

## 등장성 수축운동시 표피근전도의 주파수파라미터와 근지구력시간과의 상관성

이상식<sup>1</sup> · 고재욱<sup>2</sup> · 장지훈<sup>3</sup> · 박원엽<sup>4</sup> · 이기영<sup>1</sup>

<sup>1</sup>관동대학교 의료공학과, <sup>2</sup>관동대학교 사회복지학과, <sup>3</sup>관동대학교 스포츠레저학부, <sup>4</sup>한경대학교 기계공학과

## Relationship between Endurance Times and Frequency Parameters in Surface EMG during Isotonic Contraction Exercises

Sangsik Lee<sup>1</sup>, Jaewook Go<sup>2</sup>, Jeehun Jang<sup>3</sup>, Wonyeop Park<sup>4</sup> and Kiyoung Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Biomedical Engineering, Kwandong University, Gangneung, Korea

<sup>2</sup>Department of Social Welfare, Kwandong University, Gangneung, Korea

<sup>3</sup>Department of Sports & Leisure, Kwandong University, Gangneung, Korea

<sup>4</sup>Department of Mechanical Engineering, Hankyung University, Ansung, Korea

(Received June 26, 2012. Accepted August 7, 2012)

**Abstract:** Previous investigators have shown that the frequency compression is related to the muscle fatigue and the decreasing conduction velocity of muscle fibers. The aim of the present study was to investigate the relationship between endurance times and frequency parameters such as mean power frequency and median frequency in the surface EMG signal during isotonic contractions. Eight healthy subjects performed voluntary isotonic contractions of biceps Brachii muscle until their endurance times which were determined when the subject could no longer follow the contraction cycle. The regressive slopes of mean power frequency and median frequency were used to describe the frequency compression of the surface EMG signal, and to test the predictability of endurance time. As results of experiment, significant correlations were found between endurance time and the regressive slopes of mean power frequency and mean frequency computed over 50%Tend of endurance time.

**Key words:** isotonic contraction, frequency compression, endurance time, mean power frequency, median frequency

### 1. 서 론

표피근전도로부터 유도된 중앙주파수와 평균전력주파수 등의 주파수파라미터들은 근섬유의 전도속도나 근력 및 협력근과의 연관성에 관하여 연구되었으며, 또한 근육의 피로 감수성이나 지구력시간 등의 성취능력을 평가하기 위한 방법으로 사용되어 왔다[1,2].

근지구력시간은 근 장력을 최대로 유지할 수 있는 능력의 손실로 정의되는 근피로에 대한 근육의 저항척도로 이용할 수 있기 때문에 근지구력시간의 예측은 체육활동이나 작업장

및 병원에서 임상적인 자료가 필요할 때 매우 중요하게 활용될 수 있다[3,4,5]. 또한 표피근전도의 전력스펙트럼은 근육의 수축이나 신경자극이 장시간 계속될수록 스펙트럼 압축에 의해 하강 천이한다[6,7]. 피검자의 근지구력시간까지 근육의 스펙트럼 압축현상을 기반으로 주파수파라미터인 중앙주파수 및 평균전력주파수 등의 중앙천이특징을 나타내는 파라미터들은 근피로 상태를 평가하거나 사용하는 힘과의 관계를 규명하는 목적으로 많은 연구가 이루어지고 있으며[1,8], 표피근전도의 근피로에 따른 스펙트럼 압축현상을 적절하게 표명해줄 수 있는 저주파수 대역을 선택하는 연구도 이루어지고 있다[9,10]. 여기서 근지구력시간의 측정은 임상적인 근력의 척도로서 널리 이용되고 있지만 실제 측정대상인 피검자의 인내 및 통증 등의 한계로 인한 심리화적인 문제가 발

생하기 때문에 골격근 질환환자를 포함한 모든 피검자에게는 무리가 따른다[11,12]. 따라서 피검자가 근력을 더 이상 유지하지 못할 때까지 실험을 강행하지 않고도 근지구력시간을 추정할 수 있는 방법이 요구되고 있다.

Merletti 등은 등척성 운동을 근지구력시간까지 진행하면서 고정시점까지 측정된 근전도 중앙주파수의 회귀 기울기를 선형회귀모델에 적용하여 근지구력시간 예측의 가능성을 시도하였으며[13], Van Dieën 등은 근지구력시간을 예측하기 위해서는 평균전력주파수를 최소한 근지구력시간의 절반기간까지 산출하여야 한다고 보고하였다[14]. 최근의 연구에서는 근섬유 전도속도, 평균전력스펙트럼, 중앙주파수 및 RMS 등의 초기 기울기와 면적비를 이용하여 근지구력시간과의 상관성을 비교하면서 근지구력시간의 예측 가능성을 검토하였다[2,15,16]. 그러나 이 연구에서 초기 기울기나 면적비를 구하기 위해 고정시점을 사용해야하기 때문에 피검자마다 서로 다른 근지구력시간에 대해 고정시점을 정하기에는 어려운 문제가 있다.

본 연구에서는 등장성 근육수축 운동시 표피근전도의 주파수파라미터인 중앙주파수와 평균전력주파수들의 회귀분석 기간에 따른 회귀 기울기와의 상관성을 이용하여 근지구력시간의 예측 가능성을 확인하고자 하였다. 여기서 초기 기울기를 구하기 위해서는 고정시점을 미리 정해야 하는 문제를 피하기 위해 각 피검자의 근지구력시간을 3개 기간으로 나누었으며, 예측 가능성을 하기 위해 각 기간까지의 변화율과 근지구력시간과의 상관성을 비교 검토하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구대상

본 연구의 실험에 참여한 피검자는 나이의 평균(표준편차)이 24(0.8)세인 건강한 성인으로 운동선수 및 정기적 신체 훈련자, 근골격계와 신경계 질환자 등을 제외한 총 8명(남성 4명, 여성 4명)이었다. 본 실험의 모든 과정은 헬싱키선언의 윤리적 기준에 의거하여 실시하였다. 표 1에 이 피검자들의 나이, 체중, 상완이두근(오른팔)의 길이 및 자율적인 최대

표 1. 실험자의 특징

Table 1. General characteristics of subjects(BB.: Biceps Brachii)

Gender	Height[cm]	Mass[kg]	BB. Length[cm]	MVC[kg]
Males	181.8(4.0)	86.8(13.2)	29.4(2.8)	23.8(2.2)
Females	161.0(4.7)	53.5(6.8)	27.3(2.6)	14.3(1.3)
Total	171.4(11.8)	70.1(20.2)	28.3(2.8)	18.9(4.6)

수축강도(Maximum Voluntary Contraction, MVC) 등을 보이고 있으며, 이들이 등장성 운동을 수행하여 피로로 소진할 때까지 근전도를 측정하였다.

### 2. 측정기 및 실험 프로토콜

표 1에 기술한 바와 같이 각 피검자마다 상완이두근의 최대수축강도(MVC)를 측정하기 위하여 MMT(Manual Muscle Test, Lafayette Instrument, USA)를 근력측정장비로 사용하였다. 여기서 각 피검자가 3초 동안 상완이두근을 최대의 근력으로 수축하여 측정된 후, 3분의 휴식을 취하게 하였으며, 최대강도의 수축을 한 번 더 3초 동안 수행하게 하였다. 이 두 과정에서 각각 측정된 두 값의 평균치를 해당 피검자의 최대수축강도(MVC)로 하였다.

등장성 수축운동시 표피근전도(surface EMG) 신호를 기록하기 위하여 MA-3000-16(Motion Lab System, Inc. USA)를 사용하였다. 이 기기의 전극은 20 mm 간격의 쌍극성 표피전극이며 상완이두근 경선의 중심부위에 부착하였고[10], 등장성 수축운동의 반복 주기와 맞추기 위하여 2.4 초 주기의 메트로놈을 이용하였다.

상완이두근의 등장성 수축운동 한 세트는 직립 상태에서 최대수축강도의 20% 강도의 부하를 오른 손에 쥐고 메트로놈의 반복 주기 2.4초에 맞춰 25회/분의 속도로 폼다가 110° 씩 굽히는 수축운동을 반복하는 것이다. 이러한 수축운동을 반복하다가 피검자가 근피로에 이르러 더 이상 수축운동을 할 수 없을 때에 종료하였으며, 종료되는 시점을 근지구력시간으로 기록하였다. 이러한 반복되는 등장성 수축운동을 피검자마다 4세트씩 실시하였으며 휴식기간은 1시간으로 하였다.

### 3. 신호처리 및 통계

측정기로부터 측정된 표피근전도 신호는 16비트의 해상도 및 1 kHz의 샘플링주파수로 컴퓨터에 전송되어 저장하였다. 2.4초 주기로 수축을 반복하는 근전도 신호를 모두 포함하여 분석하기 위해 해밍윈도우의 구간은 4.8초로 하였으며 FFT에 의해 전력스펙트럼을 산출하였다. 이 전력스펙트럼으로부터 중앙치인 특징인 중앙주파수와 평균전력주파수를 추출하였다. 이 특징들의 통계적인 변화는 선형회귀분석에 의하여 수축운동의 시작에서부터 일정구간까지의 기울기로 계산하였다. 여기서 초기기울기를 산출하는 구간은 수축운동의 시작으로부터 근지구력시간의 10%Tend, 50%Tend 및 100%Tend 까지의 운동시간으로 하였다. 각 특징의 기울기와 근지구력시간과의 상관성은 피어슨상관계수를 이용하였으며, P < 0.05를 통계적 유의 기준으로 하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 파라미터 분석결과

등장성 운동시 측정된 표면근전도로부터 중앙천이-파라미터인 평균전력주파수와 중앙주파수의 변화경향은 근피로가 증가할수록 등척성 운동과 마찬가지로 하강 천이한다[17]. 그림 1은 한 피검자의 등장성 운동을 70초 동안 수행하였을 때 평균전력주파수와 중앙주파수를 보이고 있으며 각 하강하는 변화에 따라 선형회귀식과 결정계수( $R^2$ )를 표기하였다. 이 피검자로부터 계산된 평균전력주파수와 중앙주파수의 초기 절편 값은 각각 67 Hz와 59 Hz이며, 70초 후의 각 값은 52 Hz와 47 Hz까지 감소하였다. 또한 평균전력주파수의 기울기는 0.19이고 결정계수는 0.66이었으며, 중앙주파수의 기울기와 결정계수는 각각 0.17과 0.42이었다.

그림 2는 피검자 전체가 등장성 운동을 근지구력시간까지 각각 수행하였을 때 평균전력주파수와 중앙주파수의 경향을 나타내는 평균 및 표준편차를 보이고 있다. 시간 축은 근지구력시간의 10%Tend씩 증가시키며 평균전력주파수와 중앙주파수의 각 값은 절대치로 나타내었다. 평균전력주파수는 근지구력시간의 초기(10%Tend)일 때  $62 \pm 5.3$  Hz이며, 근

지구력시간(100%Tend)일 때  $52 \pm 5.3$  Hz로 약 10 Hz 감소하였으며, 중앙주파수의 경우 각각  $53 \pm 6.0$  Hz(10%Tend) 및  $46 \pm 6.4$  Hz(100%Tend)로 약 7 Hz 감소하였다. 모든 피검자들로부터 10%Tend 마다 추출하여 평균을 취한 두 파라미터를 대상으로 일원배치 분산분석을 수행한 결과 유의성 차이가 있었다( $P < 0.05$ ). 따라서 평균전력주파수의 하강천이 기울기가 중앙주파수보다 가파르며, 표준편차도 중앙주파수보다 작기 때문에 선형성도 높은 것을 확인할 수 있었다.

#### 2. 평균전력주파수와 중앙주파수의 관계

동일 피검자가 수축운동을 하는 동안 근전도로부터 추출한 중앙주파수와 평균전력주파수는 거의 선형적으로 비례하는 관계가 있다[13]. 그림 3은 피검자들이 각각 등장성 수축운동을 하는 동안 추출한 평균전력주파수와 중앙주파수의 변화 관계를 보이고 있다. 여기서 추세선은 선형회귀선이며, 중앙주파수의 감소에 따라 평균전력주파수도 감소하고 있음을 나타낸다.

등장성으로 반복하여 근육의 수축운동이 계속될수록, 등척성 수축운동과 같이, 동기화 및 보충에 의해 스펙트럼 압축은 증가한다. 즉, 근피로가 증가함에 따라 활성전위 전도속도가 감소하고 표면근전도의 전력스펙트럼은 저주파수 대역으로 천이하기 때문에 평균전력주파수와 중앙주파수는 모두 감소한다[10,13]. 이 두 파라미터의 피어슨 상관계수는 0.89이며 일원배치 분산분석을 수행한 결과 유의성 차이가 있었다( $P < 0.05$ ). 따라서 근피로가 증가할수록 표면근전도의 평균전력주파수와 중앙주파수는 모두 선형적으로 감소함을 확인하였다.

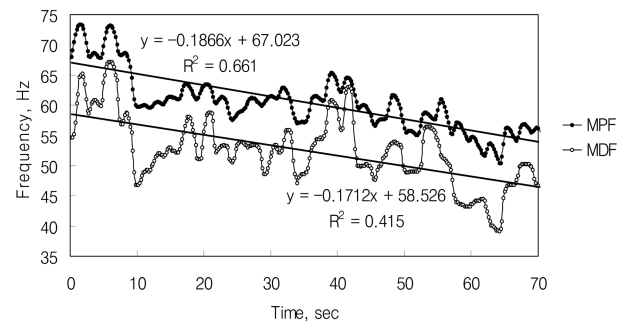


그림 1. 평균전력주파수와 중앙주파수의 실험 데이터  
Fig. 1. Experimental data of MPF(mean power frequency) and MDF(median frequency)

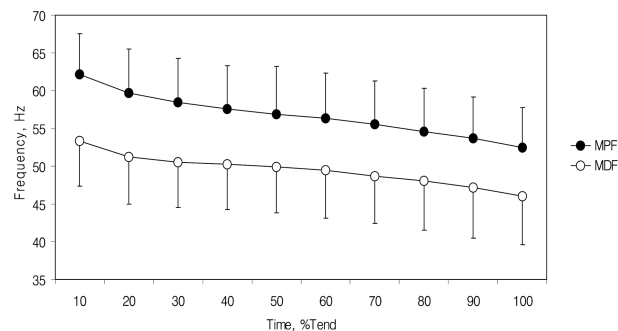


그림 2. 근지구력시간까지의 평균전력주파수와 중앙주파수의 평균 및 표준편차  
Fig. 2. Mean and standard deviation in MPF and MDF until endurance time(Tend)

#### 3. 근지구력시간과의 상관성 비교

각 피검자의 근지구력시간을 예측하기 위해서는 근지구력

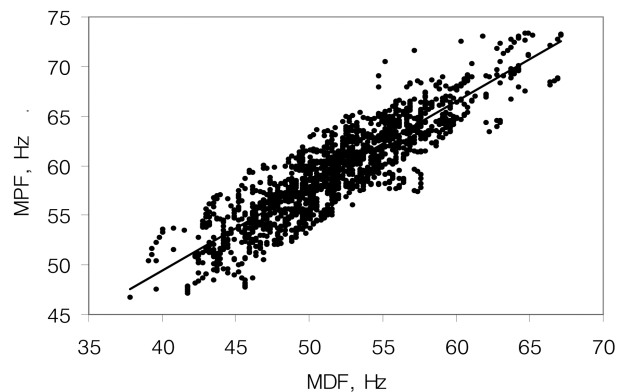


그림 3. 평균전력주파수와 중앙주파수의 선형회귀  
Fig. 3. Linear regression of median frequency(MDF) versus mean power frequency(MPF)

시간과 상관성이 높은 예측파라미터가 필요하다. 각 피검자마다 산출한 선형회귀기울기와 측정된 근지구력시간과의 상관성을 비교하기 위하여 그림 4와 5에 중앙주파수의 시점까지의 선형회귀기울기와 근지구력시간과의 관계도를 보이

고 있다.

그림 4에 남녀 모든 피검자(n=8)들이 상완이두근의 등장성 운동을 수행하는 동안 중앙주파수의 변화율인 선형회귀기울기들을 보였다. 그림 4의 (a)는 각 피검자에 따른 근지구력시간(Tend)에 대한 10%Tend 시점까지의 기울기들이며, (b)는 50%Tend, 그리고 (c)는 100%Tend 시점까지의 각 피검자들의 기울기들이다. 또한, 각 선형회귀기울기와 근

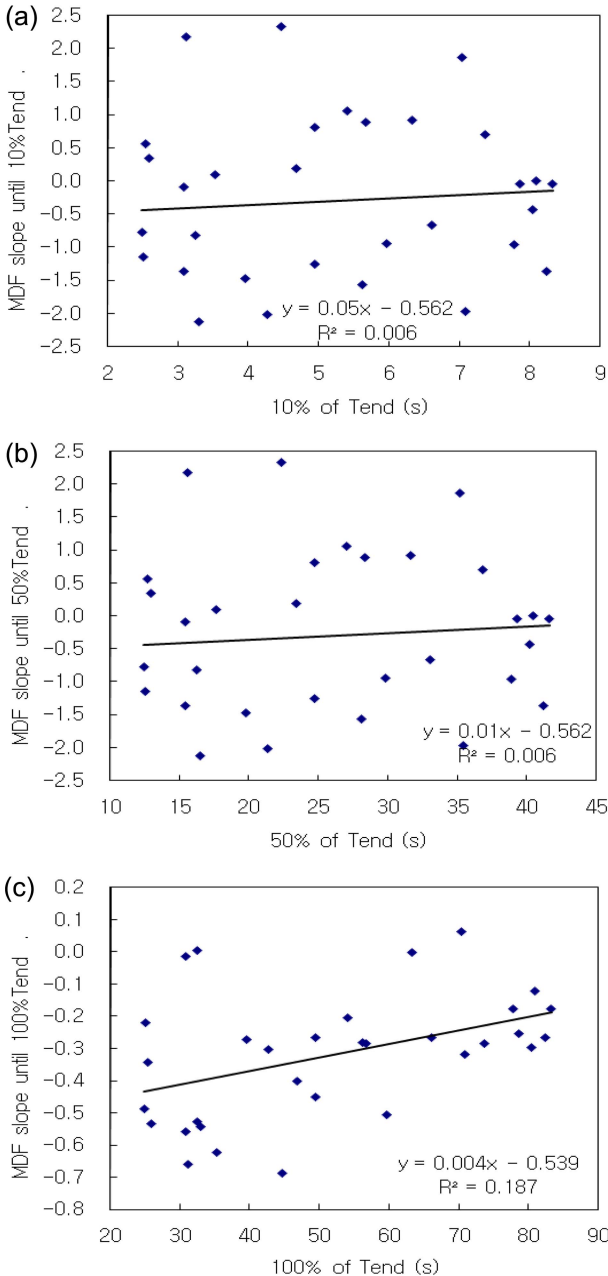


그림 4. 근지구력시간의 10%, 50% 및 100% 시점까지 중앙주파수의 선형회귀기울기 산점도. (a) 10%Tend 시점까지의 중앙주파수 선형회귀기울기, (b) 50%Tend 시점까지의 중앙주파수 선형회귀기울기, (c) 100%Tend 시점까지의 중앙주파수 선형회귀기울기

Fig. 4. Scatter diagram of linear regressive slopes of median frequency(MDF) until 10%, 50% and 100% of Tend (a) MDF linear regressive slope until 10%Tend, (b) MDF linear regressive slope until 50%Tend, (c) MDF linear regressive slope until 100%Tend

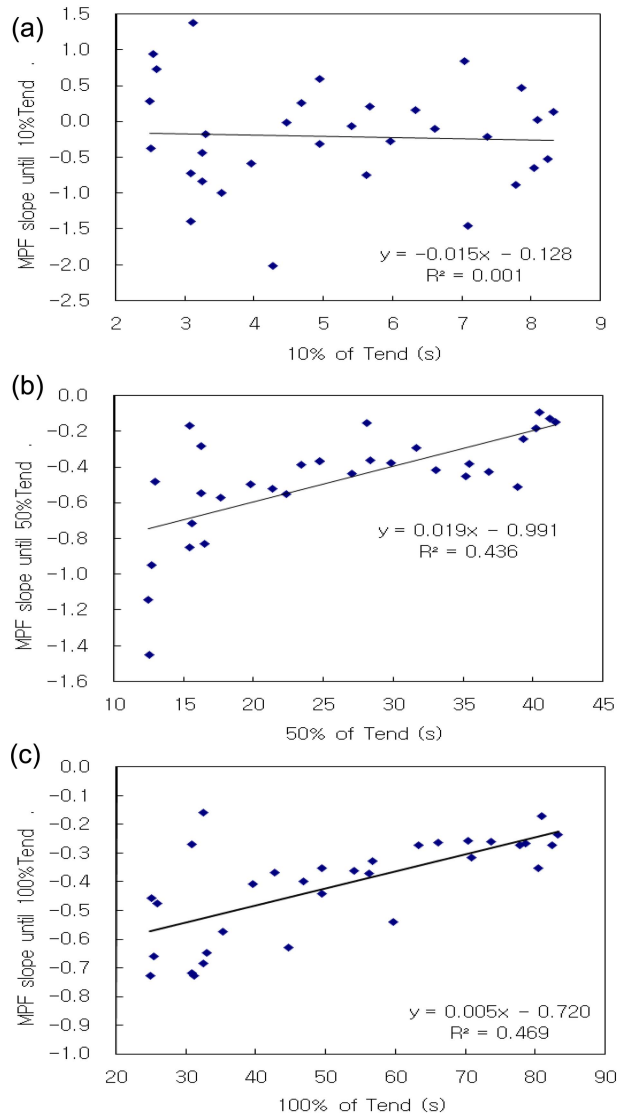


그림 5. 근지구력시간의 10%, 50% 및 100% 시점까지 평균전력주파수의 선형회귀기울기 산점도. (a) 10%Tend 시점까지의 평균전력주파수 선형회귀기울기, (b) 50%Tend 시점까지의 평균전력주파수 선형회귀기울기, (c) 100%Tend 시점까지의 평균전력주파수 선형회귀기울기

Fig. 5. Scatter diagram of linear regressive slopes of mean power frequency(MPF) until 10%, 50% and 100% of Tend (a) MPF linear regressive slope until 10%Tend, (b) MPF linear regressive slope until 50%Tend, (c) MPF linear regressive slope until 100%Tend

지구력시간과의 관계에 따라 선형회귀식과 결정계수( $R^2$ )를 표기하였다. 중앙주파수의 기울기와 근지구력시간과의 결정계수( $R^2$ )는 각각 10%Tend 시점까지에서 0.0063, 50%Tend 시점까지에서 0.1742 및 100%Tend 시점까지에서 0.1871로 나타났다. 이와 같이 결정계수가 낮은 것은 그림 2에 기술한 바와 같이 중앙주파수의 표준편차가 비교적 크기 때문에 근지구력시간에 대한 상관성도 낮을 것으로 판단된다.

그림 5는 남녀 모든 피검자( $n = 8$ )들이 상완이두근의 등장성 운동을 수행하는 동안 평균전력주파수의 선형회귀 결과를 보여주고 있다. 그림 5의 (a)부터 (c)까지는 그림 4와 같이 근지구력시간의 10%Tend, 50%Tend 및 100%Tend에 해당하는 시점까지 각 피검자들의 선형회귀기울기들이다. 여기에서도 각 선형회귀기울기와 근지구력시간과의 관계에 따라 선형회귀식과 결정계수( $R^2$ )를 표기하였으며, 평균전력주파수의 기울기와 근지구력시간과의 결정계수( $R^2$ )는 각각 10%Tend 시점까지에서 0.0018, 50%Tend 시점까지에서 0.4367 및 100%Tend 시점까지에서 0.4690으로 중앙주파수보다 높음을 알 수 있었다. 이와 같이 50%Tend 시점 이상에서 산출한 평균전력주파수 기울기에 의한 결정계수가 중앙주파수의 것보다 약 2.5배 증가한 것으로부터 동일한 표피근전도에서 추출한 스펙트럼들 중에서 평균전력주파수가 근지구력시간을 예측하기에 중앙주파수보다 일관성이 있음을 확인할 수 있었다.

그림 6은 중앙주파수의 근지구력시간 및 평균전력주파수의 근지구력시간과의 각 피어슨상관계수를 %Tend 시점에 따라 비교하였다. 그림 4와 5에서는 결정계수를 이용하여 각 파라미터의 선형회귀기울기들과 10%Tend, 50%Tend 및 100%Tend 사이의 산점도를 보였지만 그림 6에서는 이들의 결과를 하나로 종합하여 피어슨 상관계수로 비교 하였으며 유의확률도 고려하였다. 시점이 근지구력시간의 10%Tend일 때는 평균전력주파수와 중앙주파수 모두 0.1 미만으로 상관도가 매우 낮으며 유의성도 없었다( $P > 0.05$ ). 그러나 근지구력시간의 50%Tend와 100%Tend일 때는 중앙주파수가 각각 0.42와 0.43 정도의 유의상관성을 보였으며( $P < 0.05$ ),

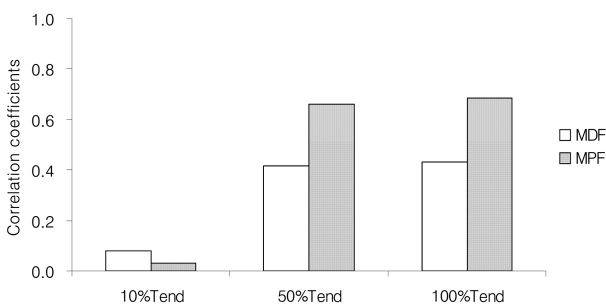


그림 6. 선형회귀 기울기와 지구력시간간의 상관계수 비교  
Fig. 6. Comparison of correlation coefficients between linear regressive slopes and endurance time

평균전력주파수는 각각 0.66과 0.68의 보다 높은 유의상관성을 보였다( $P < 0.05$ ).

정적운동인 등척성 운동시 근지구력시간을 예측하기 위해서는 최소한 근지구력시간의 50%Tend까지의 특징이 필요하다는 연구결과가 발표된 바 있다[14,16]. 본 연구에서도 동적인 운동인 등장성 수축운동시 근지구력시간의 50%Tend까지의 중앙주파수 또는 평균전력주파수의 선형회귀기울기를 이용하여 유의상관성을 얻을 수 있으며, 평균전력주파수를 이용하여 중앙주파수보다는 비교적 오차가 적은 근지구력시간의 예측이 가능함을 확인하였다.

#### IV. 결 론

최근의 연구에서 근전도의 등척성 운동시 추출한 평균전력주파수와 중앙주파수의 변화인 회귀 기울기는 근육의 전도속도 및 협력근과 연관성이 있으며, 근육의 피로감수성과 근지구력시간을 예측하는데 의미가 있다고 했다[1,2]. 본 연구는 동적인운동인 등장성 수축운동에서 표피근전도의 주파수 파라미터의 회귀분석기간에 따른 초기 변화만으로도 예측이 가능한지를 확인하고자 하였다.

근지구력시간까지 평균전력주파수와 중앙주파수의 변화 양상을 비교한 결과 서로 유의한 차이가 있었다. 또한 회귀분석기간을 근지구력시간의 10%Tend, 50%Tend 및 100%Tend로 나누어 그들의 회귀 기울기와 근지구력시간과의 유의 상관성을 비교 검토한 결과, 근지구력시간의 10%Tend까지의 중앙주파수와 평균전력주파수 회귀 기울기는 근지구력시간과 유의상관성이 없었으나 근지구력시간의 50%Tend 이상까지의 회귀 기울기는 근지구력시간과 유의상관성이 있었다. 특히, 결정계수가 높아 회귀분석의 적합성이 큰 평균전력주파수는 근지구력시간과의 상관성이 중앙주파수보다 크기 때문에 비교적 오차가 적은 근지구력시간의 예측이 가능한 주파수파라미터임을 확인하였다.

그러므로 근지구력시간의 예측을 위해서는 최소한 피검자의 근지구력시간의 50%Tend 이상 기간의 특징정보가 있어야 함을 확인하였으며, 주파수파라미터외의 다른 파라미터들은 근지구력시간의 50%Tend 이하에서도 근지구력시간과의 상관성 및 골격근 질환자의 표피근전도에서도 가능한지 연구할 필요가 있다고 사료된다.

#### 참고문헌

- [1] Bazzucchi I., Marchetti M., Rosponi A., Fattorini L., Castellano V., Sbriccoli P. and Felici F., "Difference in the force/endurance relationship between young and older men," *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 9, pp. 390-397, 2006.
- [2] Boyas S., Maïsetti O. and Guével A., "Changes in sEMG

- parameters among trunk and thigh muscles during a fatiguing bilateral isometric multi-joint task in trained and untrained subjects," *J. Electromyography and Kinesiology*, vol. 19, no. 2, pp. 259-268, 2006.
- [3] Y.J. Lee and Y.J. Chee, "Evaluation method of physical workload in overhead lifting posture using surface EMG analysis," *J. Biomed. Eng. Res.*, vol. 32, no. 4, pp. 328-335, 2011.
- [4] Bigland-Ritchie B., Donovan E.F. and Roussos C.S., "Conduction velocity and EMG power spectrum changes in fatigue of sustained maximal efforts," *J. Appl. Physiol.*, vol. 51, no. 5, pp. 1300-1305, 1981.
- [5] Iridiastadi H. and Nussbaum M.A., "Muscle Fatigue and Endurance during Repetitive Intermittent Static Efforts: Development of Prediction Models," *Ergonomics*, vol. 49, no. 4, pp. 344-360, 2006.
- [6] De Luca, C.J., "The Use of Surface Electromyography in Biomechanics," *J. Appl. Physiol.*, vol. 13, no. 2, pp. 135-163, 1997.
- [7] Lowery M., Nolan P. and O'Malley M., "Electromyogram median frequency, spectral compression and muscle fibre conduction velocity during sustained sub-maximal contraction of the brachioradialis muscle," *J. Electromyography and Kinesiology*, vol. 12, no. 2, pp. 111-118, 2002.
- [8] Karlsson J.S., Ostlund N., Larsson, B. and Gerdle, B., "An estimation of the influence of force decrease on the mean power spectral frequency shift of the EMG during repetitive maximum dynamic knee extensions," *J. Electromyography and Kinesiology*, vol. 13, pp. 461-468, 2003.
- [9] Allison G.T. and Fujiwara T., "The Relationship between EMG Median Frequency and Low Frequency Band Amplitude Changes at different Levels of Muscle Capacity," *Clinical Biomechanics*, vol. 17, pp. 464-469, 2002.
- [10] S.S. Lee and K.Y. Lee, "A Study on Low Frequency Band Selection as a Fatigue Parameters in Surface EMG during Isotonic Exercise of Biceps Brachii Muscle," *J. of Biosystems Eng.*, vol. 36, no. 4, pp. 285-289, 2011.
- [11] Agre, J.C. and Sliwa, J.A., "Neuromuscular Rehabilitation and Electrodiagnosis. 4. Specialized Neuroath," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol 81, pp. S27-31, 2000.
- [12] Moore D.P. and Kowalske K.J., "Neuromuscular Rehabilitation and Electrodiagnosis. 5. Specialized Neuroath," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 81, pp. S32-35, 2000.
- [13] Merletti R. and Roy S.H., "Myoelectrical and mechanical manifestations of muscle fatigue in voluntary contractions," *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, vol. 24, no. 6, pp. 342-353, 1996.
- [14] J.H. Van Dieën, P. Heijblom and H. Bunkens, "Extrapolation of time series of EMG power spectrum parameters in isometric endurance tests of trunk extensor muscles," *J. Electromyography and Kinesiology*, vol. 8, pp. 35-44, 1998.
- [15] Merletti, R., Lo Conte, L.R. and Orizio, C., "Indices of muscle fatigue," *J. Electromyography and Kinesiology*, vol. 1, pp. 20-33, 1991.
- [16] Maïsetti, O., Guével, A., Legros, P. and Hogrel, J.Y., "Prediction of endurance capacity of quadriceps muscles in humans using surface electromyogram spectrum analysis during sub-maximal voluntary isometric contraction," *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 87, no. 6, pp. 509-519, 2002.
- [17] Masuda, K., Masuda, T., Sadoyama, T., Inaki, M. and Katsuta, S., "Changes in Surface EMG Parameters during Static and Dynamic Fatiguing Contractions," *J. Electromyography and Kinesiology*, vol. 9, no. 1, pp. 39-46, 1999.