# 근전도를 이용한 근피로도의 측정

성균관대학교 의과대학 삼성제일병원 정형외과학교실 한성대학교 산업안전공학과 안전과학기술연구소\* 단국대학교 기계공학과\*\*

안재용 · 한정수\* · 민기식\*\*

— Abstract —

## Meaurement of the Muscle Fatigue Patterns using Electromyography Technique

Jae Yong Ahn, M.D., JungSoo Han, Ph.D.\*, Ki Sik Min, M.S.\*\*

Department of Orthopedic Surgery, Laboratory of Muscle Fatigue, Seung Keun Kwan University,
School of Medicine, Sam Sung Cheil General Hospital
Hansung University, Dept of Industrial and Systems Engineering\*
DanKook University, Dept of Mechanical Engineering\*\*

Injuries and pains of musculoskeletal joint in human body is common onset in industrialized world. However, muscle fatigue plays a very significant role in contributing causes of many pains associated with musculoskeletal joints. Based on this hypothesis, degree of muscle fatigue was investigated using electromyography measurement technique during isometric and concentric/eccentric muscle contractions. Different response of the muscle fatigue between two different muscle contractions (isometric and concentric/eccentric contractions) was examined by comparison of parameters which were median frequency, median power and RMS value. Healthy 16 young persons without previous musculoskeletal diesease history were tested with Noraxon Myosystem 2000 EMG measurement system. In this study, two different exercises were performed. First exercise was concentric/eccentric exercise. Second exercise was isometric muscle contraction. In the case of the isometric exercise, median frequency was decreased, but median power and RMS were increased. However, during the concentric/eccentric exercise, median frequency was increased, but median power and RMS were decreased. Both of those revealed that the pattern of the median frequency was "W" type, but median power and RMS were "M" type as time passed. In this study, the patterns of the muscle fatigue during concentric/eccentric exercise as well as isometric exercise were identified. It will be helpful to

<sup>※</sup> 통신저자: 안 재 용

서울특별시 중구 묵정동 1-19 성균관대학교 의과대학 삼성제일병원 정형외과학교실

<sup>\*</sup> 산업보건연구원의 용역과제연구지원금 및 한성대학교 교내특별연구지원금으로 수행하였음.

Key Words: Muscle fatigue, Electromyography

## 서 론

관절 주변에서 발생하는 규명이 불분명한 동통의 원인으로 근육이 관여할 것으로 생각하고 최근 근육에 많은 관심이 집중됨은 당연하다고 하겠다. 근육은 동통 뿐 아니라 관절에 변화를 일으킬 수 있어 근육에 대한 정확한 이해가 질환의 예방 및 진행을 지연시키는 데 중요하다.

근육의 수행능력은 근육의 피로도를 이용하여 평가할 수 있을 것으로 생각하여 저자들은 근전도 를 사용하여 측정하려고 하였다.

근전도 신호(EMG signal)를 실험에 의해 얻게 되는 정보들을 근육의 활동 유무, 근육의 활동 양 등을 기초로 해석하게 되며 근육 수축의 최대치의 양상과 중간 주파수(median frequency)를 관찰하여<sup>8,14)</sup> 변화하는 형태를 관찰하여 피로의 발생 등을 해석해 왔다<sup>7</sup>. 또한, Lindstrom 등<sup>111</sup>은 근육의 수축에 대하여 근전도 신호를 분석하여 중간 주파수의 천이 정도를 구해주고 스펙트럼 분석(Spectrum Analysis)기법을 근육의 활동 양을산정 하는데 이용하였다.

그러나 지금까지의 많은 연구들은 주로 일상 생활에서 요구되어 지는 운동과는 거리가 먼 등척성 운동(isometric exercise)에서의 근육의 활동 및 근전도 신호의 연구가 진행되어 왔다. 이점에 있어서 저자들은 근육의 운동을 근육의 등척성 운동뿐 만 아니라 근육의 반복적인 수축/이완 운동으로 구분하여 각각의 경우에 발생하는 근전도 신호

를 수학적 기법인 FFT(fast fourier transform)와 스펙트럼분석을 이용하여 해석하였다. 근육 피로도의 지수로 여기에서 얻어지는 중간 주파수 및 median power 그리고 RMS(root mean square) 12.131 를 사용하였으며 이들의 수치를 비교 분석하고, 근육의 등척성 운동과 반복적인 수축/이완 운동 시에 있어서, 정도에 따라 다르게 나타나는 근육 피로도의 차이 정도를 통계학의 일원일차 배치법(one-way ANOVA)을 이용하여 조사하였다.

이러한 정량적인 자료의 비교분석을 통해 근육의 수행능력을 측정 및 예견할 수 있다면 작은 부분이나마 동통의 원인을 규명하고 이러한 근육에서 진행된 여러 관절의 질병을 예방하는데 도움이될 것이다.

## 연구 대상 및 방법

근육 및 신경계통의 질병을 앓은 적이 없는 신체 건강한 사람 16명중에서, 근전도 신호의 특징인 중간주파수 및 median power, R.M.S 등의 매개변수를 분석하였으며 정량적으로 다른 피실험자에 비하여 그 경향이 뚜렷이 나타난 11명을 대상으로 하였다(Table 1).

크게 세 종류의 실험으로 나누고, 각각의 실험은 다시 소규모의 실험 군으로 나뉘었다. 각각의 실험 군 (Test 1: 2명, Test 2: 5명, Test 3: 4명)은 준비된 실험 방법 절차에 따라서 실험하였고, 관찰되어진 근육은 근전도 신호가 비교적 강

Table 1. subject information

	test 1		test 2		test3	
and the second	Age/Sex	Name	Age/Sex	Name	Age/Sex	Name
Subject 1	26/M	KS.Min	22/F	JY.Yi	28/F	SY.Ahn
Subject 2	20/M	SY.Ko	26/M	KS.Min	24/F	JS.Park
Subject 3			24/F	JS.Park	28/F	SJ.Lee
Subject 4			20/M	SY.Ko	24/F	MY.Jung
Subject 5			24/F	MY.Jung		

Fig. 1.
Experimental Block Diagram

AD Convertor

B

Statistical Processing & Analysis

Recording Bipolar Ag-Agol SEMG (bicep)

하게 나오는 이두박근을 선정하였다. 앉은 자세는 등과 의자 사이에 15° 각도를 유지하며, 들어 올려지는 무게는 주관절을 직각으로 유지한 상태에서 최대 굴곡(full flexion)으로 들어올리도록 설정하였다. 하중은 각각 남자인 경우 5㎏중, 여자인 경우 3㎏중인 바벨을 이용하였다(Fig. 1). 피실험자 사이의 주어진 실험 종류에 따라 근육 수축의 횟수를 일정하게 유지시키기 위해 메트로놈(metronome)을 사용하였다. 실험에 앞서서 피실험자에게 근육 수축 운동에 대한 내용과 실험목적, 필요성, 기기 및 측정 순서, 방법 등을 설명하여 본 연구에 대한 이해를 높이고 심리적 부담을 덜어 주도록 노력하였다.

실험범위와 소규모 실험 군은 다음과 같다.

Test 1: 무게 5kg(남자)의 무게를 들고 10분 동안의 휴식과 운동의 반복 동작을 통하여, 10초 동안 반복 수축 운동시 이두박근의 근육 피로도 경향을 관찰하였다(Fig. 2).

Test 2: Test 1에서 관찰된 현상들의 형태를 관찰하기 위해 Task 5에서 Task 10으로 하였다. 무게 5kg중(남자)/3kg중(여자)의 바벨 을 들고 10분 동안의 휴식과 운동의 반복 동작을 통하여, 10초 동안 반복 수축/이완 운동시, 피실험자이두박근의 근육 피로도의 차이를 측정하기 위함

이며, Test 1(Task 5)을 연장하여 피로도의 경향을 관찰하였다(Fig. 3)

Test 3: 무게 5kg(여자)의 바벨을 들고 5분 동안의 휴식과 운동을 통하여, 15초 동안 등척 운 동시의, 이두박근의 근전도상 피로도 변화를 측정 하였다(Fig. 4).

본 실험에서 사용된 근전도 기기는 Myosystem 2000으로 사용되어진 근전도 전극(Al-AgCl 합금)은 noraxon™에서 제공하는 시그널의 잡음 이 비교적 적은 직경 10mm 디스크 모양의 표면전 극(surface bipolar electrode)을 사용하였으며, 근육의 방향과 가능한 한 수직 방향으로 부착하였 고 전극 중심간의 거리는 2.6cm로 하였다(Fig. 5.6). 근전도 측정 시 불필요한 잡음을 제거시키 기 위해 표면 전극을 피부에 접촉시키기 전에 접 촉할 부위를 선정하고, 사포로 가볍게 문지르고 알코올로 닦아낸 후 부착하였으며, 피부 온도의 온도 보상을 위하여 1시간 후에 실험을 실시하였 다. 표면 전극의 설치가 끝난 후엔 실험에 들어가 기 전에 피실험자로 하여금 하중 없이 운동을 취 하게 하여, 이에 발생하는 근전도 신호를 세심히 관찰하여 거시적인 시그널의 잡음이 관찰되는 경 우 이의 원인을 제거시켰다. 또한 매 실험을 행할 때마다 근전도 신호에 따른 변화를 피실험자에게

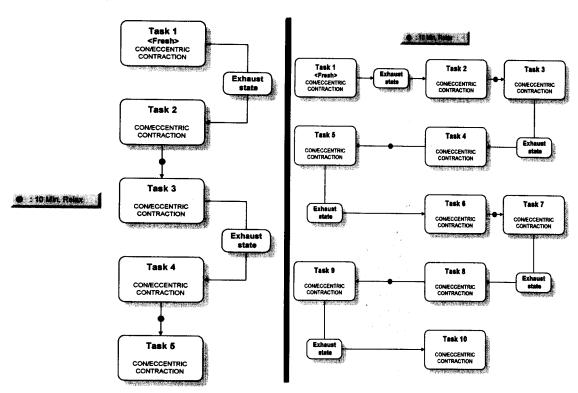
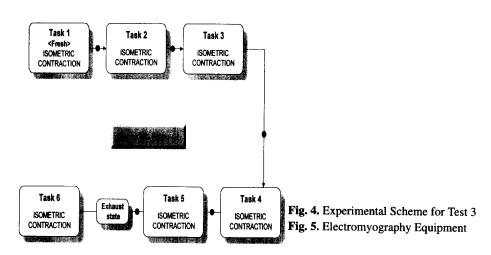


Fig. 2. Experimental Scheme for Test 1 Fig. 3. Experimental Scheme for Test 2



설명하고 문제점을 지적해 주었다. 표본 주파수 (sampling frequency)를 등척성 운동인 경우 1024년, 반복적인 수축/이완 운동 인 경우 2048년로 하였다. 시간은 Test 1:10초, Test 2:10초, Test 3:15초로 하였고, 매 실험마다 피실험자에게 개인이 느끼는 피로의 정도를 설문지를 통하여 작성하였으며, 이러한 정성적 자료는,

후에 구하여 지는 정량적 결과와 비교 분석에 사용되었다.

각각의 실험에서 얻어지는 근전도의 자료로부터, 중간주파수와 median power 그리고 R.M.S를 구하고 근전도의 중간 주파수가 나타내는 특성을 주시하고 모든 자료를 도표화함으로서 나타내었다. 중간 주파수 해석에 있어서 효과적인 스펙트럼 분

**Fig. 6.** Active surface electrodes in bipolar configurations. The circular unit contains a ground ring around the perimeter of the electrode(patent pending).

석은 다음과 같다. 표본주파수 가 1024Hz (Test 1 and Test 3)인 경우 FFT Length : 1024Hz로 하여 Resolution=1Hz (1초에 데이터를 1024개씩)로 하였다. 스펙트럼 부분에서 중간 주파수의 밀도가 높은 곳은 밴드폭을 정하여 해석하였고, 표본주파수가 2048Hz (Test 2)인 경우 FFT Length를 2048Hz로 하고 Resolution=1Hz (1초에 데이터를 2048개씩)로 하였다.

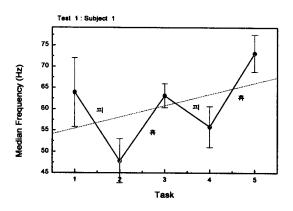
#### 결 과

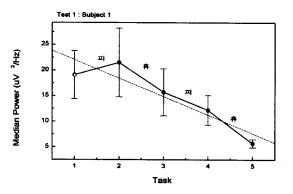
#### 가. Test 1:

본 실험에 있어서는 근육의 반복적 수축/이완 운동의 경우로서 test 1을 구성하고 있는 소규모의 실험군(Task 1-Task 5)을 통하여 근육의 휴식 정도에 따라 중간 주파수의 국소적인 증/감이 관찰되었으며, 실험 전반에 걸친 중간 주파수는 피실험자 마다 정도의 차이는 관찰되었으나 누적된 근육의 피로의 정도에 따라 점차 증가하는 형태를 보였다. 이와 반면에, median power 와 R.M.S의 수치는 실험 전반에 걸쳐 점차 감소하는 경향이 관찰되었다(Fig. 7 (a), (b) and (c)).

Fig. 7에서 보는 바와 같이 중간 주파수, median power 및 R.M.S수치들의 전체적인 경향이 주기적인 형태를 취하는 것을 보여준다. 이것은 근육의 수축/이완을 통하여 발생하는 근육의 피로 및 회복을 거쳐 얻어지는 결과라고 말할 수 있다.

Task 1은 5kg을 들고서 정상 상태에서 운동을 한 경우이고, Task 2는 근육의 격한 수축/이완으





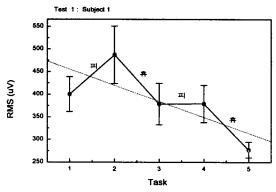


Fig. 7. Test 1 Median Frequency( $H_2$ ), Median Power( $\omega^2$ /  $H_2$ ) and Root Mean Square ( $\omega$ ).

로 피실험자로 하여금 100%피로함을 느끼게 된후의 근육을 수축하게 하는 상태로서, 피실험자 1의 결과치를 조사해 보면, 중간 주파수가 63.9에서 47.8Hz로 급격하게 감소하는 것을 볼 수 있었고 반면에 median power는 1.9E<sup>10</sup>에서 2.2E<sup>10</sup>

 $\omega^2/\text{Hz}$ 로 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. 10분의 휴식을 거치고 같은 동작으로 행하여진 Task 3 과 Task 4을 비교하여 보면, 63.2에서 55.8Hz로 중간 주파수가 감소하는 경향을 보였다.

Task 3는 Task 2를 수행한 후, 10분의 휴식을 취한 후에 운동을 한 경우이며, 피실험자1 의경우 중간 주파수(63.2 Hz), median power (1.6 만 사²/hz), R. M. S(379 W)로서, Task 1 의결과와 비슷한 수치로 나왔으나, 피실험자2에 있어서는 이러한 수치들이 Task 1에서 얻은 결과치보다 다소 큰 수치로 나타났다. 역시 Task 2와같은 방법으로 근육이 완전히 지친 상태에서 수행되어진 Task 4을 보면, 중간 주파수와 median power가 각각 55.8 hz와 1.2 W²/hz로 Task 1의결과 보다 급격하게 다시 떨어지는 현상을 보였다. 이것을 연속적인 형태, 즉 Task 1 & 2, Task 2 & 3, Task 3 & 4, Task 4 & 5를 회귀분석을 통하여 나타내보면 감소/증가하는 형태를 볼 수 있다.

직선 Task 1 & 2는 최초에 운동 시 정상상태 에서 시작하여 근육의 피로 상태가 최대치인 상태 를 나타내고 있으며 근육의 피로에 따라서 중간 주파수가 떨어지는 형태를 나타내고 있다. 직선 Task 2 & 3은 10분의 휴식 즉, 회복기간을 통 해서 1 & 2에서와 같은 방법으로 운동을 하게 되 며, 중간 주파수 수치가 근육의 회복으로 인해 증 가하는 형태를 취했다. 직선 Task 3 & 4는 Task 1 & 2와 방법에서는 같지만 중간 주파수가 떨어지는 범위가 더 광범위하게 나타남을 알 수 있고 이것은 피로의 누적된 영향으로 같은 힘을 내고 있음에도 계속 된 근육의 이완/수축으로 인 해 그 경향이 다름을 알 수 있다. 직선 Task 4 & 5는 Task 2 & 3에서와 같이 회복기간을 통 해서 다시 중간 주파수가 증가하는 경향을 보여 주고 있다.

이와 같이 중간 주파수, median power 및 R.M.S수치들의 증감을 관찰한 결과 중간 주파수는 근육의 수축/이완과 회복 그리고 그 형태의 반복으로서 마치 영문자 W의 형태로 median power와 R.M.S는 반대의 형태인 영문자 M의형태로 나타나게 되는데 근육의 반복적인 사용으로서 힘의 허용을 누적 시켜 계속 떨어뜨리는 결

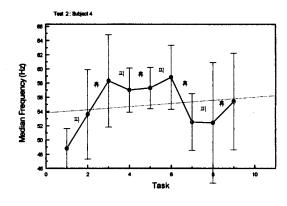
과로 인함을 볼 수 있었다. 위와 같이 중간 주파수, median power, R. M. S의 수치들이 국부적인 증감 형태를 보여주나, 반복적인 근육의 수축/이완 운동으로 인하여 누적된 근육의 피로도는 피로의 정도가 심화됨에 따라 중간 주파수의 전체적인 증가 현상과 median power 및 R. M. S의 수치들의 전체적인 감소 현상으로 나타났다.

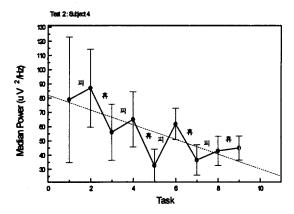
## 나. Test 2 :

본 실험에서는 Test 1의 연장으로, 10분간의 휴식 후의 근육의 반복적 이완/수축의 운동의 형태를 좀 더 깊이 있게 관찰함으로서 정량적으로 얻어진 결과들의 형태를 알아보고 휴식 과 피로후의 근전도 변화에 대한 특성을 살펴보도록 한 것이다(Fig. 8 (a), (b) and (c)).

Test 1에서 얻은 결과와 마찬가지로 근전도의 중간 주파수, power spectrum 및 R.M.S의 수치를 통하여, 이들 수치들의 변화의 특성이 관찰되었다. 이들 수치들의 국부적인 변화의 특성에 있어서, Test 1에서 관찰되어진 것과 같은 중간 주파수의 영문자 W형태와 median power, R.M.S의 영문자 M의 변화 형태가 근육의 주기적인 이완/수축/회복을 통하여 관찰되었다. me-dian power 및 R.M.S의 변화 형태는 글자 W의 역형태인 글자 M 인 형태를 취하는 것을 보아서는, 중간 주파수가 증가하면 반대로 median power와 R.M.S는 떨어지는 현상을 보인다는 것이다.

수치들의 변화 형태는 피실험자마다 다소간의 차이는 있었으나, 주어진 Task 수가 증가할수록 중간 주파수의 변화 형태인 영문자 W의 형태와 median power 및 R.M.S의 영문자 M의 형태가 다소 옆으로 벌어지는 형태를 취했다. 이것은 동일한 방법으로 실험을 계속할수록 근육 피로의 누적으로 인하여 중간 주파수, median power 및 R.M.S수치들이 주기적인 증/감의 형태를 보이지만 피로가 더욱 누적 될수록 Task들 사이의이들 수치들의 변화 폭은 상대적으로 낮아지는 것을 나타내 주고 있다. 이것은 근육의 수축으로 인해 누적된 피로로 근육의 허용 한계를 떨어뜨리는 것으로 해석할 수 있고 이러한 정량적인 수치를 통하여 근육의 피로 정도를 해석할 수 있었다.





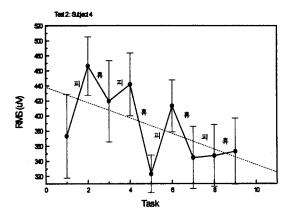


Fig. 8. Test 2 Median Frequency( $H_2$ ), Median Power( $\mu V^2 / H_2$ ) and Root Mean Square ( $\mu V$ ).

#### 다. Test 3:

이는 등척성 운동으로 마지막 Task 6에서는 근육의 수축이 최대인 완전히 지친 상태에서 중간주파수, median power 및 R. M. S의 변화 형태를 알아보기 위해서 실험을 행하였다. Test 1과 Test 2의 근육의 반복적 수축/이완 운동시의 중간 주파수의 감소와 median power, R. M. S의천이 현상과는 정반대의 형태를 볼 수 있었다 (Fig. 9 (a), (b) and (c)).

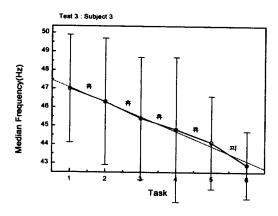
Fig. 9의 (a), (b), (c)는 같은 힘을 내고 있는데도 시간이 지남에 따라 근전도의 진폭이 증가하고 피로가 누적됨에 따라 중간 주파수가 낮은 쪽으로 이동하며 피부의 로패스 필터효과(lowpass filter)효과에 의해 점점 많은 에너지가 전달되기때문이라는 기존의 연구 결과와 일치하였다". Fig. 9에서와 같이 연속적인 형태를 보게 되면 중간 주파수는 감소인 반면 Median Power 및 R.M.S의 전체적인 증가현상이 관찰되었다. 본 Test 3에서 관찰되어진 등척성 운동에서의 근전도의 중간 주파수, median power, R.M.S의수치들은 반복적인 근육의 수축/이완 운동에서 나타나는 이들의 수치들과는 정반대인 변화 현상이나타내고 있음이 관찰되었다.

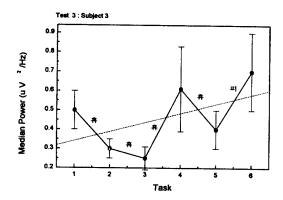
## 고 찰

저자들은 비정상적인 외력과 근육 손상 및 잘못된 자세로 인한 만성적인 근육의 과부하 등으로인해 근육손상을 근전도 지수를 이용하여 근피로도를 측정하고 원인을 규명하기 위하여 우선 정상인을 통하여 등척성 운동뿐만 아니라 일상생활에더 적응도가 높은 수축/이완 운동을 통하여 근피로현상을 발견하려고 하였다.

근육피로에 대한 접근방법이 여러 가지 있을 수 있겠으나, 스펙트럼 분석을 이용하여 평균 주파수, mean power 및 R.M.S의 매개변수를 조사하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

Basmajian와 Lucal<sup>®</sup>은 등척성 운동의 경우 근육의 피로가 누적됨에 따라 스펙트럼 분석을 통 하여 얻어진 중간 주파수의 감소현상 및 median power 및 R.M.S수치의 증가현상은 기존의 연





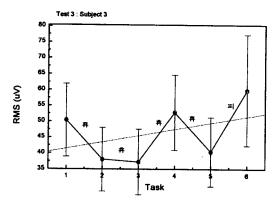


Fig. 9. Test 3 Median Frequency( $H_2$ ), Median Power( $\mu N^2 / H_2$ ) and Root Mean Square ( $\mu N$ ).

구 결과와 일치함과 동시에 정설로서 받아 들여지 고있다. 그러나 본 연구와 같은 동적 상태인 반복 적 수축/이완 운동에 대한 연구는 된바 없었다. 그러나 본 연구에서 중요한 사실은 등척성 운동의 경우와는 반대로 중간 주파수의 증가 및 median power 및 R.M.S수치가 감소하는 매우 특이한 현상으로 보였으며 그 생리학적인 이유에 대하는 향후 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한, 동적인 운동 상태에 있어서 근육 수축에 따른 정량적인 데이터를 가지고 일반인의 작업 자세에 따른 피로도의 누적 발생원인 규명도 해결해야할 과제로 생각되며 실제 정상인 및 근육 신경계통의 손상을 근전도의 지수로서 해석할 수 있는 방향을 제시할 수 있을 것으로 생각된다.

## 결 론

본 연구에서는 정상 성인 남여의 이두박근의 등 척성 운동 및 반복적 수축/이완 운동시의 근전도 를 측정하였으며, 스펙트럼 분석을 통하여 근전도 의 분석 매개변수들로서 중간 주파수, median power및 R.M.S 수치들을 사용하여 근육의 근 피로현상을 정량적으로 발견 할 수 있었다. 임상 적 응용으로는 최근 VDT(Visual Diplay Terminal)의 사용으로 상지의 누적질환을 야기하는 경우가 많이 있어 실제 근전도를 이용하여 본 연 구에서 사용한 근전도 지수를 이용하여 실제 작업 장(작업시간별 근피로도 측정)에서도 사용 할 수 있으리라 생각되며 반복적 수축/이완 운동의 경우 에도 근육피로현상을 근전도를 이용하여 발견할 수 있음은 앞으로 이를 이용하여 많은 연구가 더 욱 진행되어 근육의 수행능력으로 인한 동통의 예 방 및 재해 방지에 기여하기를 바란다.

#### REFERENCES

- Armstrong TJ, Fine, LJ, Goldstein, SA, Lift-shitz, YR, and Silverstein, BA: Ergonomics Consideration in Hand and Wrist Tendonitis: J.Hand Surg. 12:830-837.1, 1987
- 2) **Angel RW**: Electromyographic patterns during ballistic movement of normal and spastic limbs. *Brain Res* 99:387-392, 1975
- Allen CEL: Muscle action potentials used in the study of dynamic anatomy. Br J Phys Med 11:66-73, 1948.

- 4) **Basmajian JV**: Electromyography. *Univ Toronto Med J* 30:10-18, 1952.
- 5) **Becker RO**: The electrical response of human skeletal muscle to passive stretch. *J Bone Joint Surg* 42A:1091-1103, 1960.
- 6) Bellemare F and Grassino A: The fatigue and recovery of the human diaphragm. In Proc 4th Congr of the Int Soc of Eletrophysiol Kinesiol 74-79, 1979
- Basmajian JV and DeLuca CJ: Muscle Alive-Their Functions Revealed by Electromyography, ed 5. Baltimore, Williams & Wilkins, p205, 1985
- 8) Flint MM: Abdominal muscle involvement during performance of various forms of sit-up exercise. Am J Phys Med 44:224-234, 1965
- 9) Herberts P,Kaiser E, Magnusson R and Petersen I: Power spectra of myoelectric signals in muscles of arm amputees and healthy normal

- controls. Acta Orthop Scand 39:1-32, 1969.
- Hayes KJ: Wave analysis of tissue noise and muscle action potentials. J Appl Physiol 15:749-752, 1960.
- Lindstrom L, and Petersen I: Muscle load in-fluence on myoelectric signal characteristics. Scand J Rehabil Med 3:127-148, 1974
- 12) Lindstrom L, Petersen I: Power spectra of myoelectric signals: Motor activity and muscle fatigue. In Stalberg E, Young RR(eds): Neurology: I. Clinical Neurophysiology. Stoneham, MA, Butterworth Publishers, pp 66-87, 1981
- 13) Milner-Brown HS and Stein RB: The relation between the surface electromyogram and muscular force. *J Physiol (London)* 246:549-569, 1975
- 14) Stulen F: Frequency parameters of the myoelectric signal as a measure of muscle condution velocity. IEEE Tras. Biomed. Eng. 28:512-523, 1981.