

# 表面肌电信号在脑卒中患者上肢运动功能康复中的应用\*

李文<sup>1</sup> 赵丽娜<sup>1</sup> 李腾飞<sup>1</sup> 严良文<sup>1,2</sup> 赵翠莲<sup>1</sup>

## 摘要

**目的:**为脑卒中患者提供一种可视、有趣的训练方式,有效地帮助患者恢复上肢运动功能。

**方法:**在建立一套良好的硬软件系统后,借助虚拟现实技术,将患者手臂肌肉的表面肌电信号(sEMG)和运动传感器信号结合起来完成游戏。

**结果:**患者在该游戏中得到了良好的视觉反馈,上肢运动功能康复效果明显,训练积极性增强。

**结论:**使用sEMG信号可以有效帮助脑卒中患者进行康复训练,康复训练过程有趣实用。

**关键词** 脑卒中;表面肌电信号;康复;虚拟现实

**中图分类号:**R743.3,R496 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2013)-02-0163-03

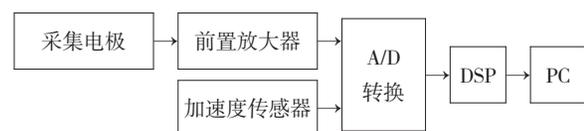
脑卒中已成为影响老年人群生存质量的首要病种。在我国,脑卒中的年发病病例超过150万<sup>[1]</sup>,幸存患者中,有25%丧失劳动能力,15%严重残疾,不同程度地丧失独立生活能力及工作能力,给社会和家庭带来沉重的负担<sup>[2]</sup>。药物或手术的治疗效果并不明显,如果错过最佳的治疗时机,发生并发症的几率很高,对其患者的运动功能、认知和交流能力、生理功能和精神状态都会造成很大伤害<sup>[3]</sup>,选择合适的方式进行康复显得尤为重要。传统的治疗方法有物理治疗、作业治疗、言语治疗、心理治疗等,研究表明对于脑卒中遗留重度手臂瘫痪的患者,计算机辅助手臂训练比传统方法能更好地改善上肢肌力和运动控制能力。计算机辅助的运动功能训练,可以看成是一种游戏而非训练,通过游戏使患者把注意力集中在运动结果而不是运动本身,作为一项有趣任务的主动参与者其动机效应起到有力的促进作用。2008年EBRSR(evidence-based review of stroke rehabilitation)指南推荐在脑卒中后遗症期使用虚拟现实技术(virtual reality)以提高患者运动功能,推荐强度为A<sup>[4]</sup>。表面肌电(surface electromyography, sEMG)是从肌肉表面通过电极引导,记录下来的神经肌肉系统活动时的生物电信号,是一种安全、容易掌握、非侵入性的记录肌电的办法,能使肌肉的能量客观量化。因此,将肌电信号作为一种生物反馈应用于脑卒中患者肢体功能康复训练中十分有效。

## 1 系统的结构与功能

脑卒中患者手臂康复虚拟游戏环境的信号获取包括肌

电采集和角度信号的获取。其中肌电信号的获取包括微肌电信号的采集、前置放大、模数转换与数据处理等,角度信号的获取主要采用加速度传感器来实现。其硬件结构如图1所示。

图1 硬件结构图



肌电信号采集采用三片Ag-AgCl电极片作为肌电信号采集电极,其中两片贴于被测肌肉的肌腹上,另外一片作为参考电极,电极片通过导线与前置微弱信号放大器的差分输入端和参考地相连接,经过放大器放大后的信号经过A/D转换后由DSP(digital signal processing)处理,DSP按程序处理后,将结果传送至电脑。加速度传感器选用三轴加速度传感器,它可以用来检测物件运动和方向,根据物体运动和方向改变输出信号的电压值,本系统中仅使用一个轴的输出值即可,将加速度传感器固定在手臂,手臂旋转时带动传感器芯片转动,芯片则输出对应的模拟量电压值,经过AD转换后,模拟信号变为数字信号,同样由DSP按照比例关系计算出对应的角度并将结果传输至PC作为游戏中的射击角度。

实验前先将两片电极片贴于对应的肌肉肌腹处,这里根据实验需要采集握拳抓取动作中的相关肌肉信号,因此贴于桡侧腕屈肌处,另外一片布置在手腕上的靠近骨骼的表皮

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2013.02.016

\*基金项目:上海市重点学科建设项目资助(Y0102);上海市科委重点科技攻关项目(10441900800)

1 上海大学机电工程与自动化学院,上海市机械自动化及机器人重点实验室,上海,200072;2 通讯作者

作者简介:李文,男,硕士;收稿日期:2011-11-09

处,贴之前通过打磨去除皮肤角质层并用酒精擦拭处理皮肤,电极顺着肌肉纤维的方向布置,间距为20mm,构成双电极模式。20mm的选取是因为前臂的肌肉太多,若两电极相隔太远,其余肌肉的MUAPT(motor unit action potential trains)会较大地影响该路信号,信号的参数模型就变得复杂;若相隔太近,两路信号太相似,共模抑制比的信号弱,不利于动作信号的识别。根据前人经验和实际采集效果,两电极间距为20mm时信号的效果较好<sup>[5]</sup>。将采集电极与放大器的差分输入端相连接的电缆最好采用屏蔽电缆,因为差分输入方式有着更好的抗干扰性,放大器的参数设置如下,放大倍数为1k滤波通过范围10—350Hz<sup>[6]</sup>。

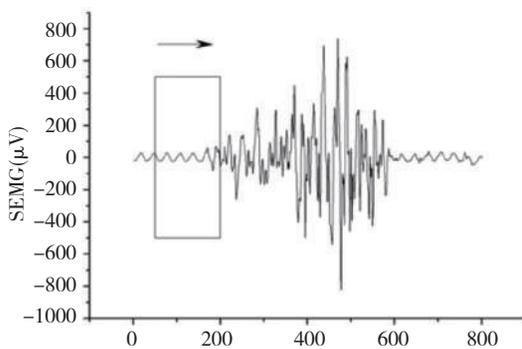
## 2 肌电信号的数据处理方法

在对连续动作的肌电信号进行离线处理时,通常是先凭观察一个个分割出每个动作,然后提取各动作的相应特征进行处理,这样不仅实际工作量庞大,而且在这种实时互动的游戏中无法靠肉眼观察来完成,在这里使用滑动矩形窗对连续信号进行滑动分析。

如图2所示,从能量的角度来分析,根据一个短时间窗内的肌电信号能量总和W的大小来判断是肌肉是处于动作状态还是放松状态,实现自动实时分割各个动作<sup>[7]</sup>,即使用移动窗提取一小段时间内的肌电信号数据,并对其进行平方积分得到该时刻的窗内信号能量:

$$w = \int_t^{t+\Delta t} x(t)^2 dx$$

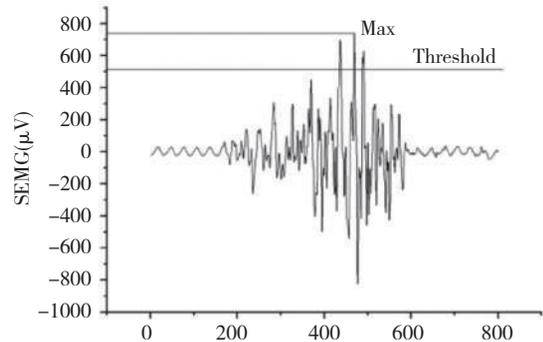
图2 信号滑动矩形窗处理图



根据时间窗内的能量变化来判断肌肉的状态,时间窗的宽度选择要合适,太窄会导致能量值太小,过于敏感而引起误判断,如果太宽会造成判断延时较多,实验中,我们窗宽度设置为0.1s,即150点的能量信号,以某位患者为例:当其窗内能量信号值超过了2500,认为动作开始,该点为动作的起点,动作开始之后,当能量信号值低于32000,认为动作结束,该点为动作终止点。

在1.5k采样率下一个动作周期内的原始肌电信号,从图

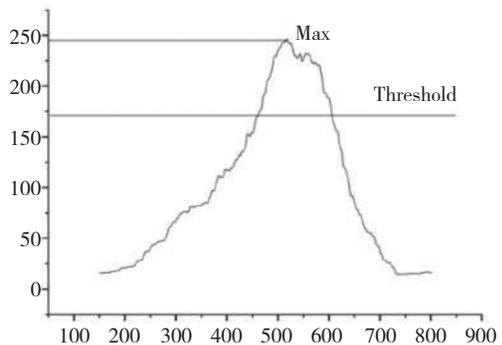
图3 原始信号阈值处理



3中可以看出,如果直接使用原始序列信号,并设置一个阈值,当信号幅值大于该阈值时,作为游戏中的一次触发射击,这样在一个动作周期内存在多次超过阈值的情况,也就是说在游戏时,即使手部只做了一次动作,却在游戏中产生多次发射。为了消除这种影响,对原始信号进行绝对值滑动平均处理,这样处理过的信号相比之前的信号更为平滑。

对于每一位新的训练者,先采集一个动作周期的肌电信号,经过绝对值滑动平均处理后,如图4,找出该段信号的最大值(Max),选择Max的70%作为触发阈值,在接下来的训练中,每个动作周期内,一旦处理后的值超过阈值,游戏中便发射一次子弹。游戏的时间和难度根据患者的不同情况来调整。

图4 绝对值滑动平均处理后的信号图



## 3 虚拟环境的建立与实验

如图5所示,在VC++环境下建立了一个手臂康复训练的人际交互虚拟系统,结合表面肌电信号与计算机虚拟现实技术对患者进行康复训练,其作用结果以视觉的形式反馈给操作者,并在训练过程中为患者提供暗示和帮助,训练通过建立在虚拟平台上的飞机射击游戏来完成,游戏中患者通过旋转手臂来调节射击角度,利用握拳抓取动作的相关肌肉产生肌电信号作为射击的触发源,即肌电信号的某个特征达到一定值时,游戏射击一次。这样通过手部旋转和抓取动作复合

图5 游戏示意图



训练来改善患者的肌力、灵活性、运动协调能力等,恢复相关基本功能。

建成的系统针对不同程度的10位患者进行了测试,实验表明对于肌力级别处于三级及以上的患者均能良好的操纵游戏,对于三级以下的患者,有些患者由于肌肉功能损伤,其肌电信号并无法顺利超过阈值,或者有些患者肌肉处于不自主的痉挛状态,肌电信号幅值一直处于紊乱状态,也无法完成游戏。虽然肌电信号只是在游戏中表现了一种效果,却能客观反映患者肌肉情况。和传统的康复治疗相比,不仅完成了康复动作的训练,而且充满趣味,患者也不再把这当作乏味的治疗而抵触治疗,而是当作游戏娱乐。经过一段时间的训练后,患者的手臂力度、运动协调性、灵活性均有所提高。

#### 4 结论

基于表面肌电信号的脑卒中患者上肢运动功能康复虚拟游戏具有趣味性和易操作性的特点。试验结果证明,患者对系统认同性高,康复效果明显。该系统除了具有实时的游戏功能外,还可以记录并保存每个训练动作中患者的原始肌电信号,供医生通过时域或者频域等方法进行进一步的诊断分析。

#### 参考文献

- [1] 周士枋.脑卒中后大脑可塑性研究及康复进展[J].中华物理医学与康复杂志,2002,24:437—439.
- [2] 曾艳芳,崔宏力,王洪芳.肌电生物反馈对脑梗死偏瘫早期康复的临床疗效观察[J].临床荟萃,2007,22:792.
- [3] 胡晓刚,王人成,贾晓红,等.表面肌电信号生物反馈治疗系统的研究[J].康复医学工程,2009,24(3):252.
- [4] 姚滔涛,王宁华,陈卓铭.脑卒中运动功能训练的循证医学研究[J].中国康复医学杂志,2010,25(6):35.
- [5] 邱青菊.表面肌电信号的特征提取与模式分类研究[D].上海,上海交通大学,2009:28.
- [6] 王健.表面肌电信号分析及其应用研究[J].中国体育科技,2000,36:8.
- [7] 雷敏,王志中.一种用于实时提取动作信号的新方法[J].中国医疗器械杂志,2000,24(4):200—202.

(上接第156页)

- 能力及家庭关系的影响[J].中国行为医学科学,2005,14(6):516—517.
- [2] 康海华,马莉.认知功能训练对老年性痴呆病人康复的影响[J].中国护理管理,2008,8(9):33—34.
- [3] 黄河浪,刘杰,鲁琴宝,等.城乡养老机构轻—中型老年性痴呆综合干预效果观察[J].中国老年学杂志,2008,28(14):1407—1409.
- [4] 张雪艳,李翔,王玉波,等.运动训练干预卧床不起痴呆患者的临床研究[J].中国康复医学杂志,2011,26(7):630—633.
- [5] 张春天,徐波,杨毅飞.游泳训练对大鼠空间学习记忆能力及海马、纹状体内c-fos、c-jun Mma表达的影响[J].中国康复医学杂志,2008,23(8):724—728.
- [6] Aman E.Thomas DR. Supervised exercise in reduce agitation in severely cognitively impaired persons[J]. J Am Med Dir Assoc, 2009, 10(4):271—276.
- [7] 樊振勇,陈丽娜,徐林峰,等.康复训练对血管性痴呆大鼠学习记忆能力及海马区神经细胞黏附因子表达的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2009,31(6):361—365.

- [8] Briones TL,Suh E,Jozda L,et al. Behaviorally induced synaptogenesis and dendritic in the hippocampal region following transient global cerebral ischemia are accompanied by improvement in spatial learning[J]. Exp Neurol,2006,198:530—538.
- [9] 刘敏,郁英,陈兴旺,等.老年轻度认知功能障碍的神经心理学研究及康复训练的疗效观察[J].中国老年医学杂志,2009,29(7):872—874.
- [10] 胡日光,孙培军,刘贤秀,等.康复训练改善血管性痴呆患者智能及生活能力的临床研究[J].中华全科医师杂志,2010,9(2):126—127.
- [11] 陈小江,林志雄,徐蕊,等.心理和行为干预对脑卒中后痴呆患者认知功能障碍及肢体偏瘫康复的影响[J].广东医学2006,27(5):723—724.