

# 근전도를 이용한 하퇴삼두근의 근피로 분석

동남보건대학 물리치료과

홍 완 성

대구대학교 대학원 재활과학과 물리치료 전공

김 기 원

대구보건대학 물리치료과

김 병 곤

대구대학교 재활과학대학원 재활과학과 물리치료 전공

오 정 립

## A Electromyographic Fatigue Analysis of the Gastrocnemius and Soleus

**Hong, Wan-Sung, P.T., PH.D.**

*Department of Physical Therapy, Dong-Nam Health College*

**Kim, Gi-Won, P.T., M.S.**

*Major in Physical Therapy, Dept. Rehabilitation Science School, Daegu University*

**Kim, byung-Kon, P.T., M.S.**

*Department of Physical Therapy, Taegu Health College*

**Oh, Joung-Lim, P.T.,**

*Department of Physical Therapy, Graduate School of Rehabilitation, Daegu university*

### <Abstract>

The fatigue process of the triceps surae was evaluated during a standing heel-rise test, comparing of pre-fatigue and post-fatigue. Sixteen healthy subjects with a mean age of 22.88 years participated. The heel-rise test was performed until exhaustion, and electromyographic activity expressed as mean value and root mean square of the gastrocnemius and soleus muscles were calculated. The average number of heel-rise performed was  $63.69 \pm 26.10$ . The result of this present study indicate that the EMG signal is sensitive to the different muscle fatigue. Mean value and RMS decreased significantly in after fatigue. Significant difference were found between the pre-fatigue and post-fatigue in the total subjects. But there were no significant changes in mean and RMS between the male and female during standing heel-rise test. The present results, showing decreased EMG signal in the triceps surae, could be used as reference when testing the fatigue process in different clinical conditions. Recommendations for standardization of a heel-rise test are given.

※ 본 연구는 동남보건대학 학술연구비 지원에 의하여 수행된 것임

## I. 서 론

근피로는 근육이 최대 수축할 수 있는 힘으로부터 감소하는 과정을 말하며 장시간 또는 과도한 활동으로 야기되는 불쾌, 능률저하, 그리고 자극에 대한 반응능력의 상실을 의미한다(Jaap et al, 1996; 이우주, 1996). 국소적인 근피로는 반복된 자극에 대한 단일 근육의 감소된 반응이며 이는 정상적인 생리학적 반응으로 운동단위 활동전위(motor unit action potential)의 진폭이 감소하여 신경, 근육계에서 힘 생산 능력(force generating ability)이 감소하는 것이다(Kinsner and Colby, 1996). 근피로의 원인은 운동계의 모든 단계에서 올 수 있으나 가장 흔한 원인은 저장된 에너지 또는 에너지 대사에 쓰일 기질의 고갈, 에너지 생성작용에 필요한 효소의 고갈, 산소의 공급부족 그리고 대사 노폐물이나 열의 축적 때문에 대사 작용이 방해받을 때 등이다(김진호와 한태륜, 1999; Duchêne and Goubel, 1990).

근육의 피로를 정량적으로 나타내기 위한 임상적인 평가방법은 피로를 유발하는 방법에 따라 두 가지로 나뉘어진다. 최대수축에 의해 자발적으로 유발된 피로검사와 전기적으로 유발된 피로검사가 그것이다(Binder-Macleod and Synder-Macker, 1993). 이 두 가지 피로검사는 생리적으로 거의 동일한 결과를 나타내며 신뢰도가 검증되어 임상적으로 널리 사용되고 있는 유용한 피로 검사법이다(Bigland-Ritchie and Woods, 1984; McDonnell et al, 1987). 근육의 피로를 확인하는 방법에 있어 가장 널리 이용되는 것 중 하나로 표면전극을 이용한 근전도 측정방법이 있다. 표면전극을 이용한 근전도 측정방법은 근전도 신호의 진폭을 반영한 Root Mean Square(RMS)값을 구하는 방법과 주파수 스펙트럼 분석에 의한 중앙주파수(MDF: median power frequency)와 평균주파수(MNF: mean power frequency)값을 구하는 방법으로 나뉘어진다(Vøllestad, 1997; 이영희 등, 1994; Ament et al, 1993).

근육 활동의 특성을 연구하기 위해 이용되는 근전도는 근육활동시 운동단위의 자극으로 인해 만들어지는 여러 활동전위 간의 시·공간적인 합으로 나타나는 미세하고 복잡한 랜덤 신호로 알려져 있다. 근전도는 현재 근육 신경의 작용으로 인하여 발생하는 근육 수축 정도를 정량화 할 수 있는 유일한 측정방법으로서 근전도 신호를 보다 효과적으로 분석하기 위한 다양한 기법들이 개발되고 있는 실정이다. 특히 근육의 활동과 힘과의 관계 또는 국소적인 근육피로를 정량적으로 분석하기 위해 여러 가지 수리적 파라미터들이 연구되어 왔다. 그 결과 근전도 신호의 진폭이 힘의 크기와 상당한 선형적 관계를 갖고 있는 것이 알려져 있고(Basmajian과 De Luca, 1985) 근육피로로 인한 주파수 천이를 통해 평균주파수(MPF)와 중앙주파수(MF)의 감소량을 측정하여 근육피로의 정도를 측정하기도 하고 근전도 진폭의 증가를 통해 근육피로를 예측하기도 하였다.

인체의 동작 중 체중을 지지하고 몸체를 들어올리는 발뒤꿈치 들기와 같은 저축굴곡시 중요한 역할을 하는 하퇴삼두근은 비복근의 내, 외측두와 가자미근으로 구성되어 있으며 각기 다른 근섬유 구성비율을 가지고 있기 때문에 피로상태에서 근전도를 이용한 스펙트럼의 중앙경향치를 비교하는데 적절한 근육이다(신현석, 1998). 가자미근은 느린 수축성과 피로저항이 특징인 type I 근섬유가 더 많이 존재하며(70~100%) 비복근은 type II 근섬유가 50% 이상을 차지하고 있다(Bilodeau et al, 1994; Kimura, 1989). 하퇴삼두근의 근육기능을 평가하기 위해 주로 사용되는 임상적인 검사는 하퇴삼두근의 반복적인 원심성 근활동과 구심성 근활동으로 구성된 선 자세에서 발뒤꿈치 들기 검사(standing heel-rise test)이다. 선자세에서 발뒤꿈치 들기 검사는 걷거나 달릴 때 저축굴곡하는 것과 같이 일상생활에서 정상적인 활동으로 자주 일어나며 저축굴곡근의 근력보다는 지구력을 반영한다. 발뒤꿈치 들기 검사는 신

장-단축 주기(stretch-shortening cycle)라고도 불리며 탄성에너지의 이용과 근활동의 근전기적 전위의 협력으로 인해 움직임의 속도와 원심성, 구심성 근활동 사이의 연결시간(coupling time)에 의존하여 변할 것이다(Ulla et al, 1998).

피로를 유발하고 측정하는 방법은 대상자의 협조정도나 대상자의 주관적 판단의 차이에 따라 달라질 수 있으므로 피로 발생정도를 수치화하고 정량화하는 방법이 모색되어야 한다. 또한 물리치료에서 사용하는 운동요법 적용시 혼란시키고자 하는 근육이 정확히 운동되어졌는지 아니면 다른 근육이 보상작용을 하였는지 확인하기 위해 피로의 정량적 분석은 필수적이다(Basmajian and De Luca, 1985).

따라서 본 연구에서는 건강한 성인의 하퇴삼두근을 대상으로 하여 선자세에서 발뒤꿈치 검사를 통해 대상자가 더 이상 운동을 수행할 수 없을 만큼 극도로 피로를 유발시킨 후 발생한 국소적 피로를 전기생리학적으로 설명하고자 한다. 또한 남, 녀 대상자간의 근피로도에 차이가 있는지 알아보고 하퇴삼두근 이외 다른 근육의 피로도를 검사하기 위한 기초자료로 삼고자 한다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

연구대상자는 신경계 및 근골격계의 병리학적 소견이 없고 정기적으로 근력강화 운동을 실시하지 않는 건강한 20대 성인 남, 녀 8명씩 총 16명을 대상으로 하였다. 이들은 연구내용에 대한 충분한 설명을 듣고 연구의 목적을 이해하였으며 실험에 동의하였다. 대상자의 평균 연령은 22.88(SD 2.28)이며 평균 신장은 166.63(SD 6.51), 체중은 56.75(SD 10.27)이었으며 남, 녀 대상자 각각의 특성은 다음 표 1과 같다.

Table 1. The general characteristics of the subjects

general characteristics	total(n=16)	male(n=8)	female(n=8)
	M±SD (Range)		
age(year)	22.88±2.28 (20~26)	23.13±2.64 (20~26)	22.63±1.20 (21~26)
height(cm)	166.63±6.51 (159~183)	171.38±5.45 (164~183)	161.88±3.09 (159~167)
weight(kg)	56.75±10.27 (42~78)	64.00±9.29 (52~78)	49.50±4.42 (42~56)
repetition times	64.38±25.48 (41~122)	63.00±28.46 (31~112)	63.69±26.10 (31~122)

## 2. 실험기구 및 실험절차

대상자들은 간편한 복장을 착용하고 하퇴삼두근의 근피로를 유발하기 위해 선자세에서 발뒤꿈치 검사를 실시할 수 있도록 발목을 10°정도 배측굴곡시킨 자세를 위해 10°로 경사진 wedge위에 오른발을 올리고 선자세에서 수행하였다. 대상자들은 발뒤꿈치 들기 검사에 익숙해지기 위해 먼저 왼쪽 다리에서 두 번의 예비검사를 실시하였다. 예비검사 후 15분후에 본 실험이 대상자의 오른쪽 다리에서 실시되었다. 대상자의 자세는 왼쪽 슬관절을 약간 구부리고 오른쪽 다리를 완전히 신전하여 wedge 위에 올라서서 앞쪽에 놓여진 허리높이의 table에 양손을 가볍게 올려놓은 자세에서 시작하였다. 발뒤꿈치 들기 검사는 최대한 발뒤꿈치를 들어 극도로 피로하여 대상자가 더 이상 발뒤꿈치를 수행할 수 없을때까지 시행하였다. 하퇴삼두근에 유발된 근피로를 측정하기 위해 근전도는 Noraxon사의 Myosystem 1200을 이용하였으며(그림 1) 전극은 직경은 3.8inch인 circular single electrodes가 사용되었다. 이 전극은 전극의 중심에 직경이 1inch인 Ag/AgCL snap electrode가 고정되어있는 자가접착식 일회용 전극이었다(그림 2). 이 전극은 자가접착식이어서 역동적 운동을 위해 적합하였으며 근육의 전극부착 부위는 피부의 저항을 감소시키기 위해 면도를 한 후 알코올로 닦아내었다. 2개의 전극을 근섬유의 방향으로 하퇴삼두근의 근복에 0.5cm의 간격을 두고 근접하여 부착하였고 접지전극은 발목의 외측복사뼈 부위에 부착하였다. 전극을 통해 전달된 근전도 신호는 Myosystem 1200을 이용하여 수집되었다. 먼저 선 자세에서 발뒤꿈치 들기를 수행하기 전 휴식상태에서 10초간 데이터를 수집하였고 극도로 피로하여 더 이상 발뒤꿈치 들기를 수행할 수 없을 때까지 반복한 후 바로 10초간의 근전도 신호를 수집하였다. 수집된 근전도 신호는 모든 대상자에서 10초간의 평균값과 정류된 신호의 평균 진폭인 RMS값을 측정하였다. 실험환경의 표준화를 위하여 모든 실험은 숙련된 동일한 검사자에 의해 실시되었다.



figure 1. EMG(Myosystem 1200, noraxlon)

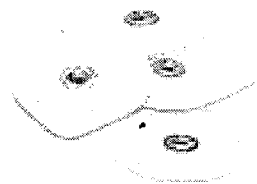


figure 2. circular single electrode.

### 3. 분석방법

본 연구 결과에 대한 통계분석은 SPSS win 10.0을 이용하였다. 하퇴삼두근의 근피로도 변화를 알아보기 위해 독립변수는 연구대상자로 설정하고 종속변수는 근전도의 평균값과 RMS값으로 채택하여 independent t-test 하였다. 피로를 일으키기 전과 피로를 일으킨 후의 평균값과 RMS값을 비교하기 위해 paired t-test를 실시하였다. 그리고 남, 녀 대상자를 각각 분리하여 피로전과 피로후의 피로변화율을 paired t-test로 비교하였다. 통계적 유의수준은 0.05와 0.01을 모두 이용하였다.

## III. 연구결과

### 1. 전체 대상자의 피로전과 피로후의 평균값과 RMS값

선 자세에서 발뒤꿈치 검사를 통해 하퇴삼두근의 피로를 유발하고 이를 근전도로 측정한 결과 전체 대상자에서 피로를 일으키기 전의 평균값과 RMS값은 각각 29.22(20.23), 292.40(202.48)이었으며 피로를 유발시킨 후에는 18.21(13.49)와 182.21(134.98)로 통계적으로 매우 유의한 감소를 나타내었다( $p < .01$ ).

table 2. comparison of pre-fatigue and post-fatigue in total subjects

fatigue index	pre-fatigue	post-fatigue	t-value	p-value
	M±SD (n=16)			
mean	29.22±20.23	18.21±13.49	4.078	0.001**
RMS	292.40±202.48	182.21±134.98	4.078	0.001**

\*\* $p < .01$

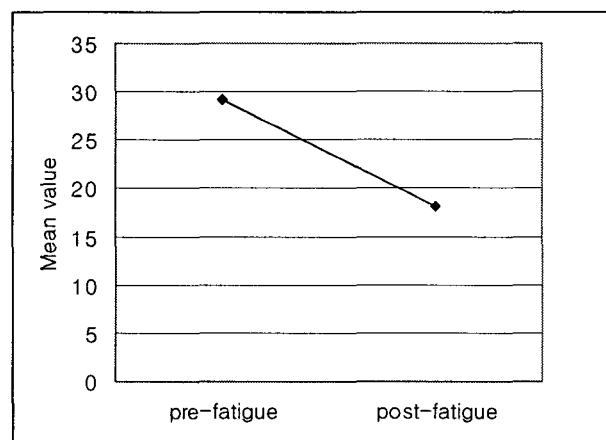


figure 3. Mean value of pre-fatigue and post-fatigue in total subjects.

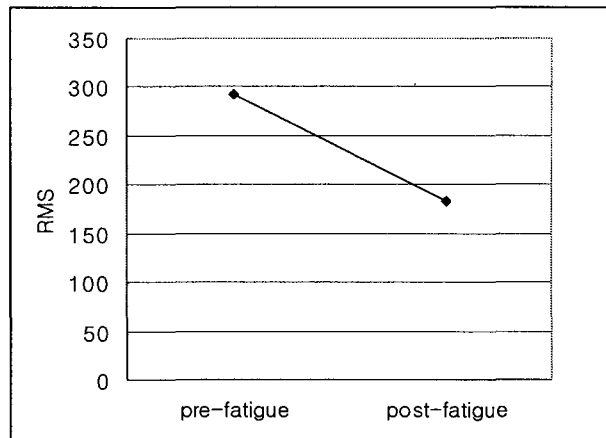


figure 4. RMS of pre-fatigue and post-fatigue in total subjects.

2. 남, 녀 대상자의 평균값과 RMS값의 차이 비교

대상자를 남, 녀로 구분하고 각각 독립변수로 하여 근피로가 유발되었을 때 평균값과 RMS값의 변화량을 계산하여 남, 녀 대상자 사이의 차이를 비교한 결과 남자의 경우 평균값이 12.39만큼 감소하였고 여자의 경우 9.63만큼 감소하였다. 그러나 이러한 평균값의 감소 정도는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. RMS의 경우에도 변화량이 남자는 124.01, 여자는 96.38이었으나 유의한 차이가 없었다( $p > .05$ ).

table 3. comparison of fatigue in male and female

fatigue index	male	female	t-value	p-value
	(n=8)	(n=8)		
M±SD				
mean	12.39±13.21	9.63±8.43	0.498	0.626
RMS	124.01±132.25	96.38±84.32	0.498	0.626

3. 남자 대상자의 근피로 전후 평균값과 RMS값 비교

남자 대상자의 피로를 일으키기 전과 피로를 유발시킨 후의 평균값을 비교하였더니 27.13에서 14.74로 유의한 감소를 나타내었고 RMS값도 유의한 감소를 나타내었다. 이러한 결과는 통계적으로 유의하였으며 다음 표 4에 정리하였다.

table 4. comparison of pre and post fatigue in male

fatigue index	pre-fatigue	post-fatigue	t-value	p-value
	M±SD (n=8)			
mean	27.13±22.25	14.74±11.29	2.652	0.033*
RMS	271.51±222.69	147.50±112.97	2.652	0.033*

\* p<.05

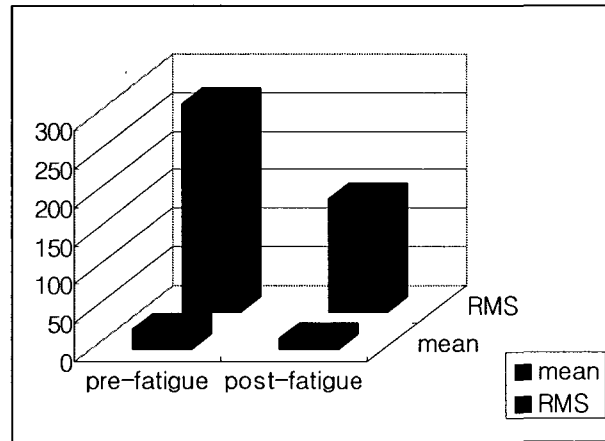


figure 5. Mean and RMS of pre-fatigue and post-fatigue in male.

#### 4. 여자 대상자의 피로 전후 평균값과 RMS값 비교

여자의 경우에도 피로를 유발시키기 전과 피로를 유발시킨 후의 평균값과 RMS값을 비교하였더니 피로를 일으킨 후에 유의한 감소를 나타내었다. 결과는 다음 표 5에 나타내었다.

table 5. comparison of pre and post fatigue in female

fatigue index	pre-fatigue	post-fatigue	t-value	p-value
	M±SD (n=8)			
mean	31.36±19.29	21.67±15.33	3.233	0.014*
RMS	313.30±193.04	216.92±153.39	3.233	0.014*

\* p<.05

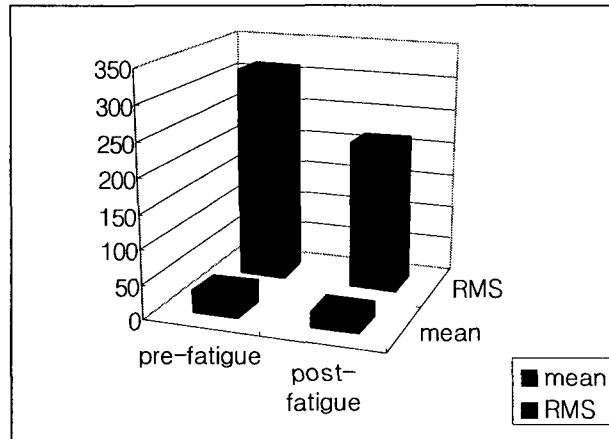


figure 6. Mean and RMS of pre-fatigue and post-fatigue in female.

#### IV. 고찰

근수축에 있어 운동신경원과 운동단위 활동전위의 양적인 변화를 연구하기 위해 다양한 표면전극 근전도 기법을 이용하고 있으며 근래에는 표면전극 근전도의 power spectrum 지표들을 이용하여 신경근질환, 호흡근의 피로, 물리치료의 유용성, 그리고 체력훈련 등을 평가하기 위해 근전도 신호의 특성을 분석하고 있다(Basmajian and De Luca, 1985; MacIntyre et al, 1998). 한 근육이나 근육군의 생체 그대로의 기능을 전기생리학적 방법으로 평가할 필요가 있을 때 근육의 활동양상이나 상대적인 수축력을 비교하기 위하여 시간 평면 근전도 신호의 진폭을 분석하는 방법이 있다. 많은 학자들은 근수축이 지속되면 근전도 신호의 진폭이 커지고 주파수 스펙트럼이 저주파수대로 감소한다고 보고하였는데 시간 경과에 따른 근전도 신호의 진폭 변화양상을 이용하여 국소적 근육의 피로도를 연구하는 방법이 있다(Lindstrom, 1981; Moritani et al, 1982)

근피로에 대해서는 여러 가지 접근법이 있을수 있으나 스펙트럼 분석을 이용한 평균주파수나 RMS값을 사용하는 것이 바람직하다고 생각되고 있다. Basmajian과 De Luca(1985)는 등척성 운동의 경우 근육의 피로가 누적됨에 따라 스펙트럼 분석을 통하여 얻어진 평균주파수의 감소현상 및 중앙주파수 및 RMS값의 증가현상을 보고하였으며 이는 기존의 연구결과와 일치하고 있다. 그러나 동적인 상태에서 반복적인 수축과 이완이 일어나는 운동에 관한 연구의 결과로 안재용(1998) 등의 연구에서는 중간주파수의 증가 및 중앙주파수 및 RMS값이 감소하는 현상을 보였다. 이는 본 연구에서와 동일한 결과를 나타내었다. 본 연구에서는 선 자세에서 발뒤꿈치 검사를 통해 피로를 유발시켜 피로전과 피로후의 근전도 신호의 진폭의 변화양상을 사용하여 국소적인 근육의 피로도를 연구하였다. 그 결과 하퇴삼두근의 반복적인 수축과 이완을 수행하여 피로가 유발된 후에 근전도 신호의 평균값과 RMS값이 유의한 감소현상을 나타내었다.

하퇴삼두근의 피로를 설명하기 위해 사용된 선자세에서 발뒤꿈치 들기검사의 횟수에 대한 많은 의견의 차이가 있어왔다. 잘 알려진 바대로 Kendal과 Beasley는 1회의 발뒤꿈치 들기



를 제안한 반면 Daniels 등은 4~5회를 제안하였다. Lunsford와 Perry는 20~59세 사이의 남녀 모두 정상적으로 25회 반복을 추천하였다. 본 연구에서는 하퇴삼두근의 피로를 일으키기 위해 사용된 발뒤꿈치 들기 검사는 시작자세가 배측굴곡하여 선 자세가 수평면에서 선 자세에 비하여 더 큰 움직임을 범위를 일으킬 것이라고 가정하여 10°로 경사진 wedge를 사용하여 발뒤꿈치 들기를 수행한 Ulla 등(1998)의 실험방법을 그대로 수행하였다. 또한 발뒤꿈치를 들어올린 높이는 수행력에 영향을 미치는 변수이나 발뒤꿈치를 들어올린 높이와 근육의 수행력은 높은 상관관계가 있어 발뒤꿈치를 작게 들어올리면 그만큼 많은 반복횟수를 실시하여야 근피로를 발생시킬 수 있으므로 높이에 상관없이 대상자가 극도로 피로할 때까지의 반복횟수를 수행하여 근피로를 발생시켰다. 그 결과 전체 대상자는 평균 63.69회의 발뒤꿈치 들기를 수행하였고 남자의 경우 64.38회, 여자의 경우 63.69회의 발뒤꿈치 들기를 수행하였다. 이는 25회를 나타낸 Ulla 등의 연구와도 차이를 나타내었으며 앞에 연구들과도 많은 차이를 나타내었다.

본 연구에서는 하퇴삼두근을 비복근과 가자미근으로 분류하지 않고 하나의 근육군으로 함께 분석하였으며 각각의 근육조성 비율에 따라 근피로 특성이 다르게 나타나는 것을 분석하지 못하였음을 연구의 제한점으로 밝혀둔다. 또한 연령이 20대의 성인으로 한정되어 있는 점과 근피로 지수로 근전도 신호의 평균값과 RMS값만을 선택한 것도 제한점으로 밝혀둔다. 이러한 문제는 추후 더 많은 연구가 필요하며 일정한 연령 그룹 뿐만 아니라 다양한 연령 그룹에서의 비교연구가 필요하며 다양한 피로지수를 선택하여 근육의 피로정도를 정량화 하는 것이 필요하다고 사료된다.

## V. 결론

본 연구는 하퇴삼두근의 근피로도에 관한 특성을 근전도를 이용하여 분석하였다. 하퇴삼두근의 피로를 유발시키기 위해 임상적으로 주로 사용되고 있는 선 자세에서 발뒤꿈치 들기 검사를 실시하였고 피로를 유발시키기 전과 피로를 유발시킨 후의 근전도 신호를 비교하였다. 또한 남, 녀 대상자간의 근피로 특성에 차이가 있는지 비교하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 전체 대상자의 피로를 일으키기 전과 피로를 일으킨 후의 하퇴삼두근의 근전도 평균값과 RMS값은 매우 유의한 감소를 나타내었다( $p < .01$ ).
2. 남, 녀 대상자 사이의 평균값과 RMS값 감소는 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > .05$ ).
3. 남자 대상자의 경우 피로를 일으키기 전과 피로를 일으킨 후의 하퇴삼두근의 근전도 평균값과 RMS값은 통계적으로 유의한 감소를 나타내었다( $p < .05$ ).

4. 여자 대상자의 경우 피로를 일으키기 전과 피로를 일으킨 후의 하퇴삼두근의 근전도 평균값과 RMS값은 통계적으로 유의한 감소를 나타내었다( $p < .05$ ).

#### 참고문헌

이영희, 전세일, 박창일. (1994). 자발적 수축시 근활동전위의 주파수 분석에 의한 인체골격근의 특성. 대한재활의학회지, 18:311-327.

원종임, 조상현, 이충휘, 권오윤. (2001). 등속성 운동시 근전도 주파수 분석에서 얻은 피로지수의 특성. 한국전문물리치료학회지, 8(3).

김유미, 조상현, 이영희. (2001). 등장성 운동시 회귀분석기간에 따른 근전도 중앙주파수 회귀직선의 특징. 한국전문물리치료학회지, 8(3).

김진호, 한태륜. (1999). 재활의학. 군자출판사

신현석. (1998). EMG Power Spectrum Analysis of the Medial Gastrocnemius and the Soleus Under the Fatigued Condition. 한국전문물리치료학회지, 5(4):9-19.

안재용, 한정수, 민기식. (1998). 근전도를 이용한 근피로도의 측정. 대한정형외과학회지, 33(4):1184-1192.

이우주. (1996). 필수의학사전. 아카데미서적.

Ament, W., Bonga, G. J., Hof, A. L., et al. (1993). EMG median power frequency in an exhausting exercise. *J Electromyogr Kinesiol*, 3:214-220.

Basmajian, J. V., De Luca, C. J. (1985). *Muscle Alive : EMG signal amplitude and force*. 5th ed. Baltimore, Williams & Wilkins.

Bigland-Ritchie, B., Wood, J. J. (1984). Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle and Nerve*, 7, 691-699.

Bilodeau, M., Goulet, C., Nadeau, S., Arsenault, A. B., Gravel, D. (1994). Comparison of the EMG power spectrum of the human soleus and gastrocnemius muscles. *Eur J Appl Physiol*, 68:395-401.

Binder-Macleod, S. A., Synder-Mackler, L. (1993). Muscle fatigue : Clinical implications for fatigue assessment and neuromuscular electrical stimulation. *Phys Ther*, 73, 902-910.

Duchêne, J., Goubel, F. (1990). EMG spectral shift as an indicator of fatigability in an heterogeneous muscle group. *Eur J Appl Physiol*, 61, 81-87.

Gerdle, B., Larsson, B., Karlsson, S. (2000). Criterion validation of surface EMG variables as fatigue indicators using peak torque: A study of repetitive maximum isokinetic knee extensions. *J Electromyogr Kinesiol*, 10:225-232.

Jaap, H., van Dieën, Willy, O., Huub, M. T. (1996). The influence of fatigue and velocity on erector spinae muscle fatigue and its relationship to changes of EMG spectrum density. *Eur J of Appl Physiol*, 72:310-315.

Kimura, J. (1989). *Electrodiagnosis in Disease of Nerve and Muscle : Principles and Practice*. 2nd ed. Philadelphia, F. A. Davis Co.

Kisner, C., Colby, L. A. (1996). *Therapeutic Exercise Foundations and Techniques*. 3rd ed. Philadelphia, F. A. Davis Co.

Linstrom, L., Magnusson, R., Petersen, I. (1970). Muscular fatigue and action potentials conduction velocity changes studied with frequency analysis of EMG signal. *Electromyography*, 10:341-356.

MacIntyre, D. L., Slawnych, M. P., Reid, W. D., McKenzie, D. C. (1998), Fatigue of the knee extensor muscles following eccentric exercise. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 38(1):3-9.

McDonnell, M. K., Delitto, A., Sinacore, D. R., et al. (1987). Electrically elicited fatigue test of the quadriceps femoris muscle : Description and reliability. *Phys Ther*, 67, 941-945.

Moritani, T., Nagata, A., Muro, M. (1982). Electromyographic manifestations of muscular fatigue. *Med Sci Sports Exer*, 14:198-202.

Ulla, S., Ulrika, O., Roland, T., Gunnar, G. (1998). Muscle Fatigue in a Standing Heel-rise Test. *Scand J Rehab Med*, 30:67-72.

Ulla, S., Ulrika, O., Gunnar, G., Katharina, S. S. (1998). The standing heel-rise test in patients with upper motor neuron lesion due to stroke. *Scand J Rehab Med*, 30:73-80.

Vøllestad, N. K. (1997). Measurement of human muscle fatigue. *Journal of Neuroscience Methods*. 74:219-227.