Journal of KIIT. Vol. 17, No. 10, pp. 85-92, Oct. 31, 2019. pISSN 1598-8619, eISSN 2093-7571
http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2019.17.10.85

Adaptive Electrical Muscle Stimulation(EMS) 치료기에 관한 연구

김백기*, 이귀선**, 김진혁***

A Study on the Adaptive Electrical Muscle Stimulation(EMS) Treatment System

Kim Baek Ki*, Lee Gui Sun**, and Kim Jin Hyeok***

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2019년도 산학연협력기술개발사업(No.C0541782)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

요 약

본 논문에서는 전기적 신호를 이용하여 인위적으로 근육의 수축을 유도하는 Electrical muscle stimulation (EMS)를 이용하여 근감소증을 치료하기 위한 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 사용자의 신체조건에 맞는 운동점을 찾아서 최적의 설정을 하고 운동을 할 수 있다. 기존의 시스템은 주로 병원에서 전문가의 처방에 의해 사용할 수 있었으나, 본 논문에서 제안한 시스템은 사용자 스스로가 정확한 근육운동점을 찾는 것을 가능하게 하여 전문가의 도움 없이도 사용가능하게 한 것이 가장 큰 특징이다. 또한 제안한 시스템은 휴대가 가능하며, 무선방식을 채택하여 사용자의 편의를 극대화 하였다. 향후 근감소증 환자뿐만이 아니라 운동선수나 일반인의 트레이닝 도구로 사용하는 것이 가능하다.

Abstract

In this paper, a system for treating muscular dystrophy was proposed using Electrical Muscle Stimulation(EMS), which artificially induced contraction of muscles through electrical signals. The proposed system can find exercise points that meet the user's physical conditions, make optimal settings and exercise. The existing system could be used mainly by the prescribing of specialists in hospitals, but the system proposed in this paper is the most characteristic feature of making it possible for the user himself to find the correct points of muscle movement, making it available without the assistance of a professional. In addition, the proposed system was portable and wireless was adopted to maximize user convenience. In the future, it is possible to use it as a training tool for athletes and the public as well as for patients with muscular dystrophy.

Keywords
EMS, adaptive, potable, wireless

* 강릉원주대학교 정보통신공학과 교수(교신저자)
- ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0483-3777
** ㈜휴보닉 대표이사
- ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9897-7551
*** ㈜휴보닉 기업부설연구소 소장
- ORCID: http://orcid.org/0000-0002-8699-3319

· Received: Aug. 30, 2019, Revised: Oct. 14, 2019, Accepted: Oct. 17, 2019
· Corresponding Author: Kim Baek Ki
Gangneung-Wonju National University, 150, Namwon-ro, Heungeop-myeon, Wonju-si, Gangwon-do, Korea. 220-711
Tel.: +82-33-760-8802, Email: bkkim@gwnu.ac.kr

Ⅰ. 서 론

전기 신호를 이용해 인위적으로 근육수축을 유도하는 운동인 EMS(Electrical Muscular Stimulation) 트레이닝은 1960년대 무중력 환경에서 생활해야 하는 우주 비행사들의 근력을 강화하한 프로젝트에서 시작되었다. 중력이 낮은 우주에서 제대로 된 운동을 할 수 없었던 우주비행사들은 인체에 무해한 전기신호를 이용해 단시간 운동하고 장시간 운동효과를 낼 수 있는 EMS를 이용하였다. 이후로 각 분야의 스포츠 선수들에게도 널리 알려져서 이용되고 있다. 또한 EMS 기구는 뇌졸중 환자의 치료 목적으로도 사용되었다. 이후 운동선수들의 효과적인 부상치료법으로 사용되었다. 같은 시간동안 운동을 하더라도 EMS 트레이닝을 활용하면 운동효과가 증폭되므로, 최근 일부 피트니스센터를 중심으로 일반인에게로의 보급이 확대되고 있다. EMS 트레이닝은 빠른 시간동안 근력을 강화하고자 하는 현대인뿐만 아니라, 재활훈련이 필요한 환자들에게도 유용한 치료수단이 될 수 있다. 운동만을 수행한 재활치료보다 EMS를 병행했을 경우 근력 감소와 근위축을 방지함은 물론 근섬유의 크기가 증가됨이 보고된 바 있다. 즉, EMS 트레이닝은 근감소증(골격을 감싸는 근육인 골격근이 줄어드는 증상)을 비롯해서 근력강화 및 근육량 유지가 필요한 대상자라면 모두 적용할 수 있다[1][2].

근감소증은 각종 신체기능의 감소 및 장애를 일으키고 사망의 위험성도 증가되는 것으로 알려져 있다. 미국에서 뉴멕시코 지역의 노인들에게 DEXA를 이용한 체내 근육량 측정 결과 골격근육량이 연령의 증가에 따라 일직선으로 감소하는 관계임이 증명되었으며, 미네소타지역에 거주하는 청장년층을 포함한 대규모 연구에서도 같은 결과를 보였다.

근감소증은 신체장애뿐만 아니라 사망률과도 밀접한 연관이 있는데 하지근력이 약한 사람들을 6년까지 추적 관찰한 결과 사망의 위험을 현저히 증가시켰다. 무릎인대 수술한 환자들을 대상으로 한 연구에서 EMS그룹이 더 적은 근육위축을 보였고, 근력도 양호했다. 전 십자인대 재건술을 받은 환자들의 경우에도 EMS그룹에서 더 근력이 향상되었다. 운동만 했을 경우보다 EMS을 병행했을 경우에 근력감소와 근위축을 방지함은 물론 typeⅡ 근섬유의 크기가 증가하였다. 무릎 수술뿐만 아니라 중풍 등 각종 질환으로 거동이 어려워서 운동이 제한되어 있는 경우에 근위축을 방지하고 근력을 유지하기 위해 EMS를 적용하면 효과적인 것으로 알려져 있다[3][4].

최근 크로스핏이나 필라테스 등의 고강도 운동이 젊은 층을 대상으로 폭발적인 호응을 얻고 있는데 숙련이 되었더라도 고강도 운동 뒤에는 근피로가 발생하게 된다. EMS를 이용한 운동선수들의 근피로 회복에 대한 연구결과에 따르면, 수동적 회복군, 능동적 회복군, EMS를 이용한 회복군 3가지 그룹으로 나누고, 혈중 젖산농도(Blood lactate levels), 속도, 운동선수들의 주관적 만족도를 기준으로 회복의 정도를 판단하였다. 그 결과 EMS를 활용한 선수들에서 혈중 젖산농도가 유의성 있게 감소하였다. 전기자극을 통해서 혈액순환을 증가시키고 젖산의 농도를 낮추는 원리를 이용한 것인데, 새로 유입된 혈액에는 글리코겐이 풍부해서 지친 근육에 더 효과적으로 저장된다. active recovery에 비해 심장에 부담을 주지 않고 피로감 없이 회복할 수 있는 것이 장점이다[5][6].

근감소증은 각종 신체기능의 감소 및 장애를 일으키고 사망의 위험성도 증가되는 것으로 알려져 있다. 국민건강보험공단의 자료에 의하면 근 골격계 질환의 총 진료비는 연평균 6%의 증가세를 보이고 있다. 해외의 경우에도 유사한 연구가 보고되고 있다. 미국에서도 근감소증으로 인해 현실적으로 지출되는 사회적 비용이 지속적으로 증가하고 있으며, 근감소에 따라 유병률 증가하고 있다. 근감소증으로 인한 유병률은 70세 미만에서는 25%, 80세 이상에서 남자 50%, 여자 40%로 보고되었다. 근감소증은 각종 신체기능의 감소 및 장애를 일으키고 사망의 위험성도 증가시키는 것으로 나타났다. 대개 30세 전후부터 시작되며 60세 20%, 80세 50%의 근육이 소실된다. 노인에게 나타나는 각종 신체장애의 주요 원인은 노화로 인한 근감소증인 것으로 보고되었다. 근육이 줄어드는 속도는 규칙적인 운동으로 늦출 수 있지만, 노년기에 하는 운동은 젊은 시기에 하는

것보다 효과가 떨어진다. 노년기에는 이미 근육이 약해져서 할 수 있는 운동 종류나 운동량에 제한이 생기기 때문이다. 전문가들은 상대적으로 근육량이 많은 중장년 시기에 미리 근육을 키워야 한다고 조언한다. 실제로 국민건강영양조사 자료를 분석한 결과를 보면 근감소증이 심할수록 당뇨병에 걸리거나 질환이 악화될 확률이 높았다. 근감소증은 심혈관질환 위험도 높이는 것으로 나타났다. 같은 음식을 먹어도 근육이 없는 사람은 신진대사를 통해 소비하는 칼로리량이 적고 섭취한 칼로리가 제대로 소비되지 못하면 지방으로 쌓여 체지방량이 늘어나게 된다. 이렇게 근육량은 줄고 체지방량은 늘면 인슐린 저항성·총 콜레스테롤·중성지방·저밀도 지질단백질콜레스테롤(LDL)이 높아지고 모두 심혈관질환 위험을 높이는 요소들이 된다. 한편 근육이 줄면 뼈나 관절에도 무리가 가게 되는데 근육이 몸의 뼈·관절이 서로 부딪히지 않도록 버텨주는 역할을 하기 때문이다. 근육량이 감소할수록 척추 디스크·관절염 위험이 커지게 된다. 노인에게 낙상(落傷) 사고가 유독 흔한 이유도 근감소증과 관련 있다[7][8].

II. Adaptive EMS 치료기

2.1 EMS 치료기

EMS 트레이닝은 빠른 시간동안 근력을 강화하고자 하는 현대인 뿐만 아니라, 재활훈련이 필요한 환자들에게도 유용한 치료 수단이 될 수 있다. 기존의 연구에서 운동만을 수행한 재활치료보다 EMS를 병행했을 경우 근력 감소와 근위축을 방지함은 물론 근섬유의 크기가 증가됨이 보고된 바 있다. 즉, EMS 트레이닝은 근감소증을 비롯해서 근력강화 및 근육량 유지가 필요한 대상자라면 모두 적용할수 있다.

일반적인 근수축은 type Ⅰ근섬유를 지배하는 작은 운동뉴런을 먼저 자극시킨 후에 typeⅡ 근섬유를 지배하는 큰 운동뉴런을 자극시키게 된다. 전기자극은 운동종판에 있는 신경섬유를 활성화시키고, 외부에서 흘러들어오는 전류는 저항이 작은 경로를 통해서 먼저 들어오게 되는데, 직경이 큰 운동섬유가 저항이 더 작기 때문에 큰 근섬유인 typeⅡ근섬유를 먼저 활성화시키게 된다. 같은 강도로 수축하더라도 EMS는 속근(Largest fast twitch motor unit)을 자극하는데 더 효과적이다. type Ⅰ근섬유는 수축하는데 걸리는 시간이 길고 파워가 약한 반면에, 근 피로를 견디는 능력이 뛰어나고 오래 사용할 수 있다[9].

EMS 트레이닝에는 사용자의 근육에 전기자극을 가하는 자극 장치가 사용된다. 다양한 형태의 자극 장치가 이용되고 있다. 많이 사용되는 타입의 장치는 전극 어레이를 가진 전극 시스템으로 근육 조직에 전기적 자극을 가하는 장치로 구성된다. 이 장치는 하나 이상의 자극 패드들로 이루어진 전극 선택기를 포함하고 있다. 전극 장치가 사용자의 피부에 위치된 후, 각각의 자극 패드들과 피부 사이의 임피던스가 측정되고, 측정 임피던스에 기초하여 하나 이상의 자극 패드들이 선택된다.

또 다른 형태의 자극 장치는 전기근육자극 트레이닝 시스템 및 방법과 이를 실행하기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터 판독가능 기록매체를 포함하고 있다. 이 EMS 트레이닝 시스템은 EMS 기술이 적용된 운동복을 착용한 사용자가 자신의 성별, 연력, 신체조건이나 현재 실시하고 있는 운동에 따라 전기적 자극이 가해지는 위치나 세기를 자동으로 조절할 수 있다[10].

EMS 자극 기기는 근신경의 경로를 고려하여 근육의 수축 이완이 발생되는 운동점(Motor)을 자극하는 것이 트레이닝 효과를 좌우한다. 종래에는 해부학적으로 밝혀진 운동점의 위치를 사용 매뉴얼 상에 제시하여 대략적인 위치에 자극 전극이 배치되도록 사용하거나, 피부 사이의 임피던스 정보로 자극 전극을 선택하거나, 사용자의 성별, 연령, 신체조건 등에 따라 최적화되어 이미 저장된 설정에 따라 사용자가 선택한 정보로 최적의 운동점을 찾는 방식으로 자극기가 제공되었다.

그러나 매뉴얼에서 제공하는 해부학적 위치는 사용자의 신체조건에 따라 적절한 운동점에 해당되지 않는 경우가 있으며, 사용자의 성별이나 연령 등에 따라 최적화된 기존의 설정 정보는 실제적인 사용자 신체조건의 정확한 운동점을 반영하는 것을 보장하지 못하는 문제점이 있다[11][12].

2.2 운동점 탐색 EMS 치료기

기존의 EMS치료기의 단점을 보완할 수 있는 adaptive EMS치료기는 사용자의 운동점을 사용자 스스로 찾아서 최적화된 설정을 하고 운동을 할 수 있도록 한다. 이러한 운동점을 탐색하기 위한 EMS의 구성은 다음과 같다.

① 핸드 디바이스 : 사용자의 근육을 자극하기 위한 EMS 파형을 생성.
- 근전도 탐지부가 검출한 근전도(EMG) 신호로부터 자극 펜이 운동점(Motor point)의 영역에 위치하는지 여부를 판단하고 자극 패드가 측정한 운동점에 부착될 수 있도록 하는 것이 특징
- 110㎲ 내지 760㎲ 파장의 펄스를 EMS 파형으로 생성하는 파형 발생부를 포함하고, 파형 발생부는 110㎲ 내지 760㎲의 파장 범위 중 파장 대역이 서로 다르게 설정된 복수개의 펄스를 랜덤으로 조합하여 EMS 파형을 생성
- 근전도 탐지부가 검출한 근전도 신호의 활동전위 진폭의 감소정도를 평가하여 근육의 신경 라인에 관한 정보를 획득하고, 신경 라인에 관한 정보를 기반으로 근육의 운동 신경을 검색하여 자극 펜이 자극한 근육의 위치가 운동점에 해당하는지 판단하는 운동점 검출부를 포함
- 한 쌍의 자극 패드마다 독립적인 채널로 EMS 파형을 송신하여 제어할 수 있음

② 충전부 : 충전배터리 내장

③ 본체 : 자극펜, 근전도 탐지부, 자극패드 케이스

④ 자극펜 : 운동점을 찾기 위해 사용자의 근육에 전기적 자극을 가함

⑤ 근전도 탐지부 : 자극 펜이 가하는 전기적 자극에 반응하여 사용자의 근육으로부터 발생된 EMG 신호를 검출, 자극 펜이 전기적 자극을 인가하는 근육에 부착되어 EMG 신호를 검출하는 근전도 센서 및 상기 근전도 센서가 검출한 근전도 신호를 정류하여 증폭하는 근전도 신호처리부를 포함

⑥ 자극패드 : 사용자의 근육에 부착되어 핸드 디바이스로부터 수신한 EMS 파형을 출력하여 근육을 자극, 복수개의 쌍으로 구성, 한 쌍의 자극 패드가 근육의 원위부 양 단에 동시적인 EMS 자극을 가할 수 있도록 커플링

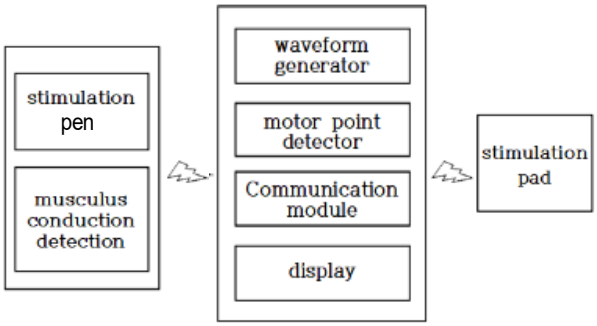


그림 1. Adaptive EMS의 구성도
Fig. 1. Block diagram of adaptive EMS

그림 1은 전기근육 자극장치의 구성도이다.

자극 펜은 자극 프로브와 신호발생 모듈로 구성된다. 자극 프로브는 펜 형상으로 근육의 모터 포인트를 찾기 위해 자극 패드가 부착되는 근육 영역에 핀 접촉되며, 신호발생 모듈로부터 전기적 자극 신호를 받아 접촉된 근육으로 전달한다. 근전도 탐지부는 근전도 센서와 근전도 신호처리부로 구성된다. 근전도 센서는 자극 펜이 전기적 자극을 인가하는 근육에 부착되어 EMG 신호를 검출할 수 있다. 근전도 신호처리부는 근전도 센서에서 획득된 EMG 신호를 정류 및 증폭하여 신호처리를 수행하는 회로 보드를 포함한다. 근전도 센서는 근전도 신호처리부와 케이블 연결될 수 있으며, 근전도 신호처리부는 하단에 흡착 패드가 더 포함되어 근전도 센서가 센싱하는 영역 부근의 신체에 부착이 가능하도록 하였다. 근전도 센서는 자극 펜이 펜 접촉하는 주변의 근육에 위치되어 자극 펜의 자극으로 반응하는 근육의 신호를 획득할 수 있도록 하였다.

EMS 자극의 수행은 다음과 같다. EMS 트레이닝을 수행하게 될 사용자의 운동점을 검출하기 위하여 자극 펜과 근전도 탐침부를 이용한다. 사용자는 자극 펜을 핀 접촉시키며 운동 근육 영역을 스캔한다. 근전도 탐침부의 근전도 센서는 자극 펜의 주변에 부착되어 자극 펜의 자극에 따른 근육의 반응을 EMG로 검출한다. 근전도 탐침부는 획득된 EMG 신호를 신호처리하여 핸드 디바이스로 전송한다. 핸드 디바이스의 운동점 검출부에서 EMG 신호를 수신하여 활동전위를 분석한다. 운동점 검출부는 활동전위의 진폭의 감소정도를 평가하여 근육의 신경 라인 및 근육의 운동 신경을 분별할 수 있으며, 최종적으로 자극 펜이 자극한 근육의 위치가 운동점에 해당

하는지 판단할 수 있다. 근전도 신호로 검출한 운동점의 영역에 자극 패드를 부착하여 EMS 자극을 가한다. 자극 패드는 근전도 탐지부, 자극 펜과 함께 자극 모듈로 구성된다. 자극 패드는 사용자의 근육에 부착되기 위한 흡착 패드를 이용하며, 핸드 디바이스로부터 수신한 EMS 파형을 출력하여 근육을 자극한다. 자극 패드는 복수 개로 구성할 수 있다. 복수 개의 자극 패드는 한 쌍의 전극 패드가 근육의 양 단에 동시적인 EMS 자극을 가할 수 있도록 커플링될 수 있다. 상하로 커플링된 두 쌍의 자극 패드를 이용할 경우 핸드 디바이스는 한 쌍의 전극 패드마다 독립적인 채널로 EMS 파형을 송신하여 제어할 수 있다.

파형 발생부는 110㎲ 내지 760㎲ 파장의 펄스를 EMS 파형으로 생성할 수 있다. 파형 발생부)는 110㎲ 내지 760㎲의 파장 범위 중 파장 대역이 서로 다르게 설정된 복수 개의 펄스가 무작위 조합으로 출력되어 EMS 파형을 생성할 수 있다. 운동점 검출부는 근전도 탐지부가 검출한 근전도 신호의 활동전위 진폭의 감소정도를 평가하여 근육의 신경라인에 관한 정보를 획득하고, 신경라인에 관한 정보를 기반으로 근육의 운동 신경을 검색하여 자극펜이 자극한 근육의 위치가 운동점에 해당하는지 판단할 수 있다. 통신 모듈은 블루투스 근거리 네트워크 통신 모듈로 구성되며, 자극부와 별도의 케이블로 연결되지 않고 무선 통신으로 신호의 송수신이 가능하도록 하였다[13][14].

디스플레이부는 복수개의 자극 패드 및 근전도 탐지부의 위치를 표시하고, 표시된 자극 패드가 검출된 운동점에 위치되었는지를 표시할 수 있다. 디스플레이부는 매뉴얼로 제공되는 전극의 바람직한 위치가 이미 설정되어 신체의 이미지와 함께 배치된 자극 패드의 위치를 제시할 수 있다. 사용자는 디스플레이부에 표시된 하지의 모습과 하지 중 허벅지 전면에 위아래로 배치되는 자극 패드를 참조하여 운동점을 탐색할 수 있다. 디스플레이부에 표시된 자극 패드를 기준으로, 운동점이 표시됨으로써 사용자는 운동점의 위치에 대응되도록 자극 패드를 부착할 수 있다. 그림 2는 근육 측정기의 흐름도를 보여주고 있다. 자극본체의 동작을 위한 흐름도는 그림 3과 같다.

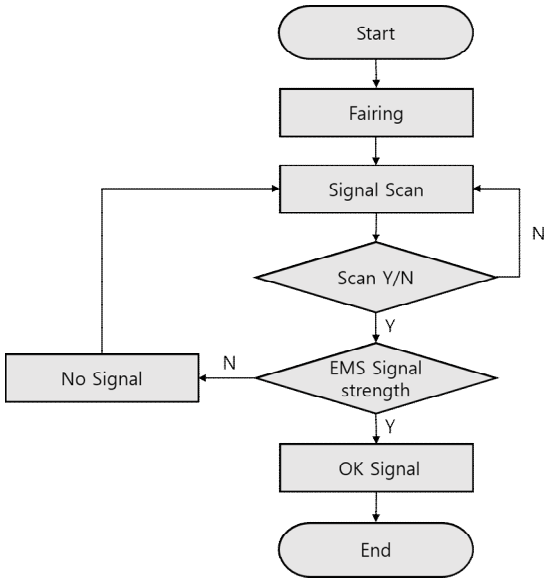


그림 2. 근육측정기의 흐름도
Fig. 2. Flowchart of muscle measuring device

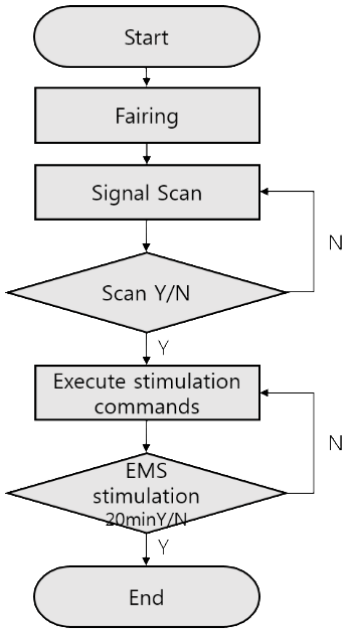


그림 3. 자극본체의 흐름도
Fig. 3. Flowchart of stimulation body device

III. 시스템 구성 및 검토

Adaptive EMS 시스템의 구성은 다음과 같다.

- 핸드 디바이스
  Cortex M3 MCU 적용
  주파수 : 2.4~2.5GHz
  무선 전송속도 : 1Mbps 이내
  전송 거리 : 10m 이내

TX 10.5mA peak

RX 18mA peak

자극본체 4Pair의 RF 통신 Control System

다양한 EMS자극의 매뉴얼 알고리즘 제공

근육 측정기와의 통신을 통한 Motor Point 검출

- 충전부

만충전 전압 : 4.15V ~ 4.23V 충전 중지함

과충전 방지 : 4.3V + 0.1V일 경우 충전 중지함

- 근전도 탐지부

MOTOR POINT의 전기 자극으로 근육이 움직일 때 EMG 신호를 측정하고 분석하여 운동점을 확인

EMG 신호의 측정 범위 10Hz ~ 00Hz

EMG 신호크기의 측정 범위는 400uV~10mV 이내

Low Pass Filter + High Pass Filter를 통해 측정 영역을 한정함

- 자극패드

출력 조절 단계는 1Vrms 이내

출력 전류 밀도는 2mA/cm²이내

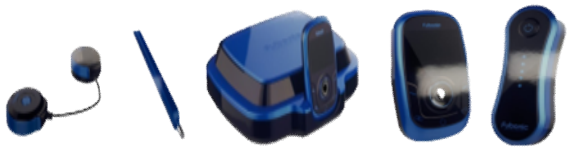
자극본체 Pair로 구성된 EMS Control System

제어 본체의 매뉴얼에 따른 알고리즘 제공

마이크로 컨트롤러를 이용한 PWM

그림 4는 Adaptive EMS 시스템의 디바이스를 보여주고 있다.

본 논문에서 제안한 Adaptive EMS와 기존의 EMS기기와 성능비교는 표 1과 같다.



(a) 자극부 (b) 자극펜 (c) 충천부 (d) 제어부 (e) 탐지부

그림 4. Adaptive EMS 시스템

Fig. 4. Adaptive EMS system, (a) Stimulus part, (b) Stimulus pen, (c) Charging part, (d) Control part, (e) Detection part

Ⅳ. 결 론

EMS 치료기는 근신경의 경로를 고려하여 근육의 수축 이완이 발생되는 운동점을 찾아서 정확한 포인트를 자극하는 것이 치료의 효과를 좌우한다. 기존의 EMS치료기의 단점을 보완할 수 있는 adaptive EMS치료기는 사용자의 운동점을 사용자 스스로 찾아서 최적화된 설정을 하고 운동을 할 수 있도록 한다. 본 논문에서는 이러한 adaptive EMS 치료기를 설계하여 제작하였으며, 기존의 패드형태의 전기자극의 방식의 한계를 극복하고자 MOTOR POINT의 전기 자극으로 근육이 수축할 때 EMG 신호를 측정하여 운동점을 찾을 수 있는 근육 측정기를 개발하여 사용자 스스로 본인의 근육상태에 최적으로 적용할 수 있는 EMS 치료기를 설계 제작하였다. 무선방식과 포터블이 가능하도록 설계 제작함으로써 사용자의 편의를 극대화 하고자 하였다. 향후 본 논문에서 제안한 EMS 치료기를 근감소증 치료분야, 피트니스 분야, 다이어트 분야 등 다양한 분야에 활용하기 위한 각 분야의 용도별 임상시험이 필요할 것으로 보인다.

References

[1] D. P. Currier and Ralph Mann, "Muscular strength development by electrical stimulation in healthy individuals", Physical Therapy, Vol. 63, No. 6, pp. 915-921, Jun. 1983.

[2] Vanessa Draper and Lori Ballard, "Electrical stimulation versus electromyographic biofeedback in the recovery of quadriceps femoris muscle function following anterior cruciate ligament surgery", Physical Therapy, Vol. 71, No. 6, pp. 455-461, Jun. 1991.

표 1. EMS 시스템 비교

Table 1. Comparison between EMS systems

	product 1	product 2	Adaptive EMS
motor point detection	none	none	optimal detection
characteristic	expert instruction for fitness center, high price	user's guide mid price	user's guide without expert instruction medium and low price
portability	impossible	possible	possible
type	suit type	wire type	wireless type

[3] Sébastien Girold, Chadi Jalab, Olivier Bernard, Pierre Carette, Gilles Kemoun, and Benoit Dugué, "Dry-Land Strength Training vs. Electrical Stimulation in Sprint Swimming Performance", Journal of Strength and Conditioning Research, Vol. 26, No. 2, pp. 497-505, Feb. 2012.

[4] S. Colson, A. Martin, and J. Van Hoecke, "Re-Excmination of Training Effects by Electrostimulation in the Human Elbow Musculoskeletal System", Internal Journal of Sports Medicine, Vol. 21, No. 4, pp. 281-288, May 2000.

[5] M. L. Pollock, L. R. Gettman, C. A. Milesis, M. D. Bah, L. Durstine, and R. B. Johnson, "Effects of frequency and duration of training on attrition and incidence of injury", Medicine and Science in Sports, Vol. 9, No. 1, pp. 31-37, Spring 1977.

[6] Peter Konrad, "The ABC of EMG:A practical introduction to kinesiological electromyography", Noraxon USA, Inc. 2006.

[7] http://health.chosun.com/site/data/html_dir/2017/04/10/2017041001898.html [accessed: Aug. 01, 2019]

[8] Anthony Delitto, Steven J. Rose, Joseph M. McKowen, Richard C. Lehman, James A. Thomas, and Robert A. Shively, "Electrical stimulation versus voluntary exercise in strengthening thigh musculature after anterior cruciate ligament surgery", Physical Therapy, Vol. 68, No. 5, pp. 660-663, May 1988.

[9] Ananda Sankar Kundu, Oishee Mazumder, and Subhasis Bhaumik, "Design of Wearable, Low Power, Single Supply Surface EMG Extractor Unit for Wireless Monitoring", 2011 International Conference on Nanotechnology and Biosensors, Singapore, Vol. 25, pp. 69-74, 2011.

[10] M. Behringer, A. Franz, M. McCourt, and J. Mester, "Motor point map of upper body muscles", European Journal of Applied Physiology, Vol, 114, No. 8, pp. 1605-1617, Aug. 2014

[11] Alberto Botter, Gianmosè Oprandi, Fabio Lanfranco, Stefano Allasia, Nicola A. Maffiuletti, and Marco Alessandro Minetto, "Atlas of the muscle motor points for the lower limb: implications for electrical stimulation procedures and electrode positioning", European Journal of Applied Physiology, Vol. 111, No. 10, pp. 2461-2471, Jul. 2011.

[12] Massimiliano Gobbo, Nicola A Maffiuletti, Claudio Orizio, and Marco A Minetto, "Muscle motor point identification is essential for optimizing neuromuscular electrical stimulation use", Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. Vol. 11, No. 1, Article No. 17, Feb. 2014.

[13] Young-bok Cho, Sang-ho Lee, Sung-Hee Woo, "An Adaptive Clustering Algorithm of Wireless Sensor Networks for Energy Efficiency", Journal of IIBC, Vol. 17, No. 1. pp. 99-106, Feb. 2017.

[14] Yangmi Lim, Namhi Kang, "Development of Integrated TCU for Multimedia Communication Devices Control", Journal of IIBC. Vol. 14, No. 3. pp. 1-6, Jun. 2014

저자소개

김 백 기 (Kim Baek Ki)

1985년 2월 : 경희대 전자공학과(공학사)
1987년 8월 : 경희대 전자공학과(공학석사)
1997년 2월 : 경희대 전자공학과(공학박사)
1990년 9월 ~ 현재 : 강릉원주대 정보통신공학과 교수
관심분야 : 의료기기, 신호처리

이 귀 선 (Lee Gui Sun)

2018년 2월 : 상지대 재활의학과(이학학석사)
2015년 8월 : 상지대 응용전자공학과(공학석사)
2018년 2월 : 상지대 재활의학과(이학학석사)
2004년 5월 ~ 현재 : 휴보닉 대표이사
관심분야 : 의료기기, 신호처리, 재활의학

김 진 혁 (Kim Jin Hyeok)

2002년 2월 : 삼척대
전자공학과(공학사)
2003년 12월 : 보고산업 연구소
차장
2014년 3월 ~ 현재 : 휴보닉
기업부설연구소 소장
관심분야 : 의료기기, 신호처리,
유.무선통신