶损伤面积等因素也有可能影响研究结果,然而大多数研究并未对这些因素进行明确区分,故评价 WBV 疗法对脑卒中康复的疗效,仍需大量研究来验证。FMV 可增加偏瘫侧深、浅感觉的输入,反复的感觉输入又是调节皮质结构、功能和脑可塑性的有效方式之一。Celletti 等<sup>[25]</sup>对卒中患者胸小肌、肱二头肌和腕屈肌群进行 FMV 联合运动模式再学习训练,发现 6 周后患者偏瘫侧上肢屈肌肌

群痉挛及疼痛改善明显,证实了振动疗法在脊髓和皮质水平上对抑制回路的作用,同时推测具有神经生理学基础的振动治疗和康复技术的多学科方法可调整皮质兴奋和抑制系统达到再平衡,进而缓解偏瘫肢体痉挛。Annino<sup>[26]</sup>、Casale<sup>[27]</sup>等研究结果与其相同。尽管一些研究证实了 FMV 治疗对卒中后患者躯体和功能的改善作用,但大多数文献采用 FMV 治疗联合物理康复治疗方案,并将这种联合治疗与单纯康复治疗进行比较,缺乏针对假治疗进行的研究。Constamino 等<sup>[28]</sup>研究评价低振幅、高频 FMV 刺激与假治疗对卒中后上肢痉挛个体的影响,实验组患者肱三头肌腹侧和桡侧腕长、短伸肌的皮肤应用 FMV 治疗,治疗期间要求患者保持治疗肌肉的等长收缩,对照组应用模拟局部机械声振动(假治疗),实验发现振动刺激可以显著缓解偏瘫上肢肌张力及疼痛,肌力和手功能等较治疗前也均有改善,此外,实验组健侧手的握力也有改善,证实了振动刺激可以提高大脑皮质兴奋性、诱发肌肉运动潜力、提高上肢肌力和手的抓握能力。

**3.2 单侧空间忽略症** 单侧空间忽略症(Unilateral Spatial Neglect, USN)是继单侧脑损伤,尤其是右半球卒中后常见的致残性的行为认知障碍性疾病,表现为对来自病灶对侧空间的刺激不能感知、定向和反应。研究表明颈部肌肉振动(Neck Muscle Vibration, NMV)可增加损伤半球感觉输入的显著性<sup>[29]</sup>,并以这种方式增强患者对侧空间的意识。Schindler 等<sup>[30]</sup>发现,NMV 联合视觉探索训练不仅可累加单纯视觉探索训练对卒中后 USN 的改善效果,而且可延长疗效持续时间。随后 Johannsen 等<sup>[31]</sup>为进一步明确 NMV 对 USN 的疗效,进行了一项将 USN 作为唯一干预因素的多基线设计研究,发现 NMV 明显改善卒中后 USN,且疗效可持续 1.4 年。NMV 操作简单、安全性高,与特定的训练方法相结合可以诱导功能的持续改善,提高康复效果。Ceyte 等<sup>[32]</sup>研究表明,左侧 NMV 与左侧空间忽略中的随意手臂运动相结合治疗可使卒中后 USN 患者的症状持续减轻,尤其是在日常活动中。此外,Leplaideur 等<sup>[29]</sup>研究证明 NMV 对卒中后 USN 患者的平衡功能亦有疗效。目前认为 NMV 对卒中后 USN 进行康复的原理是 NMV 可以调节从外周感觉器官到以身体为中心的参考的感觉输入,从而改善空间注意力<sup>[33]</sup>。对 NMV 的初步研究显示,当 NMV 应用于对侧时可重新定向患者的注意<sup>[34]</sup>。一旦肌梭被振动激活即可产生传入输入,进而使患者产生运动错觉<sup>[35]</sup>。因此在对侧应用 NMV 时,产生的错觉可影响整个以自我为中心的协调系统,将注意力中心转移到应用 NMV 的一侧<sup>[29,32]</sup>。

3.3 肩手综合征 肩手综合征(Shoulder-hand Syndrome, SHS)是脑卒中常见并发症,如不及时治疗可导致上肢肌肉萎缩,关节永久性挛缩畸形,是导致卒中患者残疾的重要诱因,也是阻碍患者上肢功能恢复的重要因素。SHS发病原因与机制尚不明确,缺乏有效的治疗方案。近年有研究指出振动疗法可缓解卒中后SHS患者上肢疼痛、水肿和痉挛症状,并改善关节活动度。贾红娥等<sup>[36]</sup>对2例卒中后SHS患者进行常规康复治疗采用FMV治疗仪沿“上臂-前臂-腕关节-手”方向,再反方向振动治疗,结果表明患者疼痛、肿胀严重程度在短时间内均下降,关节外展和外旋活动度增加。可能机制为:FMV通过刺激粗纤维产生闸门控制效应,起到镇痛作用<sup>[37]</sup>;振动刺激血管的舒缩活动以及刺激肌肉收缩产生的泵效应,改善静脉与淋巴回流,进而减轻肢体水肿<sup>[38]</sup>。由于该研究样本量较少,且不是随机对照研究,研究结论需进一步进行验证。朱昌娥等<sup>[39]</sup>选取60例患者,采用相同的常规治疗及FMV治疗方法进行随机对照试验,研究发现患者疼痛、肿胀及肘外展和外旋程度均明显改善,且偏瘫侧腕关节及手功能也得以提高,明确了FMV治疗对脑卒中后SHS的积极疗效。目前国内有关振动治疗SHS的研究较少,振动疗法的优化应用及长期疗效方面仍需探讨。今后研究可扩大样本量并进行多因素、多水平控制下的分层研究,进一步探讨振动疗法的起效机制。

3.4 肌肉萎缩 脑卒中患者偏瘫侧肢体活动不可避免的减少(尤其是早期),导致其肌萎缩难以绝对避免。表现为肌肉组织萎缩和肌纤维数量减少,进而引发失神经支配及肌痉挛等肌肉异常情况。中枢神经激活作用的减弱对肌萎缩的发生与发展起着重要作用,振动训练可增加运动单位的数量和活性<sup>[13-14]</sup>,使与运动控制相关的神经环路兴奋性增加,改善肌萎缩<sup>[40]</sup>。同时,振动刺激可使组织发生弹性形变,肌肉通过弹性势能的释放与储存,既能物理松解肌肉组织间的粘连,又能提高胶原和弹性组织的工作能力<sup>[41]</sup>。Marin等<sup>[42]</sup>发现振动使卒中患者股直肌和股外侧肌厚度分别增加10.6%和12.5%。另外,振动产生的动态力场效应可改变激素和生长因子的浓度。黄鹏<sup>[43]</sup>发现振动刺激使大鼠比目鱼肌中胰岛素样蛋白因子IGF-I和肌肉生长调节因子MyoD等产生过表达,而二者能促进骨骼肌蛋白合成、抑制骨骼肌蛋白分解,预防肌肉结构改变。目前卒中相关性肌萎缩的具体发生机制尚不清楚,探索其发生机制有助于为脑卒中后肌萎缩的预防和治疗提供循证依据。

## 4 展望

振动疗法作为一种非药物、非侵入性的治疗方法,能以较小的运动负荷刺激神经-肌肉的牵张反射,达到有效运动效果,对机体的重要器官及系统影响较小,且在提升肌肉力量的同时,也能改善卒中偏瘫患者的平衡能力、运动协调性和肢体肿胀与疼痛,提高生活能力和生活质量。振动疗法相较于药物和针灸、按摩等常规康复治疗,无长期用药带来的经济负担和副反应,效果不受治疗师专业水平高低的影响,训练时间短,易于操作,且患者全程无需进行主动的大负荷运动,极大地提高了患者的依从性,尤其适用于运动功能受损、虚弱或失能的慢性病人。虽然国内外研究已证实振动疗法对脑卒中康复的积极疗效,但目前尚无具体的临床指南,因为不同个体的最佳振动参数及治疗方案不同,不同类型的设备和参数对临床结果的影响也不确定。故振动疗法作为一种具有潜力的治疗方法,其应用于脑卒中康复的个体化最佳参数及方案仍是今后研究的重点方向,以获取更多证据支持其在脑卒中康复的应用,促进其更加规范化的应用。

### 【参考文献】

- [1] 王颖. 机械振动疗法及其在康复治疗中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2004, 19(8): 633-636.
- [2] 王盛, 龚晨, 曹寅慧, 等. 运动疗法结合全身垂直律动治疗缺血缺氧性脑病致帕金森综合征1例报道[J]. 中国康复, 2015, 30(5): 397-397.
- [3] Ali MS, Awad AS, Elassal MI. The effect of two therapeutic interventions on balance in children with spastic cerebral palsy: A comparative study. [J]. J Taibah Univ Med Sci, 2019, 14(4): 350-356.
- [4] Camerota F, Celletti C, Di SE, et al. Focal muscle vibration, an effective rehabilitative approach in severe gait impairment due to multiple sclerosis[J]. J Neurol Sci, 2017, 372(1): 33-39.
- [5] 胡洁, 朱琳, 刘霖, 等. 上肢康复机器人结合常规康复训练对急性期脑卒中患者上肢功能的疗效研究[J]. 中国康复, 2018, 33(6): 448-450.
- [6] 姚宇, 曾明安, 陈玲, 等. 视听媒体指导脑卒中患者主动功能锻炼的效果观察[J]. 中国康复, 2019, 34(3): 131-133.
- [7] Liao LR, Ng GY, Jones AY, et al. Whole-body vibration intensities in chronic stroke: a randomized controlled trial[J]. Med Sci Sports Exerc, 2016, 48(7): 1227-1238.
- [8] Lapole T, Temesi J, Arnal PJ, et al. Modulation of soleus corticospinal excitability during Achilles tendon vibration[J]. Exp Brain Res, 2015, 233(9): 2655-2662.
- [9] Marconi B, Filippi GM, Koch G, et al. Long-term effects on cortical excitability and motor recovery induced by repeated muscle vibration in chronic stroke patients[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2011, 25(1): 48-60.
- [10] Harwood B, Scherer J, Brown RE, et al. Neuromuscular responses of

- the plantar flexors to whole-body vibration[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2017, 27(12):1569-1575.
- [11] Carlucci F, Felici F, Piccinini A, et al. Individual optimal frequency in whole-body vibration: effect of protocol, joint angle, and fatiguing exercise[J]. *J Strength Cond Res*, 2016, 30(12):3503-3511.
- [12] Noma T, Matsumoto S, Shimodozono M, et al. Anti-spastic effects of the direct application of vibratory stimuli to the spastic muscles of hemiplegic limbs in post-stroke patients: a proof-of-principle study[J]. *J Rehabil Med*, 2012, 44(4):325-330.
- [13] 张丽, 翁长江. 全身振动训练及其对脑卒中患者运动功能康复价值[J]. *中国实用内科杂志*, 2013, 33(8):587-590.
- [14] Matyas TA, Galea MP, Spicer SD. Facilitation of the maximum voluntary contraction in hemiplegia by concomitant cutaneous stimulation[J]. *Am J Phys Med*, 1986, 65(3):125-134.
- [15] 谭景旺, 韩甲, 沈玉芹, 等. 全身水平振动训练对心血管系统的影响与机制进展[J]. *中国康复理论与实践*, 2019, 25(4):430-433.
- [16] Koutnik AP, Wong A, Kalfon R, et al. Acute passive vibration reduces arterial stiffness and aortic wave reflection in stroke survivors[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2014, 114(1):105-111.
- [17] 龙耀斌, 曹锡忠. 振动训练对脑卒中偏瘫患者下肢肌张力和运动功能的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2016, 31(10):1099-1103.
- [18] Miyara K, Matsumoto S, Uema T, et al. Effect of whole body vibration on spasticity in hemiplegic legs of patients with stroke[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2018, 25(2):90-95.
- [19] Chan K, Liu C, Chen T, et al. Effects of a single session of whole body vibration on ankle plantar flexion spasticity and gait performance in patients with chronic stroke: a randomized controlled trial[J]. *Clin Rehabil*, 2012, 26(12):1087-1095.
- [20] 金振华, 陈玲, 叶祥明. 全身振动训练对脑卒中患者下肢功能的效果[J]. *中国康复理论与实践*, 2019, 25(3):347-351.
- [21] Lee G. Does whole-body vibration training in the horizontal direction have effects on motor function and balance of chronic stroke survivors? A preliminary study[J]. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27(4):1133-1136.
- [22] Choi ET, Kim YN, Cho WS, et al. The effects of visual control whole body vibration exercise on balance and gait function of stroke patients[J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28(11):3149-3152.
- [23] Lee JS, Kim CY, Kim HD. Short-term effects of whole-body vibration combined with task-related training on upper extremity function, spasticity, and grip strength in subjects with poststroke hemiplegia: a pilot randomized controlled trial[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2016, 95(8):608-617.
- [24] Park YJ, Park SW, Lee HS. Comparison of the effectiveness of whole body vibration in stroke Patients: a meta-analysis[J]. *Biomed Res Int*, 2018, 20(8):5083634-5083650.
- [25] Celletti C, Sinibaldi E, Pierelli F, et al. Focal muscle vibration and progressive modular rebalancing with neurokinetic facilitations in post-stroke recovery of upper limb[J]. *Clin Ter*, 2017, 168(1):33-36.
- [26] Annino G, Alashram A, Alghwiri A, et al. Effect of segmental muscle vibration on upper extremity functional ability poststroke: a randomized controlled trial[J]. *Medicine*, 2019, 98(7):14444-14451.
- [27] Casale R, Damiani C, Maestri R, et al. Localized 100Hz vibration improves function and reduces upper limb spasticity: a double-blind controlled study[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2014, 50(5):495-504.
- [28] Costantino C, Galuppo L, Romiti D. Short-term effect of local muscle vibration treatment versus sham therapy on upper limb in chronic post-stroke patients: a randomized controlled trial[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2017, 53(1):32-40.
- [29] Leplaideur S, Leblong E, Jamal K, et al. Short-term effect of neck muscle vibration on postural disturbances in stroke patients[J]. *Exp Brain Res*, 2016, 234(9):2643 - 2651.
- [30] Schindler I, Kerkhoff G, Karnath HO, et al. Neck muscle vibration induces lasting recovery in spatial neglect[J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2002, 73(4):412-419.
- [31] Johannsen L, Ackermann H, Karnath HO. Lasting amelioration of spatial neglect by treatment with neck muscle vibration even without concurrent training[J]. *J Rehabil Med*, 2003, 35(6):249-253.
- [32] Ceyte H, Beis JM, Simon M, et al. Lasting improvements in left spatial neglect following a protocol combining neck-muscle vibration and voluntary arm movements: a case-study[J]. *Disabil Rehabil*, 2019, 41(12):1475-1483.
- [33] Rosenkranz K, Rothwell JC. Differential effect of muscle vibration on intracortical inhibitory circuits in humans[J]. *J Physiol*, 2003, 551(2):649-660.
- [34] Pitteri M, Arcara G, Passarini L, et al. Is two better than one Limb activation treatment combined with contralesional arm vibration to ameliorate signs of left neglect[J]. *Front Hum Neurosci*, 2013, 7(5):460-466.
- [35] Goodwin GM, McCloskey DI, Matthews PB. Proprioceptive illusions induced by muscle vibration: contribution by muscle spindles to perception? [J]. *Science*, 1972, 175(4028):1382-1384.
- [36] 贾红娥, 许涛, 郭铁成, 等. 局部振动治疗脑卒中后肩—手综合征的疗效观察[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2014, 36(12):939-941.
- [37] Coghill RC, Talbot JD, Evans AC, et al. Distributed processing of pain and vibration by the human brain[J]. *J Neurosci*, 1994, 14(7):4095-4108.
- [38] Zange J, Molitor S, Illbruk A, et al. In the unloaded lower leg, vibration extrudes venous blood out of the calf muscles probably by direct acceleration and without arterial vasodilation[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2014, 114(5):1005-1012.
- [39] 朱昌娥, 余波, 张雯, 等. 肌肉振动治疗配合常规康复对脑卒中后肩—手综合征的临床效果观察[J]. *中国康复医学杂志*, 2017, 32(8):902-906.
- [40] Imtiyaz S, Veqar Z, Shareef MY. To compare the effect of vibration therapy and massage in prevention of delayed onset muscle soreness (DOMS)[J]. *J Clin Diagn Res*, 2014, 8(1):133-136.
- [41] Smilde HA, Vincent JA, Baan GC, et al. Changes in muscle spindle firing in response to length changes of neighboring muscles[J]. *J Neurophysiol*, 2016, 115(6):3146-3155.
- [42] Marin PJ, Ferrero CM, Menendez H, et al. Effects of whole-body vibration on muscle architecture, muscle strength, and balance in stroke patients: a randomized controlled trial[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2013, 92(10):881-888.
- [43] 黄鹏. 不同频率振动刺激对废用性肌萎缩大鼠康复效果及机制研究[D]. 北京:北京体育大学, 2016.