<Manuscript template updated Dec 23, 2013>

Title

Relationship of EMG and subjective discomfort ratings for repetitive handlings of light weights of load

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to evaluate the effect of weight of load and time on the physical workload of repetitive upper-limb tasks with handling light weights of load using EMG and perceived discomfort, and to investigate the relationship between EMG and perceived discomfort for those repetitive tasks of lights weights of load.

Background: Repetitive upper-limb motion is known as one of the main risk factors of musculoskeletal disorders and a lot of repetitive tasks are carried out while handling light weights of load. In evaluating the workload of repetitive tasks handling light weights of load, EMG and perceived discomfort can be used, though there relationship in those work conditions are not much investigate.

Method: A laboratory experiment with 18 healthy males were conducted to record EMG signals from 5 muscle sites of the right arm and shoulder and measure perceived discomfort for the body parts and the whole body while carrying out repetitive materials-handling tasks for 52 min. The subjects were divided into 3 groups which handled the load of 1kg, 2kg, and 3kg, respectively. ANOVAs were conducted to analyze the effects of weights of load and times on RMS of EMG amplitude (NRMS), median frequency of power spectrum of EMG (NMDF), and perceived discomforts. The correlations between NRMS and NMDF, and perceived discomforts were also analyzed.

Results: Statistically significant muscular fatigue effects were not found from NRMS and NMDF in most muscles, while there was a significant increase of discomforts as the task time processed. It was shown that there were increase trends of the muscular activity as the weight of load increased and the decreasing trends of median frequency of EMGs of upper and lower arms as the time processed. It was found that there were significant negative correlations between NMDFs from the lower arm and discomfort ratings, though the relationships were weak.

Conclusion: It can be concluded that the working conditions adopted in this study were not enough to induce muscular fatigue, while there were significant increase in perceived discomforts. A further study is necessary to integrate the objective and subjective measures for more reliable and sensitive evaluation of workload of repetitive tasks of handling light weights of load.

Application: This study can be used as a basic study for the evaluation of workload of repetitive tasks handling

light weights of load.

Keywords

Repetitive Upper-limb task, Muscular Fatigue, EMG, perceived discomfort, Borg's CR-10

1. Introduction

제조업 조립 라인의 작업자들은 수공구나 동력공구를 사용하여 볼트를 체결하는 작업을 반복하는 경우가 많다. 이러한 작업의 특징 중 하나는 상대적으로 가벼운 공구나 작업물을 반복해서 인력으로 취급하는 것이다. 가벼운 공구의 기준이 명확하지는 않지만, 경험적으로 약 3kg 이하의 공구를 취급하는 경우가 많이 관찰된다. 이러한 작업에서 반복적 상지 동작은 팔과 어깨의 근골격계질환 유발의 주요 위험 요인 중 하나이다(Larsson et al., 2007; Nordander et al., 2009; Van Rijn et al., 2010). 최대 근력의 20%미만인 가벼운 무게를 취급하더라도 반복적 상지 동작을 수반하는 작업은 손, 손목, 팔, 어깨, 목 등의 관련된 신체 부위에서 근피로가 발병하고, 이에 따라 근골격계질환 유발의 위험이 큰 것으로 알려져 있다(Bosch et al., 2009; De Looze et al., 2009).

상지 반복 작업의 작업부하 평가에 대한 연구는 많이 이루어져 왔다(Kilbom, 1994). 이들 연구 중 많은 연구는 심물리학적 접근 방법을 바탕으로 하고 있다(Mukhopadhyay et al., 2007; Finneran and O'Sullivan, 2010; Lin et al., 2010). 지각 불편도(perceived discomfort)를 바탕으로 한 심물리학적 연구는 상대적으로 고가의 장비를 요구하지 않아 생리학적 혹은 생체역학적 측면에서 작업부하를 평가하는 것에 비해 장점이 있으며, 심물리학(Psychophysics)에 기반한 체계적인 작업부하 평가 방법론으로서 타당성이 인정되고 있다. 그러나, 여전히 주관적 평가가 가지고 있는 원론적인 신뢰도에 대한 검증이 부족한 것으로 보고되고 있다(Kee and Karwowski, 2003). 이러한 특성으로 인해 지각 불편도를 이용하여 작업부하를 평가하는 연구에서는 지각 불편도와 함께 객관적 측정 자료를 통한 결과의 간접적 검증이 요구되고 있다.

외부 하중을 취급하는 작업의 작업부하 평가를 위해 근전도(EMG)가 많이 사용된다. 근육의 수축 활성도를 나타내는 근전도는 근육의 활성 정도를 나타낼 뿐만 아니라 근육의 피로도를 나타내는데도 활용되는 것으로 알려져 있다. 기존 연구에 따르면 근육의 피로도 현상은 근전도 진폭(amplitude)의 증가와 근전도 파워스펙트럼(power spectrum)의 주파수(frequency) 감소와 높은 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Winter, 1990; Kumar and Mital, 1996). 경량물을 반복 취급하는 작업의 작업부하 평가에서도 근전도가 활용되고 있다(Fedorowich et al., 2013; Qin et al., 2014). Qin et al.(2014)은 가벼운 핀을 옮기는 상지 반복 작업에서 근전도 진폭의 RMS와 median power frequency를 이용하여 연령에 따른 근피로도 차이를 비교 평가한 연구를 수행한 바 있으며, Fedorowich et al.(2013)은 상지 반복 동작 실험에서 어깨와 목의 근육의 피로 현상의 성별 차이를 근전도 진폭의 RMS를 이용하여 비교한 바 있다. 이 두 연구에서는 실험에서 취급물의 무게를 고려하지 않고 매우 가벼운 핀을 들거나 작업물이 없이 상지 반복 동작을 하였다.

전술한 바와 같이, 제조업 작업자들은 상대적으로 가볍지만 다양한 무게의 공구나 작업물을 반복해서 취급하게 된다. 본 연구에서는 이렇게 가벼운 작업물을 취급하는 경우에 작업물의 무게에 따라서 상지 반복 작업의 부하가 어떻게 달라지는지, 작업부하를 평가하는 방법으로서 객관적 측정치인 근전도와 주관적 측정치인 불편도를 사용하는 것이 타당한지 실험적으로 검증하고자 하였다. 본 연구는 3kg 이하의 가벼운 작업물을 반복적으로 취급하는 작업에서 취급물의 무게와 작업 지속시간이 작업부하에 미치는 영향을 근전도와 불편도를 이용하여 작업부하를 평가하고, 이러한 작업조건의 작업부하 평가에서 객관적 측정치와 주관적 측정치가 어떤 상관성을 보이는지를 분석하고자 하였다. 이 연구는 기초 연구로서 가벼운 물건을 취급하는 상지 반복 작업의 작업부하를 체계적으로 평가하기 위한 기반을 마련하기 위한 목적으로 실시된 것이다.

2. Method

2.1 Subjects

본 연구에는 남자 대학생 18명이 실험에 참여하였다. 피실험자의 평균(±SD) 나이, 키, 몸무게, 굽힌팔꿈치높이, 팔길이는 각각 24.2±1.0세, 174.4±4.0cm, 68.8±7.7kg, 109.5±3.2cm, 62.3±2.5cm이며, 피실험자 모두 오른손잡이다. 피실험자들은 최근 1년간 어깨, 팔, 손목 등의 부위에서 근골격계 질환을 경험하지 않았으며, 실험에 참여한 날에 건강한 상태를 유지하였다.

2.2 Repetitive materials-handling task

피실험자들은 탁자 위의 A지점에 놓인 운동용 덤벨 2개를 각각 B지점으로 옮겼다가 다시 원래대로 A지점으로 옮기는 동작은 반복해서 실시하였다. A지점은 피실험자의 몸으로부터 정면으로 전완 길이만큼 (32~35cm) 떨어진 지점이며, B지점은 피실험자로부터 정면으로 팔 길이만큼 (60~63cm) 떨어진 지점으로 정의하였다. 이러한 작업을 3회 실시하여 덤벨을 12회 옮기는 동작을 하나의 '단위작업'으로 정의하였으며, 피실험자는 총 7회의 단위작업을 연속해서 실시하는 '1주기의 작업'을 수행한 후에 휴식을 취하였다. 단위작업 7회로 구성된 작업 1주기 동안 피실험자는 총 84회(단위작업당 12회 운반 × 작업주기당 단위작업 7회) 덤벨을 운반하게 되며, 이 작업에 평균적으로 약 147초가 소요되었다. 1주기 작업 수행 후 피실험자는 약 28초(작업시간의 약 19%) 동안 앉아서 휴식을 취하였다. 결과적으로 각 피실험자는 휴식을 포함하여 175초마다 1주기의 작업을 반복하였다. 단, 피실험자들은 본인이 원하는 속도로 작업을 하였기 때문에 실제 작업시간과 휴식시간은 피실험자마다 조금씩 차이가 있었다. 피실험자들은 모두 18주기의 작업을 연속해서 실시하여 덤벨을 옮기는 동작을 총 1,512회 수행하였으며, 작업을 모두 마치는데 약 52분의 시간이 소요되었다.

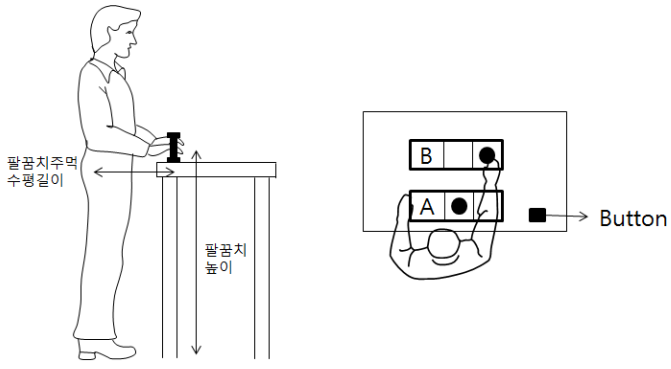


Figure 1. Materials-handling task in the experiment.

2.3 Weights of load

반복 동작 실험에는 1kg, 2kg, 3kg 등 세 가지 무게의 덤벨이 사용되었다. 피실험자들은 6명씩 세 그룹으로 나뉘어 각 그룹별로 각기 다른 무게의 덤벨을 옮기는 실험을 실시하였다. 즉, 각 피실험자들은 반복 작업을 한번씩만 수행하였다.

2.4 Dependent measures

상지 반복 작업 중 작업의 부하를 평가하기 위하여 객관적 측정치로 근전도(EMG)를, 주관적 측정치로 지각 불편도를 사용하였다. 근전도는 피실험자가 반복 작업을 수행하는 동안 어깨 위쪽의 Upper Trapezius (UT), 어깨 앞쪽의 Anterior Deltoid (AD), 상완의 Biceps Brachii (BB), 전완의 Flexor Digitorum Superficialis (FD), Extensor Digitorum Communis (ED)에서 표면 전극을 이용하여 측정하였다. 근전도 부착은 기존 연구를 참고하여 Upper Trapezius는 견봉과 C7 경추 사이의 중간 지점으로서 오른쪽 어깨를 들어 올리는 동작에서 수축되는 근육을, Anterior Deltoid는 견봉의 앞쪽으로 약 2.5cm 떨어진 지점으로서 상완을 90도로 굴곡하였을 때 수축되는 근육을, Biceps Brachii는 팔꿈치 안쪽점과 견봉 사이의 거리에서 팔꿈치 안쪽점으로부터 약 1/3 만큼 떨어진 지점으로서 상완을 자연스럽게 내린 상태에서 팔꿈치를 90도로 굽혔을 때 수축되는 근육을, Flexor Digitorum Superficialis는 전완 안쪽에서 팔꿈치로부터 손목까지 거리의 약 40% 지점 부근에서 척골 방향의 근육 중 손가락을 굽혔을 때 주로 수축되는 근육을, Extensor Digitorum Communis는 전완 바깥쪽에서 팔꿈치로부터 손목까지 거리의 약 40% 지점 부근에서 척골 방향에서 손가락을 젖혔을 때 주로 수축되는 근육을 대상으로 하였다(Hermens et al. 1999; Perotto et al., 2005; Criswell, 2010). 근전도 측정은 모두 오른팔에서 작업을 수행 중에 측정되었으며, 측정된 신호 중 매 6주기 작업의 마지막 단위작업에서 측정된 근전도 신호를 추출하여 분석하였다.

지각 불편도 평가에는 Borg's CR10 척도를 이용하였으며(Borg, 1998), 신체 부위별로는 목 및 어깨 위쪽 (neck; NC), 어깨 (shoulder; SH), 윗팔 (upper arm; UA), 아랫팔 및 손 (lower arm; LA) 등 네 개 부위에 대한 불편도를 평가하도록 하였으며, 전신(whole body; WB)에 대한 불편도도 평가하도록 하였다. 불편도 평가는 매 6주기의 작업의 끝날 때마다 실시하여 총 3회에 걸쳐 이루어졌다.

2.4 Materials

본 실험에서는 무선 EMG 신호 측정기(Telemyo DTS system, Noraxon, Sweden), 상지 반복 작업대와 덤벨이 사용되었다. EMG는 표면 근전도 측정을 실시하였으며, 신호의 디지털 샘플링은 1,500Hz로 이루어졌다. 표면 전극의 간격은 20mm로 하였으며, 전극의 부착 위치는 SEINEM을 참고하였다.

작업대는 작업점 A과 B로 구성되어있다. 작업점 A은 정상작업영역 내의 위치로 피실험자가 팔꿈치를 90도로 하였을 때 닿는 위치이고, 작업점 B는 팔을 최대로 뻗었을 때 닿는 최대작업영역 내의 위치이다. 작업점 A와 B는 피실험자의 팔길이에 따라 조정하였다. 작업대의 높이는 피실험자별로 조절하여, 피실험자가 선 자세에서 팔꿈치를 90도로 자연스럽게 굽힌 높이에서 덤벨을 잡을 수 있도록 하였다. 피실험자가 작업대로부터 일정한 거리에 떨어져 작업할 수 있도록 피실험자의 위치를 작업 시작 전에 표시하여 피실험자는 표시된 위치에 서서 작업을 하였다. 휴식용 의자는 피실험자 뒤쪽에 두어 피실험자가 작업 후 앉아서 휴식을 취할 수 있도록 하였다.

덤벨은 일반적으로 사용하는 운동용을 사용하였으며 손잡이 굵기가 일정한 것을 선택하였다.

2.5 Experimental Procedure

피실험자들은 실험에 참여하기 전에 실험의 목적과 내용에 대한 설명을 충분히 들은 후에 자발적으로 참여 동의를 하였다. 본 실험에 앞서 피실험자들의 키, 체중, 팔꿈치 높이, 팔길이를 측정하였으며, Borg's CR10 척도를 이용하여 지각 불편도를 평가하는 방법을 설명하였다.

각 근육별로 근전도 전극을 부착한 후에 각 근육별로 최대 근력(MVC)을 발휘하도록 하여 이 때의 근전도를 측정하였다. MVC 측정은 각 근육별로 2회 실시하였으며, 매 시행마다 충분한 휴식을 취하도록 하였다.

피실험자는 작업대 앞의 표시된 위치에 서서 작업을 실시하였으며, 작업 전에 피실험자에 맞도록 작업대 높이와 지점 A, B를 정하였다. 피실험자는 편한 자세로 서서 청각 신호에 맞춰 작업을 시작하였으며, 각 단위작업(덤벨 운반 12회)을 마칠 때 마다 작업대 위에 있는 원형의 표시기를 1회 접촉하고 양 팔을 편하게 내려 선 자세를 취한 후에 다시 계속해서 작업을 진행하였다. 이는 반복된 작업으로 인해 작업 횟수에 혼동을 일으킬 수 있어 매 단위작업의 시작과 끝을 표시하기 위한 것이다. 1주기의 작업이 끝나면 피실험자는 작업 지점 뒤쪽에 놓인 의자에 앉아서 휴식을 취하였으며, 일정 시간 후 청각 신호에 맞춰 다시 작업을 시작하였다.

2.6 Data processing and analysis

EMG 신호는 6번째, 12번째, 18번째 주기 작업의 마지막 단위작업에서 운반동작이 이루어져 근육이 활성화되는 8개의 구간에서 추출하였으며, 각 구간에서 median frequency (MDF)와 진폭의 평균 RMS를 구하여 분석에 이용하였다. EMG 신호 진폭의 평균 RMS은 추출된 신호에 대해 10~500Hz bandpass filtering과 Rectification을 한 후에 window 구간을 200ms로 하여 RMS smoothing을 하여, 각 구간의 평균 RMS를 구하는 방식으로 산출하였다. MDF는 추출된 EMG 신호에 대해 10~500Hz bandpass filtering을 거친 후 FFT를 통해 power spectrum을 구하여 산출하였다.

EMG 진폭의 RMS와 MDF는 각 피실험자별로 정규화하여 분석에 사용하였다. 진폭 RMS 정규화는 각 근육의 MVC 상태에서 측정한 EMG 신호로부터 산출한 평균 RMS를 사용하였다. 즉, NRMS (Normalized RMS)는 각 근육의 EMG 진폭의 RMS를 MVC 측정을 통해 구한 RMS_{max}에 대한 비율로 정의하였다(식 1). MDF 정규화는 6주기 후 측정한 MDF를 기준으로 정규화하였다. 즉, NMDF (Normalized MDF)는 6주기 작업 후 측정한 각 근육의 MDF에 대한 비율로 정의하였다(식 2)

$$NRMS_i = RMS_i / RMS_{max} \quad \text{(식 1)}$$

$$NMDF_i = MDF_i/MDF_1 \quad \text{(식 2)}$$

Where i = 1, 2, 3 (측정 시간, 1은 6번째 작업주기 후, 2는 12번째 작업주기 후, 3은 18번째 작업주기 후)

RMS_{max} : MVC의 EMG 진폭의 RMS

신호처리를 통해 구한 NRMS, NMDF와 지각불편도에 대하여 취급물의 무게(Weight, 1kg, 2kg, 3kg)와 작업 시간(Time, 1st, 2nd, 3rd)의 영향을 통계적으로 분석하기 위하여 2원 분산분석을 실시하였다. 또한, 객관적 측정치인 EMG 신호와 주관적 측정치인 지각불편도의 상관성을 분석하기 위하여 Pearson 상관분석을 실시하였다. 통계적 유의성은 유의수준 0.05에서 판단하였으며, 통계분석에는 SAS(version 9.2)를 이용하였다.

3. Results

3.1 NMDF와 NRMS에 대한 분산 분석

각 근육별 NMDF와 NRMS에 대한 분산분석 결과, NMDF는 전완의 FD에 대한 Weight, Time의 주효과와 Weight와 Time의 교호작용이 유의한 것으로 나타났다($p<0.05$)(Table 1). NRMS는 어깨 위쪽의 UT에 대하여 Time의 주효과가 유의한 것으로 나타났다($p<0.05$). 나머지 근육에서는 NMDF와 NRMS에 대해서 모두 주효과와 교호작용의 통계적 유의성이 나타나지 않았다.

NMDF는 작업 취급물의 무게에 따라 일정한 경향을 보이지 않았다. 통계적으로 유의하게 나타난 근육인 전완의 FD의 NMDF는 무게가 증가할수록 증가하는 경향을 보였고, 전완의 ED도 통계적 유의성은 없으나 유사하게 무게가 증가함에 따라 NMDF가 증가하는 경향을 보였다(Figure 2). 작업 시간의 증가에 따른 변화는 통계적으로 유의하게 나타난 전완의 FD의 경우에 시간이 지남에 따라 NMDF가 감소하다가 증가하였다. 통계적 유의성은 없으나 전완의 ED는 시간의 증가에 따라 NMDF가 점차 감소하는 경향을 보였으며, 어깨의 AD와 상완의 BB에서는 시간이 증가함에 따라 NMDF가 소폭 증가하다가 세 번째 측정에서 감소하는 경향을 보였다.

Table 1. ANOVA results for NMDFs, NRMSs, and Discomfort ratings (p-values)

Measures		Source of variation		
		Weight	Time	Weight*Time
NMDF	UT**	0.357	0.462	0.206
	AD	0.172	0.305	0.529
	BB	0.217	0.746	0.301
	FD	**0.036***	**0.019***	**0.006***
	ED	0.745	0.267	0.932
NRMS	UT	0.179	**0.029***	0.487
	AD	0.099	0.872	0.077
	BB	0.125	0.716	0.695
	FD	0.806	0.360	0.929
	ED	0.698	0.677	0.298
Discomfort	NC	0.283	**<.0001***	0.470

	SH	0.395	**0.001***	0.916
	UA	0.384	**<.0001***	0.170
	LA	0.724	**<.0001***	0.628
	WB	0.332	**<.0001***	0.428

*statistically significant at α=0.05.

**UT: Upper Trapezius, AD: Anterior Deltoid, BB: Biceps Brachii, FD: Flexor Digitorum, ED: Extensor Digitorum; NC: Neck, SH: Shoulder, UA: Upper Arm, LA: Lower Arm, WB: Whole Body.

NRMS는 무게의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다. 통계적으로 유의하지는 않았지만, UT는 취급물 무게의 증가에 따라 NRMS가 증가하는 경향을 보였으며, 나머지 근육들은 1kg와 2kg에서는 NRMS가 유사한 값을 보이다가 3kg에서 증가하는 경향을 보였다. 시간에 따라서는 NRMS는 큰 변화를 보이지 않았다. 어깨 위쪽의 UT에서는 NRMS가 3번째 측정할 때 첫번째, 두번째보다 높은 값을 보여 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

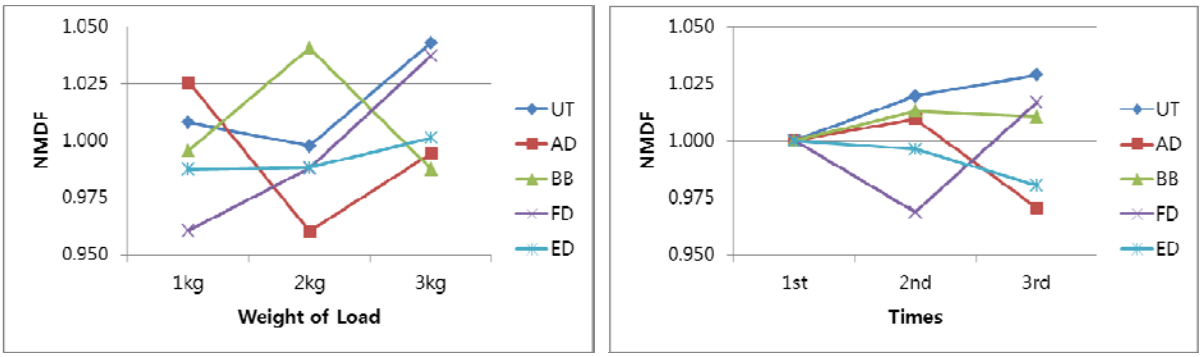


Figure 2. Mean NMDFs and NRMS's according to weight of load and times

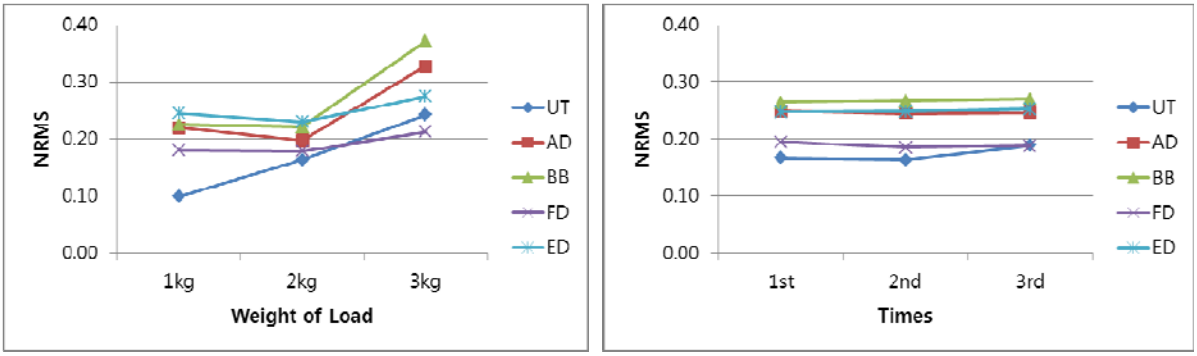
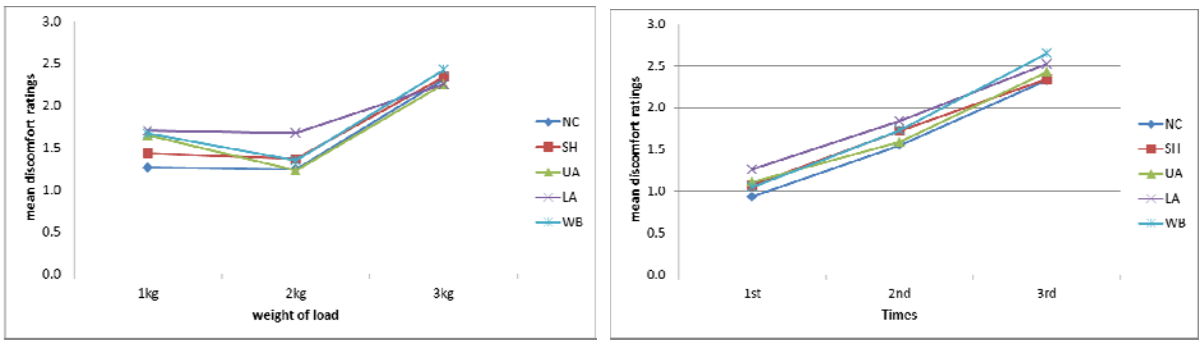


Figure 3. Mean NRMS's according to weight of load and times

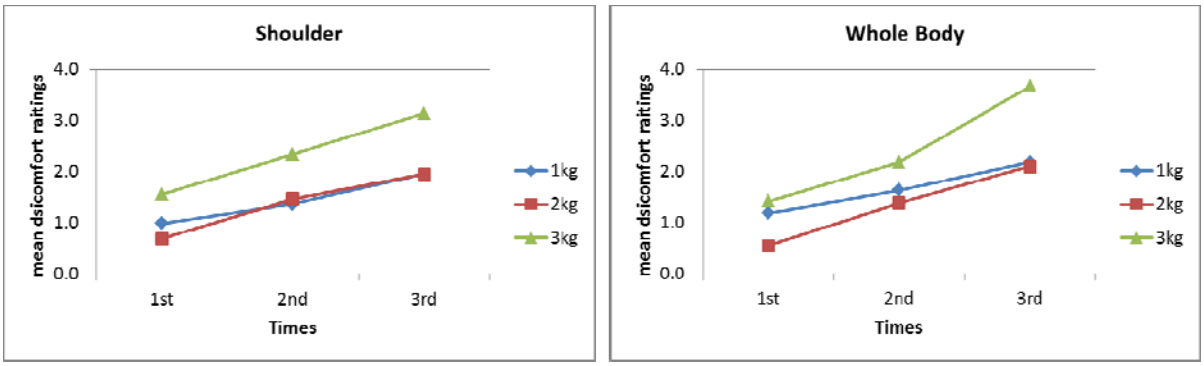
3.2 지각불편도에 대한 분산 분석

지각불편도에 대한 분산분석 결과 각 신체부위와 전신에 대한 불편도 모두 Time의 주효과가 유의한 것으로 나타났으며, Weight의 주효과와 Weight와 Time의 교호작용은 유의하지 않은 것으로 나타났다($p<0.05$)(Table 1). 지각 불편도는 시간이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났다(Figure 4). Tukey 검점을 수행한 결과 전신(WB)과 전완(LA)에 대한 불편도는 매 측정 시간간에 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, 상완(UA), 어깨(SH), 어깨 위 및 목(NC)에 대한 불편도는 마지막 세 번째 측정한 불편도가 첫 번째와 두 번째 측정된 불편도보다 통계적으로 유의한 차이를 보였고, 첫번째와 두번째 측정된 불편도는 유의한 차이가 나타나지 않았다(유의수준 $\alpha=0.05$). 취급물의 무게에 따라서는 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았지만, 1kg와 2kg 보다는 3kg에서 지각불편도가 큰 경향을 보였다(Figures 4 and 5). 전신에 대한 지각불편도에서 작업 시간이 지속됨에 따라 무게에 따른 불편도 차이가 증가하는 경향을 보였다. 통계적 유의성은 없었지만 6번째 작업주기 이후의 지각 불편도는 무게에 따라 차이가 크지 않았지만, 18주기 작업 이후에는 3kg이 1kg과 2kg에 비해 높은 불편도를 보였다(Figure 4).



(a) mean discomfort for each weight of load (b) mean discomfort at each time

Figure 4. Mean discomfort ratings according to weight of load and times



(a) Shoulder (b) whole body

Figure 5. Mean discomfort ratings for shoulder and whole body

3.2 Correlation Analysis between EMG and perceived discomforts

EMG 신호로부터 산출한 NRMS와 NMDF와 지각 불편도의 상관관계를 Pearson 상관계수를 산출하여 분석하였다(Table 2). 분석 결과 NRMS와 불편도는 목(NC)과 전완의 FD가 통계적으로 유의한 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, NMDF와 불편도에서는 전완의 FD와 ED가 각 신체부위 및 전신에 대한 불편도와 통계적으로 유의한 음의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다(α=0.05).

Table 2. Correlation coefficients (r) between discomfort ratings and NRMS's and NMDFs

Variables		NRMS					NMDF				
		UT	AD	BB	FD	ED	UT	AD	BB	FD	ED
Discomfort	NC	-0.14	-0.09	-0.25	**0.29***	-0.21	0.00	0.27	0.23	**-0.26***	**-0.29***
	SH	-0.12	-0.11	-0.28	0.20	-0.21	0.03	0.25	0.23	**-0.27***	**-0.23***
	UA	-0.01	-0.04	-0.27	0.21	-0.12	0.05	0.17	0.07	**-0.31***	**-0.30***
	LA	0.03	-0.01	-0.35	0.08	0.01	-0.02	0.08	0.24	**-0.40***	**-0.32***
	WB	0.00	-0.07	-0.27	0.14	-0.11	0.02	0.12	0.06	**-0.31***	**-0.33***

*statistically significant at α=0.05.

4. Discussion

근육의 피로한 경우에 근전도 진폭은 증가하고 중심 주파수는 저감되는 현상이 나타나는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 가벼운 작업물을 반복해서 취급하는 경우에, 이러한 근육의 피로현상이 나타나는지 실험적으로 검증하고자 하였다. 실험 결과, 본 연구에서 측정한 어깨 위의 UT, 어깨 앞쪽의 AD, 상완의 BB, 전완의 FD, ED 등 5개 근육 모두 뚜렷한 피로 현상으로 보이지는 않았다. 작업 시간이 증가함에 따라 AD, BB, ED의 NMDF가 감소하고 UT의 NRMS가 증가하는 경향을 보이기는 했으나, 통계적으로 유의하게 나타난 것은 UT의 NRMS뿐이었다. 통계적 유의성을 보인 전완의 FD의 NMDF는 시간이 지남에 따라 감소하다가 다시 증가하는 것으로 나타나 근육의 피로 현상을 보였다고 보기는 어렵다. 이러한 결과로부터 본 연구에서 설정한 작업조건인 1kg~3kg의 작업물, 분당 약 34회의 반복성, 약 30cm 정도의 운반 거리 등은 피실험자들에게 근전도에 의해 측정 가능한 수준은 근육 피로 현상을 유발했다고는 보기 어렵다고 할 수 있다.

취급물의 무게에 따라서 근전도 진폭의 증가하는 현상을 보였다. 비록 통계적 유의성을 확보하지는 못하였지만 Figure 3에서 나타난 바와 같이 무게 1kg과 2kg에서는 진폭의 차이가 별로 없지만, 무게 3kg에서는 진폭이 증가하는 것을 알 수 있다. 취급물의 무게에 따라 근활성도의 차이를 보인 이러한 결과로부터 근전도 측정이 타당하게 이루어졌음을 알 수 있다. 다만, 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았던 것은 3kg 이하의 상대적으로 가벼운 취급물이었던 점과 각 무게당 6명의 피실험자가 실험에 참여하여 피실험자간의 변동폭을 상쇄시키기에는 부족한 수준이었던 것으로 보인다. 또한, NNDF 결과에서는 무게에 따른 변화 양상이 일정하게 나타나지 않았던 것으로 봐서는 근육의 피로현상이 나타나지 않았던 것으로 보인다.

지각 불편도에 의한 작업부하 평가에서는 시간이 증가함에 따라 뚜렷하게 불편도가 증가하고 있으며, 통계적으로도 유의한 결과를 보였다. 이는 생리적으로 근육의 피로 현상이 나타나지는 않았지만, 피실실험자들이 주관적으로 지각하는 부하 수준은 증가하였음을 보인 것이다. 한편, 무게에 따른 지각불편도의 차이는 통계적으로 유의하지는 않았으나, 3kg일 때의 불편도가 1kg, 2kg의 불편도에 비해 높은 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 근전도의 진폭에서 나타난 결과와 유사한 것으로서, 피실험자들이 지각한 불편도가 근육의 활성도 수준과 유사하다고 할 수 있다. 어깨에 대한 불편도는 작업시간 전체에 걸쳐 2kg 이하에 비해 3 kg일 불편도가 높게 나타났으며, 전신에 대한 불편도는 시간이 지남에 따라 3kg 에서의 불편도와 2kg 이하에서의 불편도 차이가 증가하는 것을 보였다.

근육의 진폭과 중간 주파수는 지각불편도와 상관관계가 높지 않은 것으로 분석되었다. 지각불편도와 통계적으로 유의한 상관성을 보인 근육은 전완의 ED, FD의 NMDF로서 약한 수준의 음의 상관관계 (FD: -0.26 ~ -0.40, ED: -0.23 ~ -0.33)를 보였다. ED는 평균적으로 시간이 증가함에 따라 NMDF가 감소하는 경향을 보여 시간이 지남에 따라 증가하는 추세를 보인 불편도와 음의 상관성을 보인 것이라 할 수 있다. FD의 경우에 마지막으로 측정한 NMDF 평균은 오히려 처음보다 증가하였는데도 불구하고 시간의 증가에 따라 증가한 지각 불편도와 음의 상관관계를 보인 것은 피실험자간의 변동성이 컸던 것에 기인한 것으로 보인다. 즉, 피실험자간의 차이가 커서 평균적으로는 NMDF가 증가하였지만, 각 피실험자의 NMDF의 지각 불편도의 관계성은 평균적으로 음의 상관관계를 보였다고 할 수 있다. 이러한 결과는 각 무게당 피실험자가 6명으로서 피실험자간 변동성을 상쇄하는데 한계가 있었던 점과 관련이 있을 것으로 보인다.

근전도 신호는 명확한 피로 현상을 보이지는 않았지만 신체부위에 따라서는 근전도의 중심 주파수가

지각불편도의 증가 현상에 음의 상관관계를 보이고 있는 점에서 민감도는 높지 않지만 작업부하와 관련된 근전도의 변화가 있는 것을 알 수 있었다. 따라서, 근전도의 신호만을 이용하지 않고 지각불편도를 함께 작업부하 평가에 활용한다면 평가의 타당성과 신뢰성 향상에 도움이 될 수도 있을 것으로 보인다. 추후에는 주관적 평가기법인 지각불편도와 객관적 평가기법인 근전도 신호를 함께 활용하여 하나의 통합된 지표를 도출하여 작업부하를 평가하는 연구가 필요할 것으로 보인다.

5. Conclusion

본 연구에서는 피실험자들이 1kg~3kg의 상대적으로 가벼운 물체를 운반하는 작업을 반복해서 실시하는 동안 근전도와 지각불편도를 이용하여 작업의 부하를 평가하는 실험을 실시하였다. 피실험자들은 약 53분 동안 물체를 총 1,512번 반복적으로 취급하는 작업을 실시하였다. 이 실험은 라인 형태에 제조업 작업자들이 3kg 이하의 가벼운 수공구를 이용하여 작업을 반복적으로 실시하는 것을 모사한 것으로서, 분당 약 34회의 빈도로 상지 동작을 반복한 것이다. 이러한 작업 조건은 작업 주기가 짧은 조립 작업의 작업에 유사한 것이라 할 수 있다.

본 연구의 결과로부터 상대적으로 가벼운 물건이지만 반복적으로 운반하는 작업을 수행할 경우에 시간이 지남에 따라 지각불편도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 불편도의 증가 현상은 3kg일 때 더 가벼운 물건을 취급할 때보다 명확하여 취급물의 무게가 중요한 작업 변수임을 알 수 있었다. 전반적으로도 3kg에서 지각불편도가 더 가벼운 물건에 비해 높은 경향을 보였다.

3kg 이하의 가벼운 물건을 취급하는 반복 작업의 부하를 평가하는데 있어 근전도를 이용하여 객관적인 근육 피로 현상을 평가하는 것 보다는 지각불편도를 이용하는 것이 더 타당한 것으로 나타났다. 근전도 신호에서는 근육의 피로현상이 명확이 나타나지 않았음에도 작업시간이 지남에 따라 지각불편도가 명확한 차이를 보였다. 그러나, 지각불편도는 작업자의 주관에만 의지하는 평가 도구로서 민감도가 높은 반면에 객관적 근거의 부족과 피실험자가 변동성이 큰 점 등으로 인해서 신뢰성에 대한 논란이 많다고 할 수 있다. 그러한 점에 비추어볼 때, 지각불편도와 근전도 신호를 통합하여 작업부하를 평가하는 방법을 연구하는 것이 가벼운 물체를 취급하는 작업에 대한 작업부하 평가의 타당성과 신뢰성을 높이는 방안이 될 것으로 보인다.

실험실에서 실시한 실험 연구로서 약 52분동안 분당 30회 이상의 상지 동작을 수반하는 반복작업을 실시하였는데, 시간이 지남에 따라 지속적으로 지각불편도가 증가하고 있는 점은 이러한 상지 반복작업이 작업자에게 누적적인 작업부하에 노출되도록 하고 있음을 보인 것이다. 비록, 가벼운 취급물이라 하더라도 이러한 작업이 상지의 근골격계질환을 유발할 위험이 크다고 할 수 있다.

본 연구에서는 실험 시간이 1시간 이상 소요되는 등 현실적으로 운영의 어려움을 인해서 취급물의 무게당 6명의 피실험자가 참여하였는데, 작업부하 평가 실험으로서 신뢰성을 확보하는데 부족한 것으로 평가된다. 추후에는 피실험자를 추가로 확보하여 실험 연구의 신뢰성을 향상시킬 필요가 있을 것으로 보인다.

Acknowledgements

This work was supported by a research grant from Hankyong National University for an academic exchange program in 2012.

References

Borg, G., *Borg's perceived exertion and pain scales*, Human Kinetics, 1998.

Criswell E. *Cram's introduction to surface electromyography (2nd ed)*, Messachussetts: Jones & Bartlett, 2010.

Fedorowich, L., Emery, K., Gervasi, B. and Cote, J., Gender differences in neck/shoulder muscular patterns in response to repetitive motion induced fatigue, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23, 1183-1189, 2013.

Finneran, A. and O'Sullivan, L., Force, posture and repetition induced discomfort as a mediator in self-paced cycle time, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40, 257-266, 2010.

Hermens H, Freriks B, Merletti R, Stegeman D, Joleen B and Gner R. *SENIAM: European recommendations for surface electromyography*, The Netherlands: Roessingh research and development, 1999.

Kee, D. and Karwowski, W., Ranking systems for evaluation of joint and joint motion stressfulness based on perceived discomforts, *Applied Ergonomics*, 34(2), 167-176, 2003.

Kilbom, A., Repetitive work of the upper extremity: Part II - The scientific basis (knowledge base) for the guide, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14, 59-86, 1994.

Kumar, S. and Mital, A., *Electromyography in Ergonomics*, Taylor & Francis, 1996.

Larsson, B., Sogaard, K. and Rosendal, L., Work related neck-shoulder pain: A Review on magnitude, risk factors, biochemical characteristics, clinical picture and preventive interventions, *Best Practice and Research Clinical Rheumatology*, 21(3), 447-463, 2007.

Lin, C.L, Wang, M.J., Drury, C.G. and Chen, Y.S., Evaluation of perceived discomfort in repetitive arm reaching and holding tasks, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40, 90-96, 2010.

Mukhopadhyay, P., O'Sullivan, L. and Gallwey, T.J., Estimating upper limb discomfort level due to intermittent isometric pronation torque with various combinations of elbow angles, forearm rotation angles, force and frequency with upper arm at 90˚ abduction, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37, 313-325, 2007.

Nordander, C., Ohlsson, K., Akesson, I., Arvidsson, I., Balogh, I., Hansoon, G. A., Stromberg, U., Rittner, R. and Skerfving, S., Risk of musculoskeletal disorders among females and aales in repetitive/constrained work, *Ergonomics*, 52(10), 1226-1239, 2009.

Perotto AO, Delagi EF, Iazzetti J and Morrison D. *Anatomical guide for the electromyographer – the Limbs and Trunk (4th ed),* Illinois: Chares C Thomas, 2005.

Qin, J., Lin, J.H., Buchholz, B. and Xu, X., Shoulder muscle fatigue development in young and older female adults during a repetitive manual task, *Ergonomics*, 57(8),1201-1212, 2014.

Van Rijn, R. M., Huisstde, B. M., Koes, B. W. and Burdorf, A., Association between work-related factors and specific disorders of the shoulder: A systematic review of the literature, *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 36(3), 189-201, 2010.

Winter, D.A., *Biomechanics and Motor Control of Human Movement (2nd Ed.)*, John Wiley & Sons, 1990.