

功能性电刺激与镜像治疗结合的手功能康复装置的设计*

田 一¹ 张健强¹ 邹艺莹¹ 刘春龙^{1,2}

摘要

目的:设计一款新型的基于功能性电刺激与镜像治疗结合的手功能康复装置,辅助训练弛缓瘫期患者抓握能力,并增强镜像治疗中的视觉反馈。

方法:通过健侧手佩戴传感器手套,检测手功能运动情况,并在显示终端输出同步动作三维手,同时予患手以预设的功能性电刺激处方,刺激手臂部肌肉组织,诱发手部肌肉自主运动以达到康复功能训练,并将患者手部抓握角度信息与电刺激康复运动信息记录于后台数据库中。

结果:设备能按设计要求完成功能性电刺激结合镜像治疗对患者脑卒中后手运动功能的康复训练,实现手指运动角度等数据监测及三维手部模型实时反馈的设计目标,在患者健侧手的运动数据达到程序预设参数时,给予患侧手功能性电刺激。

结论:该上肢康复设备能基本实现预期功能,设计合理,方案可行。

关键词 手功能康复;功能性电刺激;镜像治疗

中图分类号:R743.3, R454.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2019)-07-0813-06

Design of hand function rehabilitation device based on mirror therapy and functional electrical stimulation/TIAN Yi, ZHANG Jianqiang, ZOU Yiyang, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2019, 34(7): 813—818

Abstract

Objective: To enhance the efficacy of mirror therapy, a newly Hand Function Rehabilitation Device Based on Mirror Therapy and functional electrical stimulation (FES) is designed to help function rehabilitation training on grab ability of stroke patients.

Method: The glove with sensors which could detect the healthy hand movements and output 3D hand models synchronically on terminal was used. The device gave a prescribed FES to stimulate the forearm muscle, and the information of the patient's hand movement angle recorded in database at the same time.

Result: Combining mirror therapy and FES, the device can monitor the finger movement angles and real-time feedback of 3D hand models as designed. It can give appropriate FES following the healthy hand angle pre-set.

Conclusion: The device can help in completing hand function rehabilitation training of stroke patients.

Author's address Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou, 510006

Key word hand function rehabilitation; mirror therapy; functional electrical stimulation

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2019.07.012

*基金项目:广州中医药大学青年英才培养工程(QNYC20170108);广东省2017攀登计划(pdjh2017b0116);(015)创新强校工程-(A1-AFD015171P02)大学生创新创业训练计划项目;赛尔网络下一代互联网技术创新项目(NGII20170714)

1 广州中医药大学,广州,510006; 2 通讯作者

作者简介:田一,男,学生; 收稿日期:2017-07-12

功能性电刺激,即利用一定强度的低频脉冲电流,通过预先设定的程序来刺激一组或多组肌肉,诱发肌肉运动或模拟正常的自主运动,以达到改善或恢复被刺激肌肉或肌群功能的目的^[1]。

1999年 Altschuler^[2]发表了关于镜像疗法应用于脑卒中后期患者上肢功能康复的临床研究,至此,镜像疗法应用范围逐步拓展到脑卒中后期的肢体康复治疗已有20多年,是一种基本视觉反馈和心理疗法的运动训练。传统镜像疗法利用镜像装置,将健侧肢体活动的画面复制到患侧肢体,患者通过视觉反馈进行运动观察,模仿以及再学习动作^[3-4]。

针对脑卒中后手屈伸不利,不能抓握等精细动作障碍,本装置将功能性电刺激和镜像治疗相结合,通过健侧手佩戴的传感器手套,记录手部的运动数据,根据健侧手的运动给予患侧手预设好的功能性电刺激(functional electrical stimulation, FES)处

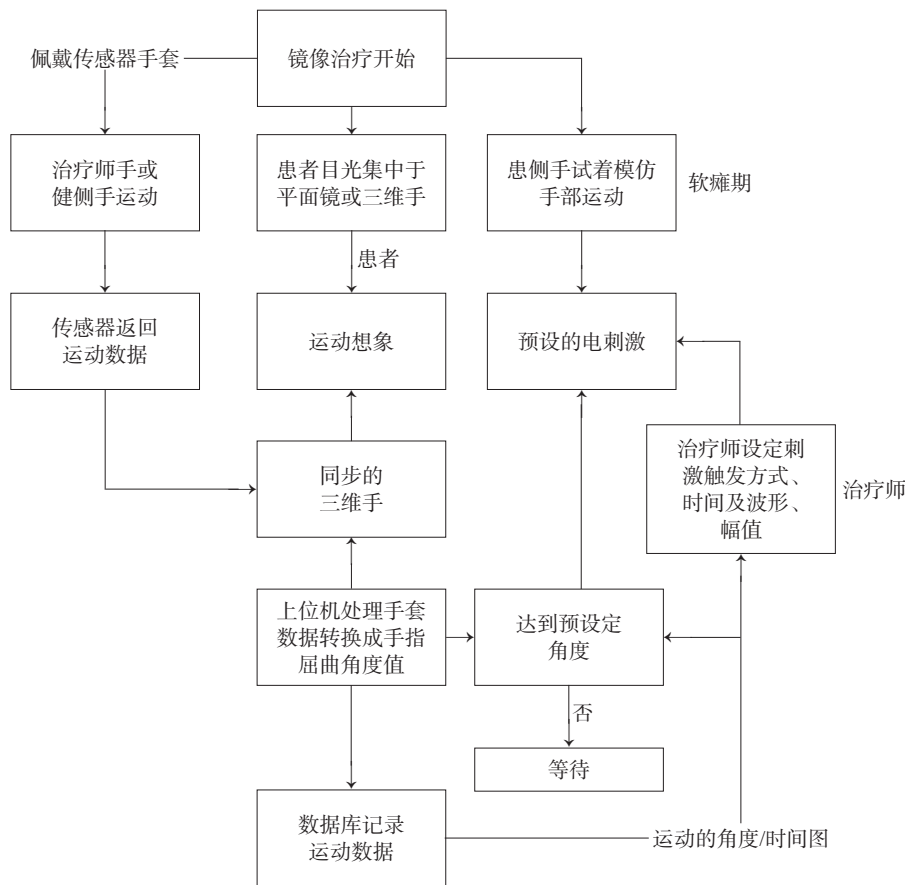
方,如手指集团抓握时手指平均屈曲角度(休息位为0°)每增加10°,即进行一次预设电刺激(幅值时间波形可调),以辅助训练软瘫期患者抓握能力;同时因传感器手套数据的完整采集(五手指实时运动数据),将手部的运动情况同步到患者面前的三维手显示屏上,以增强视觉反馈,此方法将有效提高患侧的上肢运动能力^[5]。通过对患者手部关节运动康复数据进行智能分析处理与存储,从而制定调整个性化康复训练方案,结合康复治疗师的指导建议来共同评估康复训练效果。工作流程见图1。

1 系统结构设计

1.1 整体系统结构

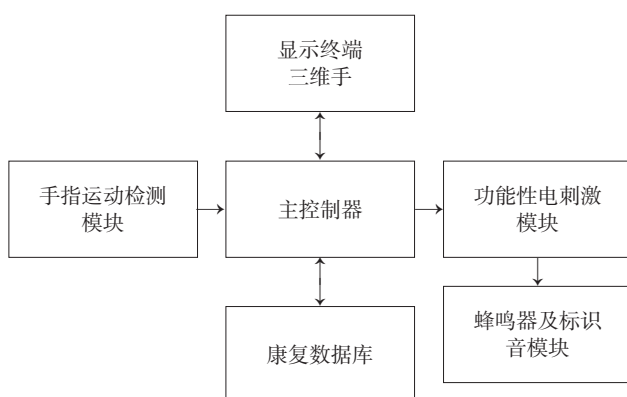
功能性电刺激与镜像治疗结合的手功能康复装置的系统结构主要可分为:抓握角度监测模块,镜像治疗模块与FES模块,康复评价功能模块数据库。

图1 功能性电刺激与镜像治疗结合的手功能康复装置工作流程图(以锻炼手指抓握功能为例)



完整的工作过程:患者健侧手按照治疗师指导进行运动,目光可注视镜子和面前显示器影像;传感器动态监测数据,上位机根据数据实时调整3D模型动态;治疗师提前预设整个治疗过程中的电刺激方式,可修改发生电刺激起止时间和强度等。上位机软件在治疗结束后给出康复运动情况,治疗师结合Fugl-Meyer量表^[6],Purdue普渡手精细运动评定^[7],九孔插板试验^[8]和ROM的测量等评估康复治疗的效果^[9]。整体设计见图2。

图2 功能性电刺激与镜像治疗结合的手功能康复装置的系统结构整体设计框图



本设计采用Spectrasymbol公司的flex传感器,将传感器放置在手套手指长轴位置,能够随着手指的运动,采集手指弯曲角度信息。见图3。

为增强康复手套的数据实时性与准确性,本装置采用PID算法;对于过程控制的典型对象——“一阶滞后+纯滞后”与“二阶滞后+纯滞后”的控制对象,PID控制器是一种最优控制。PID调节规律是连续系统动态品质校正的一种有效方法,参数整定方式简便,结构改变灵活,经过处理的数据返回给显示终端,终端将改变三维手的实时状态,其动作将随着健侧手的移动而移动。

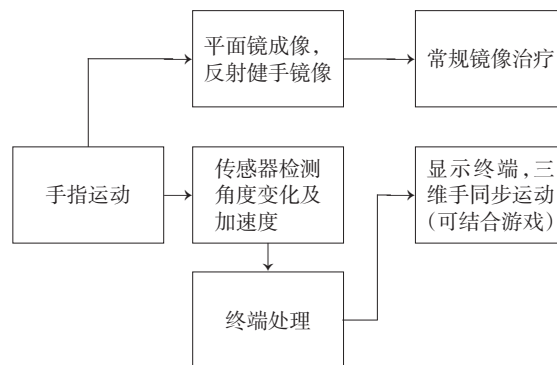
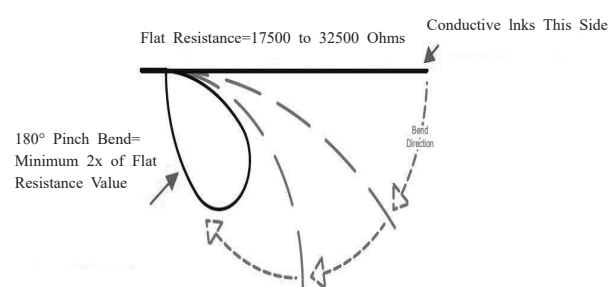
1.3 镜像治疗模块设计

传统镜像治疗进行训练时,一般将镜子放置于患者两手之间的桌面上,镜子大约摆放于受试者的中间矢状面位置,使得一侧上肢在镜子中的影像正好与另一侧上肢重叠^[10]。本设计中平面镜为辅助类装置,患者可选择视角在平面镜成像或在显示终端

端。因本装置能准确实时掌握手指屈曲角度,故可将健手的屈伸运动反馈到患者面前的显示终端上,增强视觉反馈及治疗趣味性。图4为镜像治疗模块的设计思路。

基本康复运动训练方式^[11]:①运动想象:不依赖于患者的残存功能,是一种与患者的主动运动密切相关的康复治疗手段。近年来的研究发现,运动想象不仅可以改善脑卒中患者的运动功能,同时还可以激活患者大脑的运动网络。患者通过观察健侧手指活动在镜中的成像来诱发患侧运动,使双侧肢体源性肌肉进行对称性运动,可同时激活位于双侧大脑半球的相似的神经网络^[12],并减少皮质间抑制^[13],从而改善患肢运动功能。患者健侧手完成康复治疗师指导的训练动作如集团抓握,患侧手保持原有的状态并放松,注视镜子中的健侧手影像及显示屏上的动态三维手,并在脑海中想象着自己的患手也随之活动。已有不少证据表明,镜像训练在提高运动功能方面,显示出较好的疗效^[14]。②被动运动:患者健侧手完成康复治疗师指导的训练动作如集团抓握,患侧手在治疗师帮助下同步被动屈伸活

图3 传感器工作示意图^[20]



动,同时注视镜子里的健手影像及显示屏上的动态三维手。③主动运动:患者健侧手完成康复治疗师指导的训练动作如集团抓握,患侧手努力尝试主动运动且同时模仿镜像中的活动,同时注视镜子里的健侧手影像及显示屏上的动态三维手。④日常生活活动能力训练:为了使得治疗效果能够在生活中得到实际应用,可将训练内容与生活工具相结合,比如,训练用勺子吃饭,结合作业治疗的方法,使得平时训练的内容能充分应用在实际生活中,给予患者重建生活能力的信心。

1.4 功能性电刺激模块设计

功能性电刺激,即通过脉冲型的低频电刺激目标肌肉,以诱导抓握动作。电刺激开始的触发条件及相关幅值作用时间均可更改,预先设定为到达相应抓握角度值即进行相应刺激处方,同时若监测到加速度改变超过设定阈值(如快速抓握),则可添加新处方,处方刺激使弛缓的肌肉运动,达到改善或者恢复被刺激肌肉或肌群功能的目的。

处方刺激:52个预定义处方,针对13个部位,4种处方直接选择,快速便捷治疗。

阈值设置:参照江征^[15]在《肌电触发电刺激疗法对脑卒中患者手功能的影响》中的方法,患者坐位,清洁皮肤。将双通道电极分别置于患肢前臂桡侧腕伸肌和指总伸肌上,先进行肌电测试,寻找肌肉运动点。起始位为腕关节屈伸0°,令患者尽全力主动背伸腕关节时,将仪器上显示的肌电值设定为阈值。每例患者阈值的设定每天进行调整。

刺激参数设置:双相方波;频率35Hz;强度10—50mA,阈值低的患者选择可忍受的最大强度值,阈值高的患者选择腕手指关节完全背伸位强度值;波宽200μs。据患者手部的状态和刺激敏感度设定电刺激训练模式、脉宽、弯曲角度等参数,使其确定最适合患者的刺激方式^[16]。开始治疗时刺激5s休息20s,逐渐过渡到刺激5s休息5s;上升时间2s,下降时间2s,共30次(约30min)。电刺激可采用自动或手动模式。

自定义方案:设计包括12个自定义模块,不论是处方刺激、自由刺激还是反馈刺激,都可以把上次的治疗设置参数以记录存档形式保存下来,方便每次的开机操作使用。

本设备适用于弛缓瘫患者,功能性电刺激处方即为弛缓期患者辅助训练手部抓握能力。肌张力过高或出现痉挛,则不建议在痉挛期间使用设备;若肌张力过低,诱发不出抓握动作,则将根据患者健侧手肌肉关节活动变化的大小给予反馈性的电刺激,以诱发抓握动作。

1.5 功能性电刺激与镜像疗法协同治疗设计

按照医师训练预设安排,在患者进行治疗,健侧手运动到达预定角度时,FES模块启动,给予患肢以一定刺激,在指令动作或预设时间中,进行FES连续的、变化的刺激^[17]。本设备采用AVR单片机作为处理单元,进行对角度改变的信息读取,采样细分度为1024梯度。通过串口进行通讯,传递角度变化给上位机,上位机进行同步3D模型移动,以增强患者本体感觉。见图5。

在常规镜像治疗中,健侧手抓握小物块,初始时手位为自然伸展,此时电刺激为预设低强度(为患者测试阈值强度的1/3波形不变),通过运动控制算法监测手指移动的加速度,于1/3强度累加至2/3,加速度越大,强度增幅越大,抓握牢固保持相对静止时为阈值刺激,放下物体即电刺激后期,刺激方式递减至停止。主要工作方式见图6所示。

1.6 康复评价功能模块数据库

1.6.1 数据库模块:数据记录包括:患者的一般资料,如姓名、性别、年龄、体重、训练日期等^[18];为了让治疗师了解患者训练相关信息(如康复训练完成的质量、患者的康复程度以及默认的康复训练设置,如训练模式、训练强度、训练速度等),同时将这些信息和康复评价的数据(如患者的肌张力、肌电数据等)存储到数据库中。

1.6.2 康复评定模块:一个疗程结束后,将数据库记录的康复治疗过程中的手运动情况及训练完成情况以表格形式反馈给治疗师,治疗师根据相关患者手功能的评估量表,对此疗程的康复训练效果作出评价,对下一阶段的康复计划进行调整。

2 系统测试

根据设备模块化设计,第一套样机已经制作完毕,测试平台为图7所示,通过读取传感器手套的运动数据,控制功能性电刺激的波形与起停,同时在显

图5 FES功能性电刺激与镜像疗法结合设计图

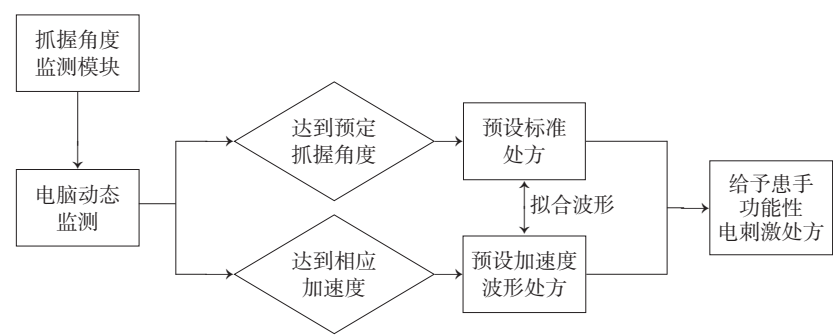


图6 FES功能性电刺激与镜像疗法协同治疗实际应用



示终端同步健侧手镜像动作,数据库根据传感器及相关参数设定在治疗结束后生成相关康复报告,各模块实验及整体实验如下:

2.1 抓握角度监测模块

实验说明:抓握角度监测模块中手套运动测量的数据,为五指同时运动,同时测量多次的平均值。实验过程:①选取30°和150°作为测量基准。②记录50次手套运动测量数据并取平均值,并做误差分析。实验结果分析,由表1可得在手指运动30°的时候,准确率达到90.87%,可以满足运动需求;由表2可得在手指运动150°的时候,准确率达到94.93%,准确率较高。

2.2 镜像治疗模块

实验说明:镜像治疗模块中3D手的运动情况由抓握角度监测模块中的手套运动测量数据构成,两者基本同步,实际测试延迟度低于20ms。

2.3 功能性电刺激模块

实验过程:①测试患者的FES模块阈值。②分

别选取阈值的10%、40%、60%、80%的电刺激,示波器测试波形。③测试波形和预期波形相对照。实验结果:测试得到的波形与预期波形基本一致,说明FES模块基本符合使用要求。

健侧手指屈曲10°,FES模块以设定阈值10%的强度开始工作,上位机实时输出当前手的运动数据和3D手的运动状态,随着手指运动角度增大,电刺激强度随之增大(每10°提高10%),当电刺激强度为阈值的100%(即手指屈曲100°),保持电刺激强度不变,直到手指静止或屈曲超过150°,保持5s电刺激,电刺激周期即停止。示波器监测波形如预期所示。

3 结论

功能性电刺激应用于脑卒中上肢功能,其主要作用是增加关节活动范围,提高肌肉功能,如收缩力、耐力、诱发反射活动等^[19],具体表现为进行手的抓握、伸展、对指、对掌等精细运动。本研究旨在设计一款新型的基于FES与镜像治疗结合的手功能康复装置,辅助训练弛缓期患者抓握能力,并增强镜像治疗中的视觉反馈。通过在镜像治疗中获取健侧手抓握运动数据信息来动态调整功能性电刺激的刺激处方,来诱导弛缓期患手抓握动作并反馈在显示端上。此装置把功能性电刺激疗法和镜像治疗相结合,是一种创新的治疗方法,治疗时患者需要注视着显示终端,进行患手的主动或被动运动,因此更能提高其注意力;也需要患者自己进行运动想象,更有助于提

表1 手指运动30°时抓握角度监测模块的准确率

测量设备	测量次数	平均测试结果(°)	准确率
手套运动测量	50	27.26	90.87%
3D手	50	27.26	90.87%
量角器	50	30.00	—

表2 手指运动150°时抓握角度监测模块的准确率

测量设备	测量次数	平均测试结果(°)	准确率
手套运动测量	50	142.39	94.93%
3D手	50	142.39	94.93%
量角器	50	150.00	—

高患者治疗的积极性;FES还可以产生恢复运动控制的强烈感知觉,建立良好的运动和感觉神经反馈。因此,FES与镜像治疗结合的手功能康复装置在训练弛缓瘫期患者抓握能力方面具有很好的应用前景,今后还可以结合日常生活活动能力训练等目标导向性任务进行训练。

参考文献

- [1] 燕铁斌.神经肌肉电刺激及其在痉挛性瘫痪治疗中的临床应用[J].中国康复理论与实践,2003,9(3):156—157.
- [2] Altschuler EL, Wisdom SB, Stone L, et al. Rehabilitation of hemiparesis after stroke with a mirror[J]. Lancet, 1999, 353(9169):2035—2036.
- [3] Thieme H, Mehrholz J, Pohl M, et al. Mirror therapy for improving motor function after stroke[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2012, (3):8449.
- [4] Pollock A, Farmer SE, Brady MC, et al. Interventions for improving upper limb function after stroke[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2014, (11):10820.
- [5] Kim 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.
- [6] 桑德春,纪树荣.Fugl-Meyer量表在社区脑卒中康复疗效评定中的应用[J].中国康复医学杂志,2007,(3):264—265.
- [7] 张新,吴洪.手外伤康复治疗的成本—效果研究[J].中国康复医学杂志,2009,24(1):33—36.
- [8] Sharpless JW. The nine-hole peg test of finger hander coordination for the hemiplegic patient. In:SharplessJW,ed.Mossman's a problem oriented approach to stroke rehabilitation [M].Springfield, Illinois:Charles C Thomas, 1982.420—423.
- [9] 秦茵,毕胜.脑卒中上肢功能常用评价方法及临床应用[J].中国康复医学杂志,2004,19(3):232—235.
- [10] 丁力.“镜像疗法”作为一种康复治疗技术的新进展[J].中国康复医学杂志,2015,(5):509—510.
- [11] 刘雪枫,柳维林.基于镜像治疗mu rhythm脑电信号变化的研究[J].康复学报,2015,(4):5—7.
- [12] Lacroix S, Havton LA, McKay H, et al. Bilateral cortico-spinal projections arise from each motor cortex in the macaque monkey: a quantitative study[J]. J Comp Neurol, 2004, 473(2):147—161.
- [13] Stinear JW, Byblow WD. Disinhibition in the human motor cortex is enhanced by synchronous upper limb movements[J]. J Physiol, 2002, 543(Pt 1):307—316.
- [14] Lee MM, Cho HY, Song CH. The mirror therapy program enhances upper-limb motor recovery and motor function in acute stroke patients[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2012, 91(8):689—696.
- [15] 江征.肌电触发电刺激疗法对脑卒中患者手功能的影响[J].中国康复理论与实践,2013,(1):60—62.
- [16] 李威,章荣.步态诱发功能性电刺激改善痉挛型双瘫型脑瘫患儿下肢运动功能的疗效观察[J].中国康复医学杂志,2013,12(28):1126—1130.
- [17] 孙丽.MOTomed智能运动训练系统对脑卒中偏瘫患者下肢功能恢复的影响[J].中国康复医学杂志,2011,(10):978—979.
- [18] 唐丹.脑卒中康复数据库系统的研制及应用[J].中国康复医学杂志,1997,(4):163—165.
- [19] 燕铁斌.积极推广神经肌肉电刺激技术在中枢神经损伤中的应用[J].中国康复医学杂志,2007,22(10):865—866.