

用便携式腕环基于功能电刺激 FES 进行神经肌肉康复的工作原理与方法

郑人杰 蓝颖娟

(广州体育学院 510500)

摘要: 本文分析了功能电刺激 FES 面临的技术问题, 结合功能电刺激 FES 的系统功能及实现目标的介绍, 我们提出了 FES 的工作实现理论与实现方法, 发现运用功能电刺激 FES 能更有效地改善肌肉疲劳或损伤的护理功能, 增强患者自理能力, 提高临床治疗效率。

关键词: 功能电刺激 FES; 神经肌肉刺激; 工作原理; 方法

一、前言

用功能电刺激 (Functional Electrical Stimulation, FES) 这一方法可以预防和治疗肌肉萎缩和脊髓损伤引起的功能丧失, 同时可以为普通患者提供简单的治疗和康复手段, 减轻家庭和社会的负担, 现在研究表明, 精确控制肢体运动可以显著改善肌肉恢复效果, 同时有助于患者神经系统的恢复。结合 FES 的工作机理, 采用神经网络控制技术, 实现高精度的 FES 运动控制。本文将研究功能电刺激 (以下简称 FES) 的技术问题以及工作方法。

二、功能电刺激 FES 面临的技术问题

关于 FES 系统开放性强、智能化高, 但 FES 技术也存在着一一定的问题, 研究这些问题并加以解决, 对于提高病患的康复水平有重要意义。

1. 功能电刺激 FES 的传感器限制问题

传感器用于反馈被控制系统的状态特性, 并确定控制精度。现有的传感器主要分为两类: 一类用于测量肢体运动的传感器 (角度、速度、位移等): 这些传感器通常反映肌肉群的宏观状态特征, 不能记录单个肌肉的状态, 不利于肌肉运动的精确控制; 第二, 测量生物信息 (肌肉疲劳特征、神经状态信息等) 的传感器: 这类传感器可以记录一些神经或者肌肉的状态信息, 但应用操作技术要求难度较高, 技术不成熟, 而且价格昂贵, 难以短时间内大量推广。设计成本相对较低廉, 精度相对较高并且应用操作相对简单的传感器非常必要。

2. 功能电刺激 FES 的系统模型问题

人体各部分模型非常复杂, 其特点就是高度的非线性和时变性, 建立一个准确的模型是实现精确控制的关键环节。所以精确的 FES 肌肉运动模型问题是限制 FES 技术发展的一个重要瓶颈; 本研究工作的重点在于开发一套便携式 FES 系统, 用于对中风或神经损伤患者肢体和手部进行辅助康复训练, 同时结合该系统研究相应的控制方法。

三、功能电刺激 FES 工作的实现

FES 系统由以下几部分组成: 刺激电路, 电极以及传感器。当 FES 用于协助肢体肌肉运动的时候, 通常是通过低电流刺激使肌肉产生收缩。刺激电路用来控制产生电流的强度和电流刺激的时间。电极是与肌肉连接的导电介质。传感器传导相关指令, 进行护理模式的加强与减弱, 进行加热与否, 进行相关模式的切换等, 从而为刺激电路反馈肌肉状态提供明确的信息, 如下图所示。



刺激电路输出电流通过微控制器组成主电路调节。大多数控制器的设计是基于离散时间肌肉模型。然而在实际运动中, 肌肉特性

非常复杂, 其实际运动特征无法用模型精确描述, 实现肌肉的高精度控制比较困难。所以, 多种控制策略被用于 FES 控制以提高对肌肉响应速度。

1. FES 的工作实现理论

电极可以通过皮肤表皮刺激也可以直接植入人体, 微电流通过介质传导到皮肤或者皮下的刺激电极。皮肤表皮刺激的电极利用可伸缩性材料 (橡胶) 制作。但是也有不足: 第一, 电极位于皮肤表面被皮肤和皮下脂肪阻隔, 不能直接刺激肌肉和神经; 第二, 不能控制单块肌肉的收缩, 只能促使一组肌肉群产生收缩; 第三, 每次使用电极在皮肤的刺激位置不同, 肌肉运动的状态也不同; 第四, 皮肤长时间处于刺激状态可能会使皮肤烧灼, 因此, 当患者瘫痪部分存在知觉时, 可能存在疼痛或者不适应感觉。

事实上, 在近年的 FES 临床应用中, 一些患者已经通过表面电极的 FES 方法, 部分或全部地恢复了肢体功能, 没有必要为普通病人安装昂贵的植入式系统。传感器用来测量肌肉状态或者环境特征, 将参数反馈给控制电路。针对肢体运动特点, 现有传感器主要采用测量运动状态的传感器, 比如: 加速度计 (测量运动加速度), 角度测量仪 (测量运动角度) 等等。

2. FES 的实现方法

要刺激肌肉运动, 需要 FES 提供持续的、高强度的能量, 但是肌肉在外部电刺激条件下比自然条件时中枢神经兴奋刺激肌肉运动更容易产生疲劳。所以, FES 恢复肌肉功能必须充分考虑到缓解肌肉疲劳问题。

很多技术可以用来缓解这种肌肉疲劳问题。比如: 第一, 在利用 FES 进行功能恢复训练前期, 患者通常会在数月内受到有规律的电刺激训练, 这是逐渐调整肌肉适应过程; 第二, 神经周围植入电极, 或采用特殊的 FES 刺激波形。尽管如此, 在 FES 的应用过程中仍然不能避免肌肉疲劳。

七、结语

综上所述, 进行研究与治疗, 我们发现运用功能电刺激 FES 能更有效地改善肌肉疲劳或损伤的护理功能, 增强患者自理能力, 提高临床治疗效率。但是, 这项研究仍然存在许多缺点。由于条件多样, 样本量小, 观察指标简单, 缺乏循证医学实践的大量研究中心, 这将是进一步研究和讨论的方向。

参考文献:

- [1]张峰.坐卧式下肢康复机器人主被动训练控制方法研究[D].中国科学院大学;中国科学院研究生院,2012.
- [2]郑芳芳.功能性电刺激对脑卒中患者上肢运动功能恢复的fMRI 对照研究[D].广东:中山大学,2008.
- [3]何志承,杨万章,向云,等.SDF-1/CXCR4轴介导低频电刺激改善脑梗死大鼠神经功能障碍的机制研究[C].//广东省医学会.第五届粤港澳物理医学与康复学学术会议暨 2014 年广东省医学会物理医学与康复学学术会议论文集.2014:356-357.
- [4]毕正扬.基于肌电桥的下肢运动功能重建实验仪器研究[D].江苏:东南大学,2016.

基金项目: 2020 年广东省科技创新战略“攀登计划”专项资金 (pdjh2020b0320)