

· 康复工程 ·

振动触觉感觉统合训练在偏瘫治疗中的有效性验证

宋志尚¹ 洪跃镇^{1,2} 季林红^{1,4} 邵 鹏³

摘要

目的:对脑损伤偏瘫患者下肢进行运动训练,并用振动触觉提示方法,验证感觉统合训练对偏瘫患者的有效性。

方法:将研制的康复训练平台应用到偏瘫患者的临床实验中,结合振动触觉反馈方式进行训练,以健侧肢体作为康复标准,对患者进行振动触觉提示。训练前后对患者患侧下肢进行Brunnstrom分期。利用角度传感器测量患者下肢的运动,并在频域上进行处理分析,计算出一种康复指标,同训练后的Brunnstrom分期结果进行对比。

结果:患肢膝关节在健侧提示下的运动频率,相对于患侧振动提示下的更高,患者在健侧振动提示下更能准确地完成运动;健侧振动提示时,患肢的运动频率仍低于理论值,无法非常准确地与感觉刺激提示相配合完成运动;Brunnstrom分期评价与计算出的康复指标有很强的相关性。

结论:健侧的感觉功能较为正常,而患肢感觉及运动功能存在障碍;振动触觉提示方案的康复指标能有效描述患者的运动和感觉功能恢复情况,振动触觉与运动统合训练对偏瘫患者下肢康复有一定效果。

关键词 感觉统合训练;振动触觉;脑损伤;偏瘫

中图分类号:R743.3, R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2017)-08-0928-05

Validity checks of vibrotactile sensor integration training on hemiplegic patients/SONG Zhishang, HONG Yuezhen, JI Linhong, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2017, 32(8): 928—932

Abstract

Objective: To check the validity of sensor integration training on hemiplegic patients during lower-limb motor rehabilitation with vibrotactile feedback

Method: Four patients with traumatic brain injury were trained by a self-designed lower-limb motor training platform, plus vibrotactile feedback. The unaffected extremity was the training target when patients were stimulated by tactile vibration, and patients were measured with Brunnstrom recovery stages both before and after training. Angular sensors were used to measure the movement of knees, and the recorded signals were processed infrequency domain to get a recovery index. These indexes were compared with Brunnstrom recovery stages after training

Result: Motion frequency of affected knee was higher when vibration stimulated on the unaffected side than that on the affected side. When patients were stimulated by vibration on unaffected side, affected knee's motion frequency is lower than normal value. Brunnstrom stages were quite relevant to patients' recovery indexes.

Conclusion: Patients' proprioception on the unaffected side is approximately normal, and proprioception and motion on the affected side have problems. Vibrotactile sensor integration training is valid on hemiplegic patients, and the recovery index is useful to reflect patients' motion and sensory abilities.

Author's address Division of Intelligent and Biomechanical System, State Key Laboratory of Tribology, Tsinghua University, Beijing, 100084

Key word synsor integration training; tactile vibration; traumatic brain injury; hemiplegia

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.08.014

1 清华大学摩擦学国家重点实验室智能与生物机械分室,北京,100084; 2 中国航天员科研训练中心人因工程重点实验室; 3 烟台市烟台山医院康复医学科; 4 通讯作者

作者简介:宋志尚,男,硕士研究生; 收稿日期:2015-12-11

1972年美国 Ayres 发明了感觉统合(synsor integration)的训练方案,对一些神经疾病进行临床指导。感觉统合是指信息通过感受器的采集传到大脑皮质,经过分析处理后对体内外知觉做出的判断。感觉统合将神经系统各部分相互协调,当该体系发生故障时,就出现了感觉统合失调,如运动功能障碍、听觉语言功能障碍、空间知觉功能障碍、前庭平衡力障碍、触觉感知功能障碍等^[1]。感觉统合障碍的患者通过感觉统合训练可以得到纠正和改善,这种训练方法常被用于感觉统合失调儿童的治疗方案中^[2-3]。

脑损伤患者不仅表现为运动功能障碍,大部分患者还伴随着感觉功能障碍,因此针对脑损伤的康复训练不仅提供运动控制,还需要实施包括体觉及触觉等的感觉训练,神经损伤后着重训练患者的前庭平衡觉和本体感觉是一种有效的方法^[4-5]。针对早期中枢神经损伤患者进行康复训练,在运动训练的基础上,增加感觉统合训练,本实验采用振动触觉反馈的方式作为感觉统合训练的手段^[6]。

下肢的运动训练与上肢训练相比,较为复杂,除了大脑皮质参与之外,脊髓神经也起到了很大的作用,CPG 理论解释了脊髓神经在下肢运动康复训练中对大脑皮质的不利影响,常规的节律性运动训练由于脊髓神经的参与导致对大脑皮质的刺激被削减,导致临床效果不明显^[7]。因此将振动触觉提示与下肢运动结合,从运动学角度探求振动提示周期及位置与神经反馈的关系和机制。

而对于患者的运动和感觉功能恢复情况的评估,通常临床评价方案有两种:一是整体运动模式评价,主要以量表打分为主,包括 Bobath 评价法^[8-9]、Brunnstrom 分期^[10-11]、Fugl-Meyer 量表评价法等^[12];另一种是肌力评价,主要是单块肌肉肌力和肌肉协调性的评价,主要以间接测量为主,如肌电信号和肌骨模型等^[13-14]。

本研究在偏瘫患者运动训练中加入感觉统合训练,并在振动触觉提示下建立患者患肢与健肢之间的交互关系,指导脑损伤患者进行康复训练,并用振动触觉提示方案对患侧下肢运动学分析计算,结合量表评价方法,验证感觉统合训练模式在神经损伤康复训练中的效果。

1 资料与方法

1.1 实验对象

2014年12月—2015年6月,在烟台山医院康复科进行了临床试验,选择符合条件的4例脑损伤患者,无视力、理解能力、感觉功能上的障碍,能够正确理解训练内容,准确接受动作指令,见表1。

表1 受试者情况

受试者	病因	性别	主要症状
S1	颅脑损伤	男	右下肢偏瘫,上肢功能良好
S2	左侧丘脑出血	男	右侧肢体麻木无力,无法行走
S3	脑梗死	男	右侧肢体活动不灵,认知轻微受损
S4	桥脑梗死	男	左侧肢体肌力差,无法行走

其中 S1 为黄某,22 岁男性,2015 年 1 月 7 日因脑部受伤丧失意识 2—3h,清醒后右侧上肢和下肢活动不灵,颅脑损伤,病情稳定后遗留右侧肢体偏瘫,右上肢功能恢复良好,右下肢功能差,影响日常生活。

S2 为朱某,51 岁男性,有高血压病史,2015 年 1 月 12 日左侧丘脑出血,导致右侧肢体麻木无力,活动不灵,住院对症支持治疗,遗留右侧肢体麻木、疼痛、无力、活动不灵,无法行走。

S3 为王某,53 岁男性,有癫痫病史,2015 年 1 月 5 日因癫痫发作致脑梗死,右额叶软化灶、右侧基底核区缺血灶,发作性肢体抽搐,经治疗后遗留认知能力轻微受损、右侧肢体活动不灵,生活不能自理。

S4 为姜某,51 岁男性,有高血压、冠心病史,2014 年 12 月 25 日桥脑梗死,右侧大脑的后动脉闭塞,经治疗后遗留左侧肢体活动不灵,左侧肢体肌力差,无行走能力。

1.2 实验方法

受试者进行的下肢康复训练方案及临床处方包括以下四个步骤:

1.2.1 实验前 Brunnstrom 分期:选择合适的受试者,医师诊断受试者的损伤情况,确定其无视力、理解能力、感觉功能上的障碍,并对 4 例患者患侧下肢进行 Brunnstrom 分期。

1.2.2 振动触觉统合运动训练:针对 4 例偏瘫患者的生理特征选择合理的临床治疗处方,采用下肢多位姿康复训练机器人配合振动感知系统^[15],针对不同受试者的情况,确定下肢康复训练机器人参数,如

被动运动训练髌关节电机旋转幅值,测量受试者下肢长度,确定足底电机直线运动行程。实验周期为30d。

第一阶段:患者患肢不能自主运动且伴有感觉功能障碍,健肢与患肢均采取被动训练模式。用C2振动器在健肢踝关节进行振动触觉提示,提示后进行1个周期被动训练,振子振动的频率为250Hz^[16],被动训练时间为5d左右。

第二阶段:患肢仍有运动和感觉功能障碍,健肢较适应感觉训练模式,用健肢带动患肢进行被动训练。健肢踝关节振子振动后,健肢主动运动,患肢被动训练,时间为7d左右(根据患者状态调整)。

第三阶段:患者患肢逐渐恢复感觉能力且有一定的运动功能。健肢进行主动运动,健肢运动过程中,角度传感器检测膝关节角度,当达到阈值时,位于患肢踝关节的振子进行振动触觉提示,患肢开始被动训练,振动提示周期与被动训练周期一致,被动训练时间为10d左右。

第四阶段:当患肢有足够的运动能力时,健肢和患肢同时进行主动训练,健肢运动过程中膝关节角度达到阈值时,振子振动发出指令提示患肢主动运动,形成正常的步态行走模式,训练时间为7d左右。

1.2.3 振动触觉提示运动评价:振动触觉提示患侧下肢运动,用以检验感觉统合康复训练后,患者感觉和运动能力的恢复情况。在实验过程中选择患者患侧下肢为运动侧,在患肢膝关节处安装角度传感器,检测受试者的膝关节运动情况,分别在患侧和健侧上下肢关节附近对受试者实施振动触觉提示。当振动器发出振动提示时受试者膝关节屈曲,当振动器再次发出振动提示时受试者膝关节伸展,如此反复交替循环。规定膝关节屈曲和伸展为一个运动周期(T),在患者实验中采用振动提示周期T为10s(频率f为0.1Hz,此频率f不同于振动频率 f_0 , $f_0=250\text{Hz}$)。

实验后,医师再次对4例患者患侧下肢进行Brunnstrom分期。

振动触觉提示目的在于让患者建立双侧肢体交互的运动模式,打破传统的节律性被动训练,刺激下肢感觉训练,提高对大脑皮质的刺激^[16-19]。

下肢感觉运动训练时,振动触觉提示的位置选定为踝关节附近,一是由于关节周围Pacinian小体

较多,因此选择关节附近作为振动刺激的部位^[20-21];二是踝关节属于身体最远端大关节,参与神经反射弧最长,振动触觉刺激踝关节附近的神经将信息传递到大脑皮质进行加工分析,传导路径较长,有助于支配较大范围的神经参与到康复训练中^[22]。

实验环境保证安静稳定,排除其他感觉刺激方式对实验的影响。受试者穿戴的角度传感器,旋转中心与关节转子保持一致,防止其产生运动干涉,影响受试者运动。

患者训练后,患侧膝节能主动完成屈曲和伸展运动,且完成一次运动周期在10s以内,因此在实验中设定的振动提示频率为0.1Hz,保证患者有能力根据振动提示进行完整动作。

2 结果与讨论

康复医师对患者在进行感觉运动统合训练前后进行的Brunnstrom分期^[12,23],结果见表2。

角度传感器采集并记录患者主动运动过程中膝关节屈曲和伸展的角度,将采集到的时域信号经过巴特沃斯二阶低通滤波后得到了膝关节角度的时域变化情况,图1中蓝色曲线分别显示了患者在振动提示周期为10s下,膝关节主动运动时随时间的变化,红色曲线分别显示了经过快速傅里叶变换后膝关节运动的频域结果。

将4例患者在振动触觉提示下的患肢膝关节角度信号在频域上的特点相比较,得到的结果如图2所示:(a)表示在振动提示分别在患侧下肢和健侧下肢时,受试者患肢膝关节角度的频率特点(理论频率为0.1Hz);(b)表示在振动提示分别在患侧上肢和健侧上肢时,受试者患肢膝关节角度的频率特点(理论频率为0.1Hz)。从柱状图中可以发现无论在上肢还是下肢进行振动触觉提示,健侧提示下患肢膝关节运动频率高于在患侧提示患肢膝关节的运动频率,且更接近理论值,说明患者在健侧振动提示下更能准确地完成运动。在健侧振动时患肢的运动频率仍低于理论值,无法非常准确地与感觉刺激提示相配合完成运动。

患者在健侧下肢进行振动触觉提示时,以患肢膝关节运动频率作为康复目标;在患侧下肢进行振动触觉提示时,患肢膝关节运动频率与该目标作商,

商值A作为康复指标,对感觉功能训练效果进行评价,如公式1所示:

$$A=f_h/f_j \tag{1}$$

其中 f_h 表示在患侧下肢进行振动触觉提示,患肢膝关节运动频率; f_j 患者在健侧下肢进行振动触觉提示,患肢膝关节运动频率; $0\leq A\leq 1$,A值越大表明康复训练的效果越好,患侧在振动触觉提示下运动情况越接近健侧。该种评价方案是基于患者患肢关节有自主运动的能力下,对感觉功能与运动功能之间的协调性进行的检测,而不是单纯对运动功能进行检测^[24],所以评测结果既可以反映出患者的运动功能康复情况,又能反映出感觉功能康复情况。将4例患者的康复效果通过公式1计算,结果同康复医师Brunnstrom分期进行对比,如表3所示,康复指标A同Brunnstrom分期有相关性。

3 结论

针对4例脑损伤患者进行了下肢感觉统合训练康复,并分别采用Brunnstrom分期和振动触觉提示运动评价方案计算结果,对患者训练结果进行了对比评价,得出了以下结论:患者健侧的感觉功能较为

表2 受试者实验前后 Brunnstrom 分期		
受试者	训练前分期	备注
S1	II 阶段	右下肢少量随意运动,痛觉减退
S2	I 阶段	右下肢几乎无运动,凹陷性水肿,感觉略有减退
S3	II 阶段	右下肢少量随意运动,右侧肢体感觉倒错
S4	II 阶段	左下肢髌膝踝共同性屈曲,感觉略有减退
S1	III 阶段	右患肢关节能进行有限范围的自主运动,且时有痉挛现象出现
S2	V 阶段	右患侧下肢关节能自主独立地完成难度较大的动作,能站立但无法独立行走
S3	IV 阶段	右患侧下肢关节单独运动逐渐出现,控制能力加强,无痉挛现象
S4	V 阶段	左患侧下肢关节单独运动明显且在减重情况下能完成较高难度的动作,能够站立和辅助行走

表3 患者评价结果对比表			
受试者	统合训练前	统合训练后	
	Brunnstrom 分期	Brunnstrom 分期	康复指标
S1	II 阶段	III 阶段	0.5593
S2	I 阶段	V 阶段	0.9437
S3	II 阶段	IV 阶段	0.8268
S4	II 阶段	V 阶段	0.9278

图1 患者在振动提示下时域频域实验结果

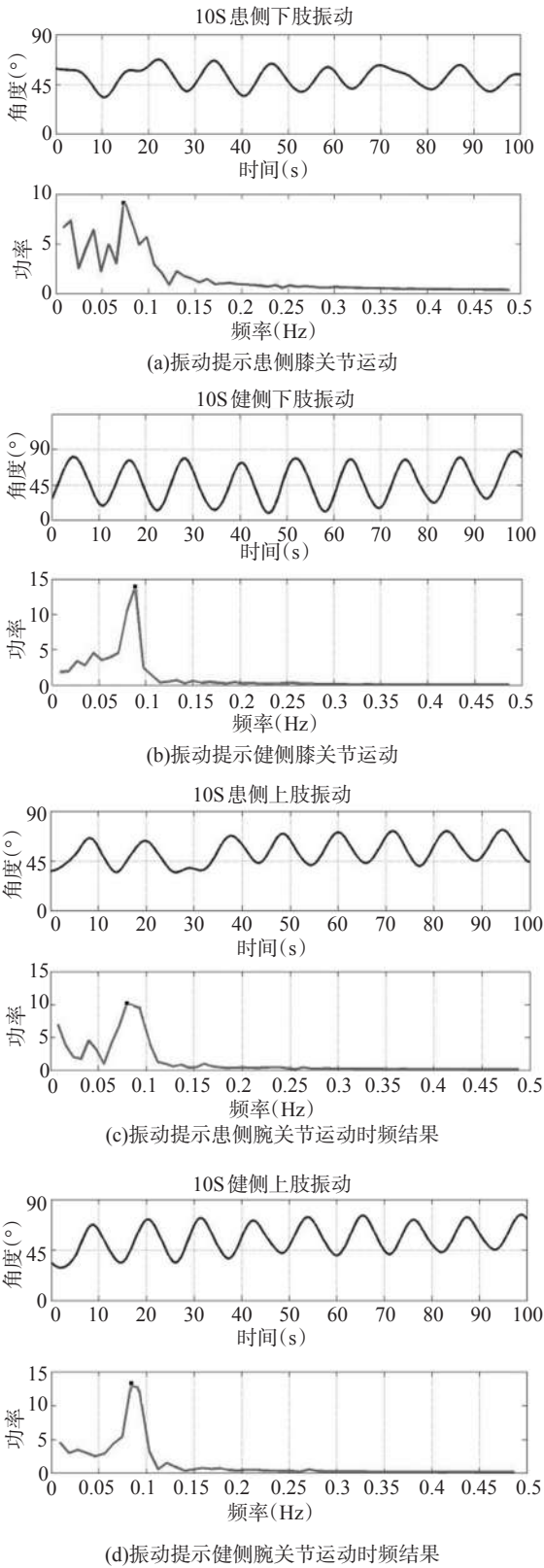
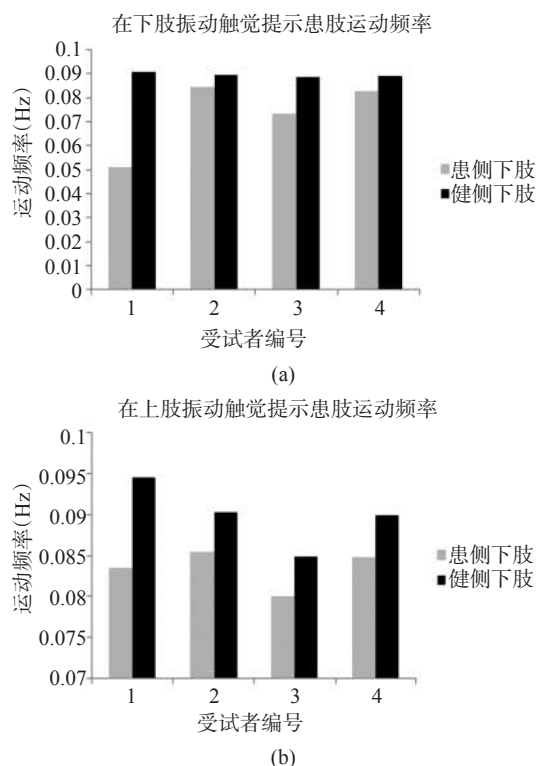


图2 受试者运动在频域上的特点



正常,而患肢感觉及运动功能存在障碍;振动触觉与运动统合训练对偏瘫患者下肢康复有一定效果;振动触觉提示运动评价方案计算得到的康复指标A同Brunnstrom分期有相关性,能有效描述患者的运动和感觉功能恢复情况。

参考文献

- [1] 张旭光,杨霞.感觉统合及临床训练[J].现代康复,1999,(2):80.
- [2] 刘跃琴,王跑球,丁玉莲,等.脑瘫患儿运动训练结合感觉统合训练的效果观察[J].当代护士(专科版),2010,(8):72—73.
- [3] 于艳,王卫平.运动训练联合感觉统合训练对中枢协调障碍患儿智能发育的影响[J].中国医药导报,2013,(02):58—60.
- [4] 刘洪涛.探讨感觉训练对脑卒中患者功能康复的影响[J].中国伤残医学,2014,(10):208—209.
- [5] 方向延,王南,赵建华,等.本体感觉强化训练对脑卒中恢复期患者偏瘫功能的疗效分析[J].现代诊断与治疗,2013,(10):2308—2309.
- [6] 雷呈祥,丁江舟,司高潮,等.振动触觉的研究现状及其应用[J].海军医学杂志,2010,(04):373—375.
- [7] Bosco G, Poppele RE. Proprioception from a spinocerebellar perspective[J]. Physiol Rev, 2001, 81(2):539—568.
- [8] 王文威,王路,李凌晋,等.基于Bobath理念的步行训练在恢复期脑卒中患者中的应用[J].中国康复医学杂志,2012,(12):1124—1128.
- [9] 古泽正道,陈立嘉.针对脑卒中患者的Bobath治疗方法[J].中国康复理论与实践,2011,(09):805—809.
- [10] 黄松波,王茂斌.急性脑卒中偏瘫的康复评价(续一)[J].现代康复,1999,(2):10—12.
- [11] 张通.中国脑卒中康复治疗指南(2011完全版)[J].中国康复理论与实践,2012,(4):301—318.
- [12] 黄松波.急性脑卒中偏瘫的康复评价(续三)[J].现代康复,1999,(4):6—7.
- [13] Lee S, Sankai Y. Power assist control for walking aid with hal-3 based on emg and impedance adjustment around knee joint[C]. Proceedings IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IEEE, 2002, 1499—1504.
- [14] 谢群.机器人辅助上肢康复训练的量化评价方法研究[D].北京:清华大学,2010:16—17.
- [15] Jianfeng S, Yali L, Runze Y, et al. A multiposture locomotor training device with force-field control[J]. Advances in Mechanical Engineering, 2014: 173518.
- [16] Verrillo RT. Age related changes in the sensitivity to vibration[J]. J Gerontol, 1980, 35(2):185—193.
- [17] Shull P, Lurie K, Mihye S, et al. Haptic gait retraining for knee osteoarthritis treatment[C]. Haptics Symposium, IEEE, 2010, 409—416.
- [18] Shull PB, Lurie KL, Cutkosky MR, et al. Training multi-parameter gaits to reduce the knee adduction moment with data-driven models and haptic feedback[J]. J Biomech, 2011, 44(8):1605—1609.
- [19] Wall C 3rd, Kentala E. Effect of displacement, velocity, and combined vibrotactile tilt feedback on postural control of vestibulopathic subjects[J]. J Vestib Res, 2010, 20(1):61—69.
- [20] Johansson RS. Receptive field sensitivity profile of mechanosensitive units innervating the glabrous skin of the human hand[J]. Brain Res, 1976, 104(2):330—334.
- [21] Barghout A, Cha J, El Saddik A, et al. Spatial resolution of vibrotactile perception on the human forearm when exploiting funneling illusion[C]. Haptic Audio visual Environments and Games, IEEE, 2009, 19—23.
- [22] 姚太顺,孟宪杰.踝关节外科[M].北京:中国中医药出版社, 1998.19—21.
- [23] Sui J, Shull P, Ji L. Pilot study of vibration stimulation on neurological rehabilitation[J]. Biomed Mater Eng, 2014, 24(6):2593—2601.
- [24] 陈国庆.提高运动协调能力对儿童感觉统合失调症影响的实验研究[D].大连:辽宁师范大学,2008:23—24.