

효과적인 보행재활훈련을 위한 근피로도 분석방법

A Method of Muscle Fatigue Analysis for Effective Gait Rehabilitation

김유현*, 김서준, 심현민, 이상민
Y. H. Kim, S. J. Kim, H. M. Shim, S. M. Lee

요 약

본 논문에서는 근전도를 이용하여 근피로도를 분석함에 있어서 중앙주파수의 임계점을 이용한 효과적인 보행재활훈련 방법을 제시한다. 신호의 측정을 위하여 건강한 성인 남성 5명을 대상으로 실험을 실시하였고 정상 보행에서의 대퇴사두근, 전경골근에 표면전극을 붙여 변화를 측정 하였다. 근전도신호의 측정을 위하여 트레드밀 위에서 30분간 6km/h의 일정한 속력으로 보통걸음을 실시하였고 이를 통해 측정된 근전도신호를 주파수 분석 및 중앙주파수를 계산하여 근피로도를 수치화 한 뒤 30분간 근피로도의 상태와 포화되는 지점을 찾아 이를 근육이 견딜 수 있는 임계점, 즉 근육의 한계로 설정하였다. 실험 결과 근육의 임계점을 정량화 할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we present a effective method of gait rehabilitation training using critical point of median frequency in muscle fatigue analysis using EMG. To target the five healthy volunteers, EMG signal were measured in the quadriceps femoris muscle and the tibialis anterior muscle in order to determine muscle fatigue. We performed a test targeting three adult male for 30 minutes on a treadmill at a speed of 6km/h same. EMG signal analysis in frequency and median frequency is calculated to quantification of muscle fatigue, and calculated the critical point which is saturated by muscle fatigue during 30 minutes. We set saturated point the threshold which muscle can withstand. The results of this paper, we are able to quantify the threshold of the muscle.

Keyword : Muscle Fatigue, Median Frequency, Critical Point, Electromyogram Signal

접 수 일 : 2013.05.18

심사완료일 : 2013.06.17

게재확정일 : 2013.06.24

* 김유현 : 인하대학교 전자공학과 석사과정

kimyoohyun@nate.com (주저자)

김서준 : 인하대학교 전자공학과 석사과정

wodud4435@nate.com (공동저자)

심현민 : 인하대학교 전자공학과 연구교수

hmshim@inha.ac.kr (공동저자)

이상민 : 인하대학교 전자공학과 교수

sanglee@inha.ac.kr (교신저자)

* 이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 중점연구소 지원 사업으로 수행된 연구임(2010-0020163)

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음”(NIPA-2013-H0401-13-1006)

1. 서론

최근 의료와 복지 수준의 향상으로 노인의 운동 및 재활훈련의 보조기의 필요성이 더욱 대두 되고 있는 상황이다[1]. 하반신마비와 하지마비 환자에게 있어서 보행훈련은 중요한 재활훈련이며 또 상지편 마비에 의해서 손실된 상지기능을 보조기를 착용함으로써 회복을 돕는 등 재활훈련과 재활훈련의 보조기의 필요성이 증대 되고 있다[2-3]. 하지만 노인의 운동 및 재활훈련을 하는데 있어 근육에 무리가 갈 때까지 운동을 한다거나 아직 근육이 충분히 견딜 수 있는데도 운동을 그만두는 비효율적인 상황이 많이 일어난다. 이러한 현상을 막고 보다 효율적인 재활훈련을 하기 위해서는 실제 훈련자의 근육 상태를 파악하고 파악 된 상태를 수치화, 정량화하

여 재활훈련의 강도를 조절해주는 보조기기의 도움이 필요하다.

근육은 반복 사용 시 피로해지고 근육이 피로해지면 근육세포의 탈분극 이후 전기적 재 분극 과정, 즉 회복과정이 지연되게 된다. 이는 근육세포의 전기적 불응기간이 길어짐을 의미한다. 매 탈분극간 간격에 해당하는 한 주기가 길어지게 되어 서서히 고주파 성분의 신호가 저주파 성분으로 편향한 분포를 나타내게 된다[4].

근전도를 이용하여 근피로도를 분석함에 있어서 주파수 영역에서 분석하는 방법인 평균주파수 (mean frequency), 중앙주파수 (median frequency) 등이 주로 사용 된다[5-6].

근육의 피로가 쌓이게 되면 근전도 주파수가 저주파로 이동하며 평균주파수와 중앙주파수가 감소하는 현상을 보이게 되는데 주파수 스펙트럼이 저주파 대역으로 이동하는 것은 근육의 피로함을 나타낸다. 평균주파수와 중앙주파수는 주파수 분석에서 일반적으로 근피로 징후로 사용되며 중앙주파수의 경우 잡음에 강한 것으로 알려져 있고 근육 관련 변수들에 대해 신뢰 할 수 있는 지표로 알려져 있다[7-9].

본 논문에서는 근육의 상태를 파악하기 위하여 근피로도를 정량화 하는데 중앙주파수를 이용한 임계점 적용법을 제안한다. 중앙주파수의 임계점을 실제 근육이 견딜 수 있는 한계로 설정하여 더 효율적인 재활훈련이 되도록 하는 방법을 사용하였으며 근전도 신호를 이용하여 근피로도를 측정하고 중앙주파수를 이용해 측정된 결과와 비교 분석하였다.

2. 본론

2.1 중앙주파수를 이용한 근전도 분석

본 논문에서는 근피로도 측정을 위한 분석 기법 중 중앙주파수를 통해 근피로도를 나타낸다고 하였다. 주파수의 좌측과 우측의 적분 값이 같아지는 지점을 중앙주파수로 결정하였고 이 중앙주파수는 근육피로의 특성을 잘 나타내는 주파수이며 식(1)과 같다[10].

$$\int_0^{f_{med}} S_m(f)df = \int_{f_{med}}^{N-1} S_m(f)df \quad (1)$$

$S_m(f)$ 는 power spectrum에서 주파수성분의 크기를 의미하고 f_{med} 는 중앙주파수를 나타낸다. 근전도는

0~10mV의 진폭을 가지며 의미 있는 근전 신호는 30~500Hz의 주파수 범위에 분포한다[11].

힘을 지속적으로 소비하는 근육의 근전도 신호를 주파수영역에서 분석해보면 활성화 에너지의 전달 속도가 피로가 쌓여 감에 따라 느려지고 고주파 성분이 약해지게 된다. 근전도 신호의 고주파 성분이 약해지게 되면 식(1)에서와 같이 중간 주파수의 값 또한 작아지게 된다. 이러한 중앙주파수의 변화는 선형회귀 알고리즘을 이용하여 기울기로 표현되어 왔고 기울기가 클수록 근육의 피로가 쌓이는 속도가 높다는 것을 의미한다[12].

2.2 실험 방법

본 논문에서는 건강한 20~30대 남성 5명을 대상으로 평지에서의 보행을 측정 및 실험 하였다. 그림 1과 같이 피검자의 왼쪽 대퇴사두근(Quadriceps femoris muscle, QF)과 전경골근(Tibialis anterior muscle, TA)에 표면전극을 부착하여 근전도 신호를 측정하였다. 각 피실험자는 트레드밀위에서 30분동안 동일한 속력으로 보통걸음을 시행한다.

통상 보통걸음이란 4~6km/h의 속력으로 걷는 것을 의미하는데 본 실험에서는 근피로도의 수치를 빠르게 높이기 위하여 보통걸음의 최대 속력기준치인 6km/h의 속력으로 시행했다[13].

근피로도를 산출하기 위해 Biopack사의 MP150 표면 무선 근전도 측정 장치를 이용하였다. 사용된 전극은 Ag/AgCl 표면전극을 사용하였고, 획득한 근전도는 1kHz로 샘플링을 하였다.

근피로도를 산출하기 위하여 측정된 근전도 신호를 주파수 분석 및 중앙주파수를 계산하여 근피로도를 수치화 한 뒤 30분간 근피로도의 상태와 포화되는 임계점을 찾는다.



그림 1. 근전 신호 측정을 위한 전극 부착 위치

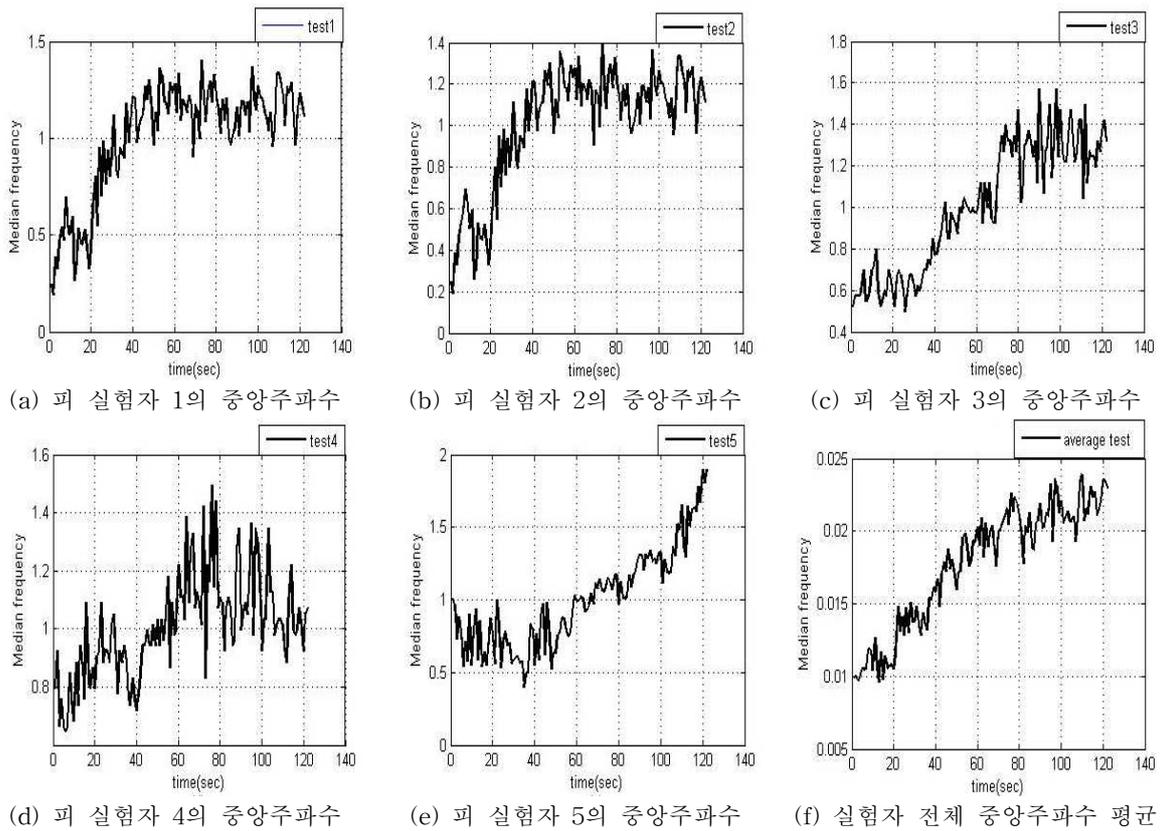


그림3. 15초 간격의 time window를 적용한 중앙주파수 normalizing 그래프

2.3 실험 결과

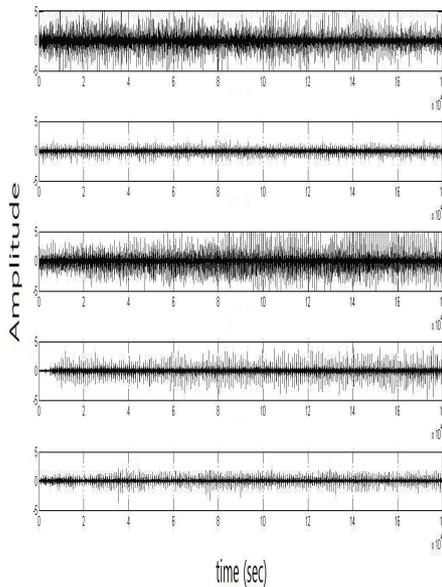


그림2. 각 피 실험자별 근전도 raw 신호

그림 2는 각 피 실험자가 Biopack사의 MP150 표면 무선 근전도 측정 모듈을 착용하고 트레드밀 위에서 30분간 보행걸음을 실시한 후 획득한 근전도 raw신호를 나타낸다. 그림 2의 가로축은 시간을 세로축은 각 실험자별 근육활성화를 나타낸 진폭이며 시간이 지남에 따라 근육의 피로도가 증가하지만 증폭 값은 변하지 않는 것을 알 수 있다. 이는 근육이 피로해지면 주변근육들이 피로해진 근육을 대신하기 때문이다. 그래서 본 논문에서는 근피로도를 알 수 있는 요소인 중앙주파수를 사용하였다.

그림 3을 보면 (a)부터 (e)까지는 각 피 실험자별 측정된 데이터를 15초 간격으로 중앙주파수를 구한 것을 normalizing한 그래프이며 (f)는 각 실험자들의 중앙주파수의 값을 평균 낸 것이다. 가로축은 시간을 세로축은 중앙주파수를 나타낸다. 근육의 피로가 쌓이게 되면 중앙주파수가 증가하는 상태를 보이다가 일정지점 이후부터는 포화상태를 이루게 되어 더 이상 증가하지 않고 평형에 가까운 상태를 보이게 된다.

본 논문에서는 이 지점을 근육의 임계점으로 정하였고 임계점을 보다 효율적으로 수치화하기 위해

서 식(2)와 같이 구간별 중앙주파수를 최댓값과 최솟값의 비로 나타내는 방법을 제안한다.

$$MFR = \frac{\max f(s)}{\min f(s)} \quad (2)$$

식(2)에서 $f(s)$ 는 설정한 구간내의 중앙주파수를 의미하며 본 논문에서는 구간내의 최댓값과 최솟값의 비를 Median Frequency Ratio (MFR)이라 정의한다.

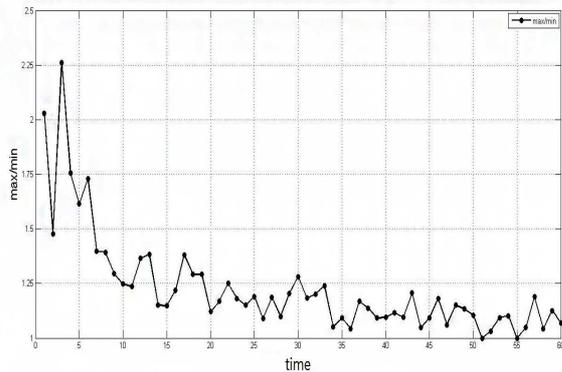


그림4. MFR을 이용한 근피로도 분석

그림 4는 각 중앙주파수를 구간을 설정하여 최댓값과 최솟값의 비를 나타낸 그래프, 즉 본 논문이 제안한 MFR을 이용하여 근피로도를 분석한 그래프이다. 그림4는 각 피 실험자들의 normalizing한 중앙주파수 값을 5의 time window를 적용하여 최댓값과 최솟값의 비를 나타낸 것이다. 최댓값과 최솟값의 비가 시간이 갈수록 점점 감소한다. 근육의 피로가 쌓이면서 1에 가까운 수치를 나타내게 되는데 본 논문에서는 실험결과 근피로도가 쌓였을 때 1과 1.25의 사이의 값을 가지므로 근피로도를 판단하는 임계점으로 MFR에서의 1.25를 제시한다.

3. 결론

본 논문에서는 기존의 중앙주파수만 사용한 근전도 피로도 분석을 보다 효율적으로 하기 위해 근육의 피로정도를 정량화하여 근피로도의 임계점을 설정하였다. 기존의 중앙주파수를 사용한 근피로도 분석방법은 명확한 기준점을 제시하기 힘든 단점이 있었다. 이에 본 논문에서는 MFR을 사용하여 근피로도의 추이를 명확하게 수치화하였다. 향후 본 연

구에 이어 정량화, 수치화한 근육의 피로도를 실제 재활훈련 환자에 사용되는 보조기에 적용한다면 효과적인 재활훈련이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Woolam PJ, Lomas B, Stallard. J, A , "Reciprocal Walking Orthosis of Hip Joint Conditions," Prosthetics and Orthotics International, 25(1), pp. 47-52, 2002.
- [2] Hussey RW, Stauffer ES, "Sinal Cord Injury Requirements for Ambulation" Arch. Phys. Med. Rehabil, 54(1), pp. 554-547, 1993.
- [3] R. Ortner, B. Z. Allison, G. Korisek, H. Gaggli, and G. Pfurtscheller, "An SSVEP BCI to Control a Hand Orthosis for Persons With Tetraplegia", IEEE Trans on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 19, No.1, 2011.
- [4] 김서준, 송영록, 박규석, 이상민, "근전도의 효과적 문턱치 적용을 위한 근피로도 특성 분석," 한국재활복지공학회 정기학술대회 논문집, pp.125-126, 2011.
- [5] 이영희, 전세일, 박창일, "자발적 수축시 근활동 전위의 주파수 분석에 의한 인체골격근의 특성", 대한재활의학회지, 18, pp.311-327, 1994.
- [6] Ament W, Bonga GJ, Hof AL, and Verkerke GJ, "EMG median power frequency in an exhausting exercise", J Electromyogr Kinesiol, vol 3, pp.214-220, 1993.
- [7] Basmajian JV, and De Luca CJ, "Muscle Alive, Their Functions revealed by electromyography", 5th ed. Baltimore : Williams & Wilkins, 1985.
- [8] Merletti R, Sabbahi MA, and De Luca CJ, "Median frequency of the myoelectric signal : effects of ischemia and cooling", Eur J Appl Physiol, vol 52, pp.258-263, 1984.
- [9] Muro M, Nagata A, Murakami K, and Moritani T, "Surface EMG power spectral analysis of neuromuscular disorders during isometric and isotonic contractions", Am J Phys Med, vol 61(5), pp.244-254, 1982.
- [10] 홍수용, 이성호, 윤형로, 조상현, "등장성운동 시 근전도 신호의 중앙주파수 분석을 통한 근피로 지수 검출에 관한 연구", 의공학회지, v.24

no.3 = no.78, pp.175-181, 2003.

- [11] Vollestad NK, "Measurement of human muscle fatigue", J Neurosci Methods, vol 74, p219-227, 1997.
- [12] 이성주, 홍기령, 이태우, 이상훈, 김성환, "근피로도 측정을 위한 중간 주파수와 Spike 파라미터의 신뢰도 비교 및 향상된 Spike 검출 알고리즘에 관한 연구", 전기학회논문지 제53D권 제5호, pp.380-388, 2004.
- [13] Rita M. Kiss, "Comparison between kinematic and ground reaction force techniques for determining gait events during treadmill walking at different walking speeds", Medical Engineering & Physics 32, pp. 662-667, 2010

심 현 민



2001년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업 (학사)
 2003년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)
 2007년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사)
 2007년 4월 - 2012년 8월 LIG맥스원 S/W연구센터 수석연구원
 2012년 9월 - 현재 인하대학교 정보전자공동연구소 연구교수

관심분야 : implantable rehabilitation engineering, mobile robotics, embedded system design

김 유 현



2013년 2월 인하대학교 생명과학과 졸업(학사)
 2013년 3월 - 현재 인하대학교 대학원 전자공학과 석사과정

관심분야 : 재활공학, 생체신호처리

이 상 민



1987년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업 (학사)
 1989년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업 (석사)
 2000년 2월 인하대학교 대학원 전자공학졸업 (박사)
 2006년 9월 - 현재 인하대학교 전자공학과 부교수

관심분야 : Bio-Signal Processing, Psycho-Acoustic, Brain-Machine Interface

김 서 준



2012년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업 (학사)
 2013년 3월 - 현재 인하대학교 대학원 전자공학과 석사과정

관심분야 : Bio-Signal Processing, Pattern Classification