

근전도를 통한 척추 근육의 피로도의 정량화 및 척추손상에 미치는 영향 연구

한정수 · 박현석

한성대학교 기계시스템공학부, (안전과학기술연구소)

(1999년 10월 7일 접수, 2000년 2월 19일 채택)

Quantification of Degree of Fatigue in Back Muscle and Its Influence on Back Injury Using Electromyography Measurement

J.S. Han, H.S. Kwag

Department of Mechanical Systems Engineering

(Received October 7, 1999. Accepted February 19, 2000)

요약 : 본 연구는 림통의 반복적인 flexion/extension 동작 수행시 근전도신호를 측정하고 이들 신호에서 나타난 EMG parameters(median frequency, median power, RMS)와 피실험자의 주관적 불편도의 변화양상간의 정량적인 관계를 알아보고자 수행되었다. 피실험자별로 3-5회 정해진 업무를 수행하였고 주관적불편도와 근전도 신호를 측정하였다. 실험결과 반복횟수가 증가할수록 주관적 불편도는 증가하였으며 각 task별로 EMG parameter와 불편도의 증감을 간의 회귀분석과 상관분석을 수행한 결과 실험과 EMG parameter에 따른 변이는 존재했지만 대체로 RMS에 비해 MF와 MP의 증감이 불편도 증감과 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

Abstract : The purpose of this study is to prove quantitative relationships between change patterns of subjective discomforts and those of EMG parameters such as median frequency, median power, and RMS(root mean square) in repetitive trunk flexion/extension motion. While each subject performed a series of 3 or 5 tasks, subjective discomforts and EMG signals were measured. As a result, subjective discomforts are increased(comforts were decreased) by increasing number of repetition. Each task was analyzed by linear regression and correlation analysis between fluctuation ratio of EMG parameters and these of subject comforts(100-subjective discomfort). Although variations are clearly existed between each parameter and experiment, on the whole, variabilities of MF(median frequency) and MP(median power) were much smaller than that of RMS.

Key words : Median frequency, Median power, RMS, EMG

서 론

1. 연구배경 및 연구목적

우리나라는 1983년을 기점으로 산업재해수는 감소하는 것으

로 보고되고 있으나, 요통재해는 전체 산업재해에서 차지하는 비율과 재해보상비 총액에서 지속적으로 증가하는 추세이다. '88~'90년, 3년간의 재해를 분석한 결과 허리부상자가 매년 전체재해의 약 7.0%를 차지하고 있었으며, 전년대비 약 10% 이상씩의 증가추세를 보이고 있었다[1]. 또한 1998년 산업재해 현황에 의하면 업무상 질병 1,288건 중에 요통은 51건으로 전체의 4.0%를 차지하며 주로 제조업과 건설업에서 발생한 것으로 나타나고 있다.

요통(특히 직업성 요통)의 위험요인으로는 부자연스런 자세(굽히거나 비틀는 자세), 중량물 무게, 작업시간(근속연수), 작업강도(중량물 들기빈도) 등 여러 가지가 있을 수 있다. 우리나라에서 수행된 한 연구결과에 의하면 자동차 부품 중 브레

이 논문은 (1998년) 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

통신저자 : 한정수, 서울시 성북구 삼선동 2가 389번지
한성대학교 산업시스템 공학부
Tel. (02)760-4323, Fax. (02)760-4358
E-mail : jshan@hansung.ac.kr

이크를 제조하는 회사에서 1527명 중 46건의 재해가 발생했으며 상해부위별 재해발생현황을 보면 전체 재해 중에서 45.65%가 허리에 무리한 통증이 있는 요통(Low Back Pain, LBP)으로 판정되었고, 이는 반복적인 인력운반작업(Manual Material Handling, MMH)이 주원인으로 밝혀졌다[2]. 외국의 문헌을 보면 산업현장에서의 요통은 중량물 취급 시 과격한 근육작업으로 인해 허리에 무리한 힘이 가해짐으로써 발생한다[3]고 보고하고 있으며, Pulat 등의 연구에 의하면 들기, 놓기, 밀기, 끌기, 운반 등 인력운반작업 중 들기와 놓기가 LBP의 50-60%를 차지한다고 한다[4].

요통은 아직까지 정의, 분류, 진단에 대한 공통적으로 일치된 견해가 없기 때문에 다른 어떤 질병보다도 진단이 어렵다. 따라서 예방뿐만 아니라 의학적인 정의와 진단기준의 확립이 무엇보다도 필요하다. 이를 위해서는 주관적인 증상에 대한 평가뿐만 아니라 객관적 지표의 개발 등에도 더 많은 연구가 필요한 실정이다.

대다수의 사람들은 ‘muscle fatigue’를 주관적 감각으로서 즉, force를 지속하는데 드는 노력의 증가, 또는 근육활동 시의 불편함이나 통증으로서 해석하고 있으나 과학적 의미에서는 측정방법에 크게 좌우되는 operational definition을 사용하고 있다. 따라서 생리학적 측정결과와 심리적으로 경험하는 근피로의 연관정도의 타당성(validity)을 밝히는 것은 중요한 문제이다[9]. 등척성 운동 시 국소근육피로에 대한 이전의 연구에서는 근육이 자발적으로 수축하는 동안 피로의 누적에 의해 EMG signal의 주파수성분이 낮은 값으로 천이된다는 것이 밝혀져 왔으며 이러한 천이가 근피로의 지수로 사용되어 왔다[5-8]. 그러나 반복적인 수축/이완에 대한 연구는 상대적으로 미미한 실정이다. 본 연구는 척추부하의 실시간상 변화를 예측하기 위해 정량화된 피로도를 적용할 수 있는 3차원 생체역학 모델개발 연구의 기초단계로서 작업시의 시간대별 근육의 근전도를 이용한 근육의 피로도를 규명하고 이를 피실험자의 주관적 불편도와 연관시켜 정량화하는 것을 목표로 하고 있다.

실험방법 및 내용

본 연구에서는 주관적 불편도[9-11] 평가를 위해 사전에 비올제시능력 검증을 위한 pre-test를 실시하여 과거 근골격계 질환을 앓은 적이 없는 건강한 25세의 남자대학생과 26세, 30세의 남자 대학원생 총 3인을 피실험자로 선정하였다. 피실험자는 실험대에 하지를 결박한 후 허리근육만을 이용하여 상지를 들어올리는 운동으로 30회를 하나의 task로 하여 분당 4회씩 연속적으로 수행하였고 30회를 마칠 때마다 5분간의 휴식을 취했다. 근전도신호와 주관적불편도는 매 task 최초 1회와 매 10회마다 측정·기록하였다. 또한 운동 범위를 알아보고자 Electrogoniometer를 부착하여 각도를 실시간 측정하였다. 실험절차는 다음과 같다(Fig. 1).

단, task의 수는 피실험자의 근력차이가 있을 수 있으므로 일률적으로 적용하지는 않고, 개인차이를 인정하였다. 주관적

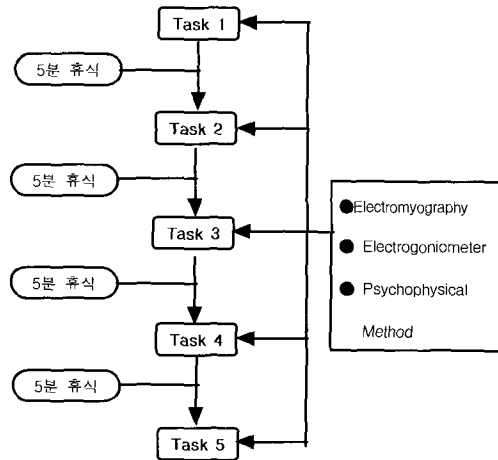


그림. 1 실험진행도
Fig. 1. Flow chart of Experiment

불편도는 Magnitude Estimation[10,12] 기법 중 피실험자가 스스로 설정한 기준에 따라 평가하는 방식인 Free-modulus Method를 이용하였고 측정된 데이터는 Max-Min 표준화 방법을 이용하여 0-100 사이의 척도로 표준화하였다. 표준화 이후 불편함을 느끼지 않는 상태를 100으로 하여 상대적인 안락도(100-표준화된 주관적 불편도)의 증감으로 평가하였다.

Standardized Value =

$$100 \times \frac{(Raw\ Data - Minimum\ Data)}{(Maximum\ Data - Minimum\ Data)}$$

Minimum Data : 각 피실험자의 주관적 불편도 최소값

Maximum Data : 각 피실험자의 주관적 불편도 최대값

안락도 = 100 - Standardized Value

근전도 측정은 Noraxon 사의 Myosystem 2000 Surface Electromyography를 이용하여 L3/L4 수준의 좌·우 Erector spinae muscle의 근전도 신호를 측정하였다. 전극(A1-Agel 합금)은 직경 10mm disc 모양의 Surface Bipolar Electrode를 사용하였으며, 근육의 방향성분과 가능한 수직방향으로 부착하였다. 표본주파수(Sampling frequency)는 1024Hz로 하였고 recording channel은 raw와 integrated type 으로 하였으며, scale은 1000μV로 하였다. 각각의 근전도 신호는 Exhaustive analysis 및 Power spectrum analysis를 수행하였다. Electromyograph measurement system을 통하여 측정된 raw EMG signal은 불연속한 형태이므로 이를 연속적인 형태로 변환하기 위해 FFT변환(Fast Fourier Transform)을 수행하였으며 FFT length를 1024Hz로 정하여 Resolution은 1Hz로 하고 Bandwidth는 0-512Hz로 정하여 해석하였다.

운동의 시점과 중점을 파악하고 피실험자의 운동범위를 평가하고자 피실험자의 등쪽 몸중심선 위에 평행하게 Penny &

Giles 사의 Biaxial Eletrogoniometer를 부착하였다. 각각의 피실험자의 운동범위는 Subject 1은 평균 56.0-73.6°의 범위에서 운동을 수행하였으며 총 3회의 실험에 대한 분산분석결과 실험간 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). Subject 2는 평균 47.4-58.2°의 범위에서 운동을 수행하였으며 총 3회의 실험에 대한 분산분석결과 실험간 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). 1회 실험한 Subject 3은 평균 59.1° (52-72°)의 범위에서 운동하였다. 거의 모든 근전도신호와 각도변위간에는 약간의 시간차이가 존재하는 것으로 관찰되었다(Fig. 2). 이는 피실험자가 운동을 수행하기 위해 힘을 가하는 시점에 이미 활동전위는 발생하며, 시간차이를 두고 각도변위가 나타남을 의미한다.

실험 결과

1. 주관적 불편도 평가

피실험자 3인 모두 반복횟수가 증가함에 따라 호소하는 불

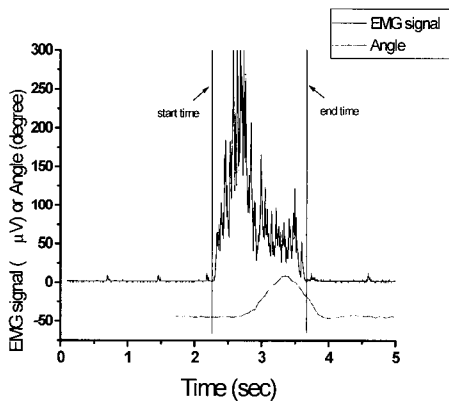


그림 2. 근전도 신호와 각도변위
Fig. 2. EMG signal & Angle

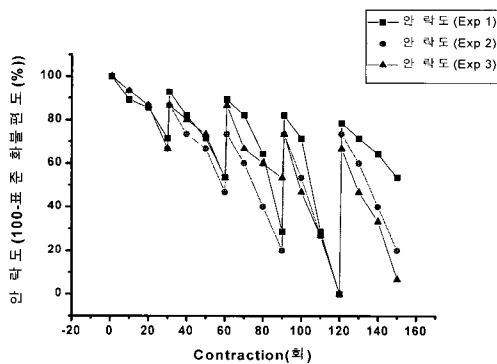


그림 3. 피실험자 2의 안락도
Fig. 3. Comfortability of Subject 2

편도가 증가(안락도는 감소)하였다. 또한 매 30회 반복동작 후 5분간의 휴식을 거친 후에는 불편도가 다소 감소하는 경향이 있었다(Fig. 3).

매 30회의 반복동작에 대한 기울기를 비교한 결과 반복횟수가 늘어갈수록 불편도가 증가하며, 휴식을 취한 후에 재개된 반복동작에서는 최초 30회에 비해서 불편도의 증가가 급격하다는 것을 알 수 있다. 단 Subject 2의 경우는 121-150회 구간에서는 오히려 불편도의 증가가 91-120회 구간에 비해서 감소하는 양상을 보였다. 이는 반복횟수의 증가에 따라 Subject의 주관적 불편도에 대한 정도가 무더진 결과로 생각된다.

2. 근전도 측정 결과

피실험자 3인의 측정치를 분석하여 median frequency, median power, RMS 값을 산출하여 비교하였다.

3. Median Frequency

피실험자와 실험횟수에 따라 다소 차이는 있으나, task내에서는 반복횟수가 증가할수록 median frequency는 감소하나, 실험 전체적으로는 증가하는 추세를 나타냈다.

실험 초기에는 반복횟수가 증가할수록 median frequency가 증가하고, 매 5분간의 휴식 후에는 일시적으로 median frequency가 증가하였다. 그러나 실험 후반부로 갈수록 각 task마다 반복횟수가 증가할수록 median frequency는 감소하는 경향을 보여주고 있다. 또한 실험 시작과 종료시점을 비교했을 때 전체적으로 median frequency는 증가하였다. 본 실험은 반복적인 수축/이완 운동으로서, 등척성 운동의 경우 동일한 힘을 발휘하면서 시간이 지남에 따라 근전도의 진폭이 증가하고, 피로의 누적에 의해 median frequency가 감소한다는 결과와는 상이한 결과이다. 이러한 이유는 실험 초기에 근육의 적응에 의해 median frequency는 증가하지만 이후 피로의 누적으로 인한 감소추세로 생각된다(Fig. 4).

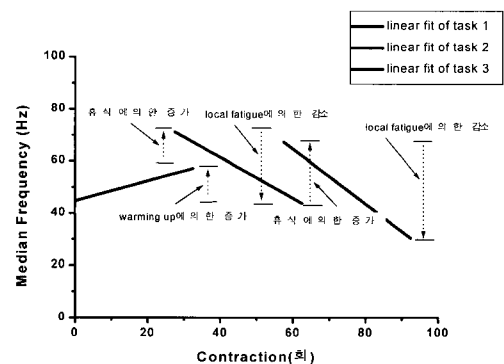


그림 4. 중간주파수의 경향성
Fig. 4. Tendency of Median Frequency

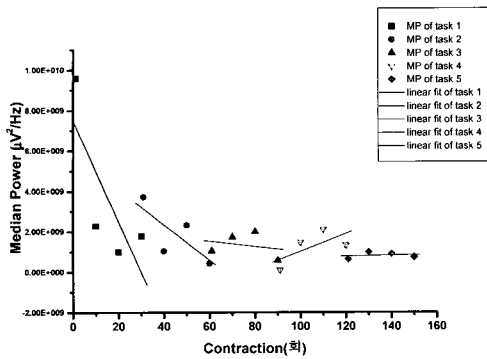


그림 5. 피실험자 2의 median power-left erector spinae muscle, 실험2
 Fig. 5. Median Power of Subject 2-From left erector spinae muscle, Experiment 2

4. Median Power

전체적으로 수행한 task의 수에 관계없이 반복횟수가 증가할수록 감소하는 추세를 나타내었고, 휴식을 취한 후에는 일시적으로 증가하는 추세를 보였다. Subject 2 와 Subject 3 은 전체적으로 감소하는 경향을 보이며 유사했지만 Subject 1의 경우는 증가하는 경향도 관찰되었다. 그러나 Subject별 차이를 감안하더라도 전체적으로는 감소하는 경향을 보여주었다(Fig. 5).

5. RMS(Root Mean Square)

RMS의 경우 median power의 변화양상과 거의 동일하였다. 수행한 task의 수에 관계없이 반복횟수가 증가할수록 감소하는 추세를 나타냈고, 휴식을 취한 후에는 일시적으로 증가하는 추세를 보였다. Subject 2 와 Subject 3 은 전체적으로 감

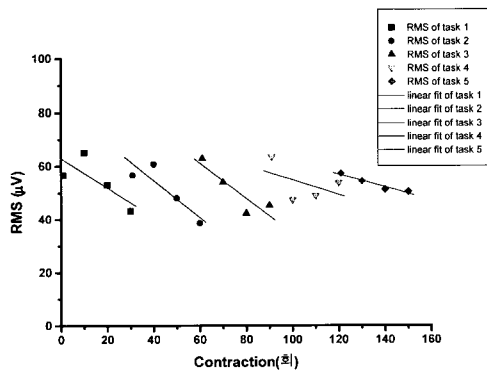


그림 6. 피실험자 2의 RMS-right erector spinae muscle, 실험1
 Fig. 6. RMS of Subject 2 - From right erector spinae muscle, Experiment 1

의공학회지 : 제21권, 제2호, 2000

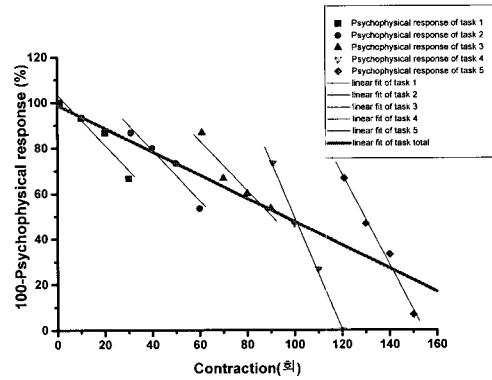


그림 7. 피실험자2의 안락도-실험3
 Fig. 7. Comfortability(100-Psychophysical response) of Subject 2 - From Experiment 3

소하는 경향을 보이며 유사하였지만 Subject 1의 경우는 증가하는 경향도 관찰되었다. 그러나 Subject별 차이를 감안하더라도 전체적으로는 감소하는 경향을 보여주었다(Fig. 6).

6. 불편도의 변화양상

이러한 근육의 생리적인 변화와는 달리 피실험자의 안락도(100-주관적불편도)는 task가 진행될수록, 반복횟수가 증가할수록 일관되게 감소하는 추세를 보여주고 있다(Fig. 7). Fig. 7은 대표적으로 피실험자 2의 주관적불편도를 Max-Min의 표준화기법을 이용하여 표준화한 후에 불편도는 피실험자가 편안하게 느끼는 정도와 반대된다는 관점에서 안락도(100-표준화불편도)로 나타낸 것이다. 실험 1,2,3 모두 task가 증가할수록, 반복횟수가 증가할수록 안락도는 감소하는 것으로 나타났다.

7. EMG parameter 예측치의 증감율과 안락도증감율간의 상관관계

근전도 parameter와 안락도간의 관계를 평가하기 위해 대표적으로 Subject 3의 근전도 측정결과를 제시하였다.

Task 1의 경우는 다른 task와 달리 median frequency가 증가하는 추세를 보여주었으므로 안락도(100-표준화불편도)와 증감에서 반대 양상을 보여주지만 그외의 task에서는 같은 양상을 보여주었다. 이는 median power와 RMS에서도 동일하였다.

또한 각 task별로 최초 1회에 측정된 신호를 기준으로 하여 각 parameter들의 증감율과 안락도 증감율간의 관계를 동일 그래프상에 나타내보면 다음과 같다(Figure 8,9,10).

Task 마다 EMG parameter의 증감율과 안락도의 증감율간의 상관분석을 수행한 결과 Subject 3의 경우 3가지 EMG parameter 모두 불편도의 증감, 즉 안락도의 증감과 상관관계가 높았다(median frequency r=0.59, median power r=0.64, RMS r=0.92). Subject 1의 경우 parameter간, 실험간 차이는

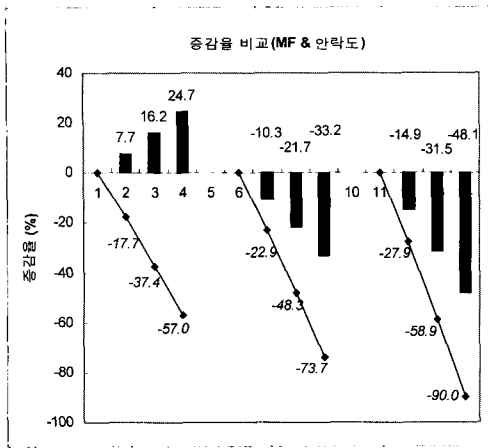


그림. 8. Median Frequency와 안락도의 증감율
Fig. 8. Fluctuation ratio of Median Frequency & Comfortability

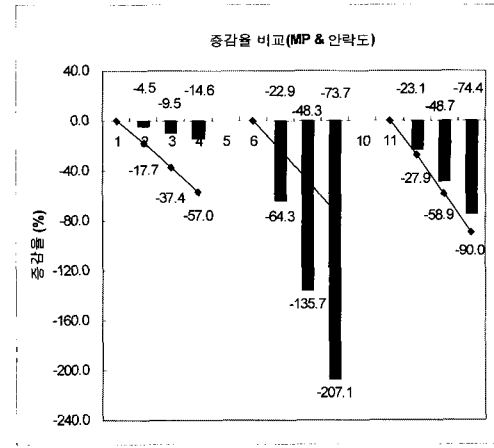


그림. 9. Median power와 안락도의 증감율
Fig. 9. Fluctuation ratio of Median Power & Comfortability

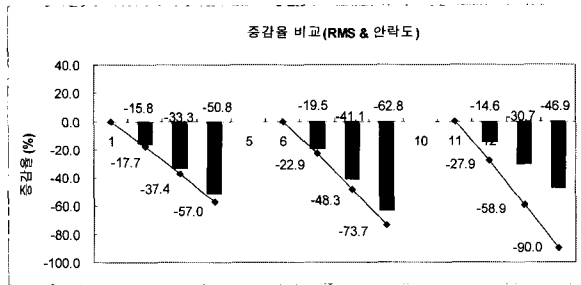


그림. 10. RMS와 안락도의 증감율
Fig. 10. Fluctuation ratio of RMS & Comfortability

있지만 대체로 median power($r=0.01-0.87$)나 RMS($r=0.04-0.85$)에 비해 median frequency ($r=0.25-0.74$)가 안락도의 증감과 상관관계가 높았다. Subject 2의 경우도 parameter간, 실험간 차이는 있지만 대체로 median frequency($r=0.15-0.37$)나 RMS

($r=0.20-0.61$)에 비해 median power($r=0.29-0.59$)가 안락도의 증감과 상관관계가 높게 나타났다(Table 1).

토의 및 결론

본 연구는 반복적인 수축/이완 운동시 피실험자가 느끼는 주관적 불편도와 근전도의 median frequency, median power, RMS 변화양상과의 연관성을 정량적으로 구하고자 하였다.

등척성 운동의 경우 기존의 연구에서는 근육의 피로가 누적됨에 따라 근전도 median frequency는 감소하나 median power, RMS는 증가한다는 연구결과가 있으나 반복적인 수축/이완 운동에 대한 연구는 상대적으로 미미한 실정이다. 본 연구에서 수행한 실험은 반복적인 수축/이완 운동으로 피실험자에 따른 차이는 있으나 등척성 운동에서와는 다른 결과를 보여주고 있다. Median frequency는 매 30회의 반복적인 수축/

표 2. EMG parameter와 안락도 증감율간의 상관관계

Table 1. Correlation between fluctuation ratio of EMG parameter & that of comfortability

Correlation table(r)		Subject 1		Subject 2		Subject 3
Test No.	Muscle type	right erector spinae m.	left erector spinae m.	right erector spinae m.	left erector spinae m.	right erector spinae m.
	EMG parameter					
1st exp.	MF vs. 안락도	0.25	0.30	0.33	0.35	0.59
	MP vs. 안락도	0.01	0.28	0.59	0.40	0.64
	RMS vs. 안락도	0.04	0.12	0.61	0.30	0.92
2nd exp.	MF vs. 안락도	0.64	0.74	0.15	0.32	
	MP vs. 안락도	0.52	0.87	0.43	0.41	
	RMS vs. 안락도	0.10	0.85	0.38	0.20	
3rd exp.	MF vs. 안락도	0.28	0.57	0.19	0.37	
	MP vs. 안락도	0.21	0.48	0.29	0.59	
	RMS vs. 안락도	0.39	0.69	0.42	0.34	

* Subject 3의 경우는 1회 실험으로 한함.

이완 운동 동안에는 감소하는 경향을 보이며 휴식에 의해 일시적인 증감이 관찰되지만 전체적으로는 증가하는 현상이 관찰되었으며 이런 결과는 피실험자간, 실험간에 별다른 차이없이 대체로 동일한 양상을 가졌다. 또한 median power와 RMS는 매 30회의 반복적인 수축/이완 운동 동안 감소하며 전체적으로도 감소하는 경향을 보여주었으나 피실험자간, 실험간 차이가 hmedian frequency에 비해 상대적으로 크게 존재했다. 이런 차이는 매 실험시 피실험자의 생리적 상태나 실험환경의 변화에 의해 발생할 수도 있으리라 생각된다. 그러나 median power나 RMS에 비해 median frequency가 일관된 결과를 보여주고 있으므로 근피로 지수로 이용하기에는 median frequency가 보다 안정적이라고 생각된다. 최초 30회(task 1)를 반복하는 동안에는 피실험자에 따라 parameter의 증감양상이 다르게 나타나기도 하였다. 그러나 공통적으로 task 수가 증가하면서 휴식후에 증가하고 동일 task내에서는 횟수가 증가할수록 감소하는 경향을 보여주었다.

피실험자의 주관적불편도는 반복횟수의 증가와 함께 증가(안락도는 감소)하는 것으로 나타났으며, Task 마다 EMG parameter의 증감율과 안락도의 증감율간의 회귀분석 및 상관분석을 수행한 결과는 Subject 3의 경우에 3가지 EMG parameter 모두 불편도의 증감, 즉 안락도의 증감과 상관관계가 높았다(median frequency $r=0.59$, median power $r=0.64$, RMS $r=0.92$). Subject 1의 경우에는 parameter간, 실험간 차이는 있지만 대체로 median power($r=0.01-0.87$)나 RMS ($r=0.04-0.85$)에 비해 median frequency($r=0.25-0.74$)가 안락도의 증감과 상관관계가 높았다. Subject 2의 경우도 parameter간, 실험간 차이는 있지만 대체로 median frequency ($r=0.15-0.37$)나 RMS($r=0.20-0.61$)에 비해 median power($r=0.29-0.59$)가 안락도의 증감과 상관관계가 높게 나타났다.

EMG parameter의 변화율과 주관적불편도의 변화율간의 상관분석을 통해 두 변수간의 연관성은 확인할 수 있었으나 통계적 유의성의 유무에서는 많은 차이를 보여주었다. 이는 실험환경과 피실험자 개인적인 변수들의 영향을 완전히 배제할 수 없었다는 한계에 기인하기도 한다.

참고 문헌

1. 백은규, 국내 주요업종 중량물 취급실태 및 관리대책, 한국산업안전공단, 1993
2. 양성환, "중량물 취급시 재해 발생 현황 및 원인에 관한 연구", 한국기술사회지 30(5), pp.96~104, 1997
3. Rowe ML. Low back pain in industry: A position paper. J Occup Med(11), pp.161~166, 1969
4. Pulat, B.M., Fundamentals of industrial ergonomics, Printice Hall, pp.52~53, 1992
5. 정소라, 정민근, "주기적 등척성 수축에서의 국소근육피로 측정을 통한 피로지수의 개발", 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, 대한인간공학회, pp.79~87, 1993
6. Arendt-Nielsen, L., Forster, A., "EMG Power Spectral Shift and Muscle-fibre Conduction Velocity During Human Muscle Fatigue", Physiological Society(3), pp.54-55, 1984
7. Grandjean, E., Fitting the Task to the Man-an Ergonomic Approach, Taylor & Francis, 1986
8. U.S Department of Health and Human Services, "Selected Topics in Surface Electromyography for Use in the Occupational Setting" Expert Perspective, 1992
9. Oberg, T., Sandsjo, L., and Kadefors, R., "Subjective and Objective Evaluation of Shoulder Muscle Fatigue." Ergonomics, 37(8), pp.1323~1333, 1994
10. Gescheider, G. A., Psychophysics - method, theory, and application, (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1985
11. Genaidy. A.N., Barkawi, H., and Christensen, D., "Ranking of Static Non-neutral Posture around the Joints of the Upper Extremity and the Spine.", Ergonomics, 38(9), pp.1851-1858, 1995
12. 송맹기, "Magnitude Estimation 데이터 분석 시스템의 개발", 포항공과대학, 1995