Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 31, No. 2 pp.281-289, April 2012 http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2012.31.2.281

Workload Evaluation of Various Shoulder Posture by using Muscle Force, Fatigue and Psychophysical Workload

Ji Soo Park, Jung Yong Kim

Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University, Ansan, 425-791

ABSTRACT

Objective: The purpose of this study is to evaluate the potential risk of shoulder muscle at particular working postures in sitting. **Background:** The cause of shoulder pain needs to be specifically studied in relation with particular shoulder postures to prevent shoulder MSDs in workplace. **Method:** In this study MVC, fatigue and subjective workload were investigated depending on the change of shoulder posture. An experiment was designed to evaluate the six shoulder muscles at nine shoulder postures including the combination of 30(adduction), 0, 30(abduction) degrees and 60, 90, and 120 degrees of shoulder flexion. Surface electrodes were attached to the middle trapezius, inferior middle trapezius, anterior deltoid, posterior deltoid, serratus anterior and teres major. Thirteen subjects participated in the experiment. Dependent variables were RPE (rating of perceived exertion), MVC(maximum voluntary contraction) and MPF(mean power frequency) shift by EMG (electromyography). **Results:** The middle trapezius and inferior middle trapezius were not significantly fatigued at all postures. The decline of MPF slope was less than 10% at all postures. The anterior deltoid was significantly fatigued all postures. The decline of MPF slope was more than 10% at all postures. The posterior deltoid was significantly fatigued 30 degrees of adduction and 90 degrees of flexion. And, neutral and 30 degrees of abduction postures were fatigued more than 90 degrees of flexion. The serratus anterior was significantly fatigued except for 30 degrees of adduction and 60 degrees of flexion posture. The teres major was significantly fatigued except for neutral and 60 degrees of flexion, 30 degrees of abduction and 60 degrees of flexion posture. **Conclusion:** It was found that a certain muscle was fatigued fast at particular posture compared to other muscles, which would mean that a certain shoulder muscle at particular posture could be easily exposed to the risk of musculoskeletal disorders than other muscles. **Application:** It is expected that the result can be applied to design workplace using shoulder muscles.

Keywords: Muscle force, Electromyography, RPE, Posture, Workload

1. Introduction

최근 들어, 자동화로 인하여 상지의 근골격계 질환이 증가하고 있다. 이러한 상지의 근골격계 질환을 예방하기 위한 연구가 다수 진행되고 있다. 상지의 근골격계 질환 중에서 어깨와 관련된 질환은 주로 반복성 긴장장애(repetitive strain injuries; RSI), 오십견과 같은 증상이 주를 이루고 있다. 이러한 증상은 반복도가 높은 작업, 과도한 힘을 요구하는 작업, 정적인 작업, 장시간 정적 작업, 부자연스러운 자세 등이 원인이 되고 있다(Lasson et al., 2007).

어깨의 통증과 상해는 국내 근로자의 30.4% 정도가 일반적으로 경험하는 문제이다. 국내 간호사의 경우 어깨 통증에 의한 근골격계 질환 증상은 약한 통증이 27.2%, 중간 정

Corresponding Author: Jung Yong Kim. Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University, Ansan, 425-791.
E-mail: jungkim@hanyang.ac.kr

Copyright@2012 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.
ⓒThis is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

도 통증이 25%, 심한 통증이 17.3% 정도라고 보고되었다(Kee and Seo, 2007). 목-어깨의 국부 근육 근골격계 질환의 경우 경작업을 주로 하는 산업에서 발생한다고 하였다(Åstrand와 Rodahl, 1986). 네델란드와 벨기에 벌목 작업자들을 12개월 동안 조사한 결과에 의하면 30~40%의 작업자들이 목이나 어깨 부위에 근골격계 질환에 노출되고 있다고 한다(Buckle and Devereux, 2002). 그럼에도 불구하고, 어깨의 다양한 작업자세에 대한 작업부하와 피로에 관련된 연구는 부족한 실정이다. 이러한 이유는 어깨의 구조가 복잡하고 어깨 근육의 활동을 측정하기 힘들기 때문이다(Åstrand and Rodahl, 1986).

근골격계 질환을 평가하는데 근육의 피로 정도를 이용하지만 심물리학적인 요소와 물리적인 요소가 포함된 매우 복잡한 평가방법이다(Åstrand and Rodahl, 1986). 특히 어깨와 같은 국부 근육피로를 측정하고자 할 때 종종 통증으로 인하여 주관적인 노력이나 힘을 내는 것을 막아 측정을 방해한다고 한다(Pedersen et al., 1999). 어깨는 매우 복잡한 구조를 가지고 있기 때문에 위팔어깨관절(glenohumeral(GH) joint)과 rotator cuff 근육들인 가시위근(supra-spinatus), 가시아래근(infra-spinatus), 소원근(teres minor)과 견갑아래근(subscapularis) 근육의 상호작용이 어깨 동작에 매우 중요한 역할을 한다(Norkin and Levangie, 1992). 그리고, 등세모근(trapezius), 앞톱니근(serratus anterior), 어깨세모근(deltoid)과 같은 여러 근육들이 어깨의 움직임에 중요한 역할을 한다고 하였다(Basmajian and De Luca, 1985). 이러한 복잡한 구조를 가진 어깨를 측정하기 위해서는 다양한 고려가 필요하다.

따라서, 어깨에 대한 연구들은 주로 근전도와 심물리학적 작업부하 측정을 통한 힘과 피로도 평가가 주를 이루고 있다. Kim et al.(2003)은 25개의 작업자세에 대하여 위쪽, 아래쪽 등세모근(trapezius), 어깨세모근(deltoid)의 MVC, 근전도와 주관적 작업부하를 평가하였다. 그 결과 어깨의 굽힘 각도, 모음과 벌림 각도가 증가할 때, 어깨가 견딜 수 있는 부하가 감소한다고 하였다. Park and Kim(2008a, 2008b, 2010)은 10개 작업자세에 대하여 위쪽, 아래쪽 등세모근, 앞쪽과 뒤쪽 어깨세모근, 앞톱니근(serratus anterior), 가시아래근(infrasupinatus), 어깨올림근(levator scapulae)을 사용하여 MVC, 근육피로도와 주관적 작업부하를 평가하였다. 측정결과 앞쪽과 뒤쪽의 어깨세모근이 작업자세별 근육피로도를 민감하게 반영한다고 하였다. 또한, 피로도 측정 시 신호의 안정성을 확보하기 위해서는 500ms 이상의 윈도우 크기로 분석을 해야 한다고 하였다. Ekstrom et al.(2005)은 30명의 실험참가자를 대상으로 9개 자세에 대하여 표면전극을 이용하여 앞톱니근(serratus anterior)과 위쪽(upper), 중간(middle), 아래쪽 등세모근(lower trapezius)의 표면근전도(surface electromyography; sEMG)를 측정하였다. 측정결과 견갑골(scapula)이 위쪽으로 들어올려지는 모든 동작에서 앞톱니근의 근육활동이 활발한 것으로 나타났다. Garg et al.(2006)는 자동차 조립공정에서 제품, 작업공구, 어깨의 작업자세, 팔을 올리고 내리는 동작에 따른 어깨관절의 피로에 대한 연구를 수행하였다. 10명의 실험참가자를 대상으로 60, 90, 120도 굽힘 동작에 대한 sEMG, RPE(rating of perceived exertion), 피로도와 통증을 측정하였다. 실험결과 어깨의 굽힘 각도가 60, 90, 120도로 증가할 때, 피로에 저항하는 정도가 67, 25, 33%로 각각 감소한다고 하였다. Ebaugh et al.(2006)는 근전도의 MPF(median power frequency)를 측정하여 위쪽과 아래쪽 등세모근, 앞톱니근, 앞쪽 뒤쪽 어깨세모근과 가시아래근에 대하여 견갑흉골관절(scapulothoracic)과 위팔어깨관절(glenohumeral)의 운동형상학적(kinematics) 측정을 하였다. 측정결과 가시아래근(infra-spinatus)과 어깨세모근(deltoid)에서 피로도가 나타났지만, 아래쪽 등세모근(lower trapezius)에서는 피로도가 나타나지 않았다. Minning et al.(2007)은 어깨를 90도로 들어올릴 때 어깨 근육의 동적(isometric) 피로도를 측정하였다. 16명의 실험참가자를 대상으로 측정한 결과 다른 근육들 보다 가운데쪽 어깨세모근에서 근육피로도가 나타난다고 하였다. 그러나, 이 연구에서는 특정 어깨자세에 대하여 고려하였기 때문에 다양한 어깨자세에 대한 고려가 부족하였다. 산업현장에서 인간공학적인 작업장 설계를 하기 위해서는 어깨관절에 대한 다양한 고려가 필요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 어깨의 작업자세가 변화할 때, 최대근력(maximum voluntary contraction, MVC), 피로도, 주관적 작업부하(rating of perceived exertion, RPE)를 측정하고자 하였다. 측정결과를 이용하여 어깨의 작업자세가 변할 때 쉽게 피로해지는 근육 또는 주로 사용되는 근육을 찾고자 하였다. 또한, 작업장에서 쉽게 근골격계 질환에 노출될 수 있는 작업자세를 예측하고자 하였다.

2. Method

2.1 Participants

본 연구에서는 어깨 근육의 작업자세에 따른 근전도 측정을 위하여 어깨를 수술한 적이 없고, 최근 6개월간 어깨의 통증을 경험한 적이 없는 총 13명(남자 7명과 여자 6명)의 실험참가자를 대상으로 하였다. 나이는 평균 26.36(±6.25)세, 키는 170.45(±7.99)cm, 체중은 65.41(±13.66)kg이었다.

2.2 Muscle selection

어깨의 다양한 작업자세에 따른 근전도를 측정하기 위하여 어깨의 굽힘(flexion)과 모음/벌림(add/abduction) 그리고 어깨의 바깥쪽과 안쪽 돌림(lateral and medial rotation)과 관련된 가운데 등세모근(middle trapezius), 안쪽 가운데 등세모근(inferior middle trapezius), 앞쪽과 뒤쪽 어깨세모근(anterior and posterior deltoid), 앞톱니근(serratus anterior), 대원근(teres major)을 선택하여 근전도를 측정하였다.

2.3 Experimental procedures

본 연구에서 사용한 독립변수는 어깨의 굽힘 각도(flexion angle)와 모음/벌림 각도(add/abduction angle)를 사용하였다. 어깨의 모음/벌림 각도와 굽힘 각도의 경우 상체의 수직 중심선(vertebral column)과 어깨점(acromion)과 팔꿈치 바깥점(lateral epicondyle)을 연결하는 선과의 각도를 이용하여 정의하였다. 각각의 수준은 굽힘의 경우 0°, 60°, 90°, 120°의 4수준을 사용하였고, 모음/벌림 각도의 경우 모음(adduction) 30°, 0°(neutral), 벌림(abduction) 30°의 3수준을 사용하였다. 각 수준별 어깨의 자세는 디지털 관절각도측정기(digital goniometer)를 사용하여 조정하였다(Kim et al., 2003).

어깨의 자세별 근전도의 측정은 100% MVC를 2회 측정한 후, 두 값이 특이한 차이점(5kgf 이상)을 보이지 않을 때, 평균값을 계산하여 그 값의 30% MVC 수준이 각 자세의 근력유지 수준으로 결정되었다. 본 연구의 근력유지 수준과 유지시간은 Rohmert's curve에 근거하여 결정하였다(Åstrand and Rodahl, 1986; Garg, 2002). 각 자세별 측정은 30% MVC를 1분간 유지하도록 하여, 실험시작 전 5초와 실험종료 전 5초를 제거하고 50초 간의 값을 사용하였다. 각 실험간 휴식시간은 10분으로 하였으며, 총 10회의 실험에 대하여 counter balancing을 통하여 실험순서를 결정하였다.

매 실험이 종료된 후에 실험참가자에게 주관적 작업부하를 측정하기 위하여 Borg의 RPE(rating of perceived exertion) scale을 이용하여 설문을 실시하였다(Åstrand and Rodahl, 1986).

2.4 Apparatus

어깨의 근력 측정과 근력유지를 위한 장비로 50kgf까지 측정 가능한 Bongsin의 loadcell을 사용하였고, 작업자세에 따라 모멘트 암(moment arm)의 길이가 변화하는 것을 고려하여 파이프를 따라 이동이 가능한 고리를 이용하여 loadcell을 고정하였다. 또한, 길이조정이 가능한 쇠줄에 손잡이를 부착하여 실험참가자가 잡기 편하도록 장비를 제작하였으며, 회전이 가능한 의자를 사용하여 어깨의 모음/벌림 각도별 작업자세를 취할 수 있도록 하였다.

근전도를 측정하기 위하여 표면전극방법(surface electrode method)을 사용하는 Coulborun Instrument사 (미)의 EMG 측정시스템을 사용하였다. 사용된 표면전극은 양극표면전극(bipolar surface electrode) 6채널을 사용하였다. EMG 시스템에 포함된 high gain bioamplifire(×2,500)와 bandpass filter S75-01(range: 1~1,000Hz), high speed videograph I/O port L19-02를 사용하였으며, sampling rate은 1,024Hz를 사용하여 측정하였다.

2.5 Analysis method

작업자세별 피로도 변화를 분석하기 위하여 측정된 60초 간의 근전도 신호는 실험시작 시 5초와 실험종료 후 5초를 제거한 후, 50초 구간을 1초 간격으로 fast fourier transformation(FFT)을 이용하여 변환 후, mean power frequency(MPF)를 계산하였다. MPF 값은 실험시작 시 값을 기준으로 하여 다음의 식과 같이 정규화하였으며, 1초 단위로 계산하였다.

$$MPF_{Normalize} = MPF_{t+1} - MPF_{1}$$

여기에서, t = Analysis time(sec)

계산된 MPF 값은 회귀분석을 이용하여 기울기를 계산하고, 기울기의 정도를 각 근육의 피로도 변화율로 정의하였다(Öberg et al., 1994; Öberg 1995).

3. Results

3.1 Rating of perceived exertion results

주관적 작업부하 측정결과는 중립자세(neutral posture; 굽힘 0°와 모음/벌림 0°)일 때를 100%로 정의하고, 굽힘 각도가 60°, 90°, 120°일 때를 비교하였다. 측정결과 모음/벌림이 0°일 때, 굽힘 각도가 60°에서는 143%, 90°에서는 163%, 120°에서는 164%으로 나타났다. 같은 방법으로 모음 30°일 때, 굽힘 각도 60°에서는 136%, 90°에서는 167%, 120°에서는 169%로 나타났다. 벌림 30°일 때, 굽힘 각도 60°에서는 141%, 90°에서는 160%, 120°에서는

171%로 나타났다(Figure 1).

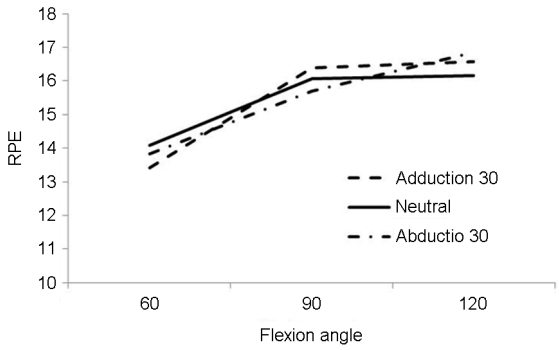

Figure 1. The RPE result of working posture at shoulder

3.2 Maximum voluntary contraction results

최대근력은 중립자세일 때를 100%로 정의하고, 굽힘 각도가 60°, 90°, 120°일 때를 비교하였다. 측정결과 모음/벌림이 0°일 때, 굽힘 각도가 60°에서는 30%, 90°에서는 20%, 120°에서는 20%으로 나타났다. 같은 방법으로 모음 30°일 때, 굽힘 각도 60°에서는 20%, 90°에서는 16%, 120°에서는 15%로 나타났다. 벌림 30°일 때, 굽힘 각도 60°에서는 21%, 90°에서는 15%, 120°에서는 15%로 나타났다(Figure 2)

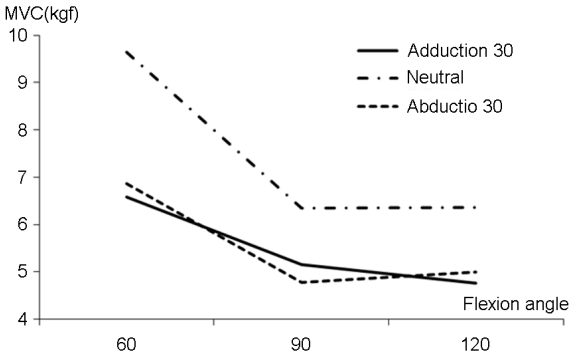

Figure 2. The MVC result of working posture at shoulder

3.3 Fatigue results

측정된 MPF(mean power frequency)값에 대하여 분산분석을 실시하였다(Table 1). 분산분석결과 유의수준 α = 0.05에서 모음/벌림 각도가 변화할 때, 피로도의 변화는 나타나지 않았지만, 굽힘 각도가 변화할 때, 피로도의 차이가 나타났다. 또한, 어깨의 작업자세가 변할 때, 근육별로 피로도의 차이가 나타났다.

Table 1. ANOVA result of MPF by working posture of shoulder (*: α=0.05)

Source	Type III sum of squares	d.f.	Mean square	F	Sig.
Ab/adduction	1636.595	2	818.297	0.893	0.410
Flexion	13265.969	3	4421.990	4.827	*0.002
Muscle	62407.154	6	10401.192	11.355	*0.001

근육피로도의 경우 MPF 값이 저주파로 천이(shift)되는 경우 근육이 피로해졌다고 할 수 있다. 본 연구에서는 근육 피로도 변화를 비교하기 위하여, 실험 초기값을 기준으로 MPF 값의 변화를 정규화 하였다. 정규화한 50초 간의 MPF 값을 선형회귀분석을 이용하여 Figure 3과 같이 피로도의 변화를 비교하였다.

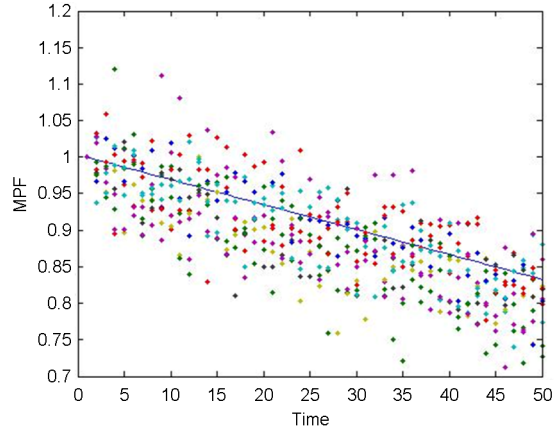

Figure 3. Example of linear regression for anterior deltoid muscle at flexion 120 and abduction 30

각 작업자세에 따른 어깨 근육의 피로도 변화는 Figure 4~Figure 9와 같다. 가운데 등세모근(middle trapezius)과 안쪽 가운데 등세모근(inferior middle trapezius)은 모든 자세에서 MPF의 변화가 10% 미만으로 나타났다(Figure 4, 5). 이러한 결과는 가운데 등세모근이 어깨를 사용하는 작업에서는 주된 역할을 하지 않고 팔을 90° 이상 들어올리는 역할에만 관여하는 것으로 예측된다.

반면에 앞쪽 어깨세모근(anterior deltoid)의 경우는 모든 자세에서 MPF의 변화가 10% 이상으로 나타났다(Figure 6). 이러한 결과는 앞쪽 어깨세모근이 팔을 앞쪽으로 들어올리고 바깥쪽으로 벌리는 역할을 하기 때문이다. 따라서, 어깨를 사용하는 작업에서 앞쪽 어깨세모근이 주된 역할을 하

는 것으로 볼 수 있다.

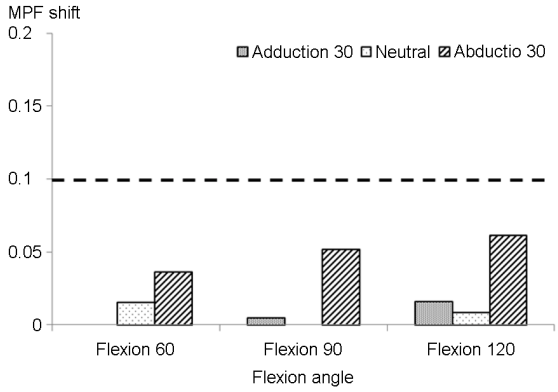

Figure 4. The fatigue result of middle trapezius muscle

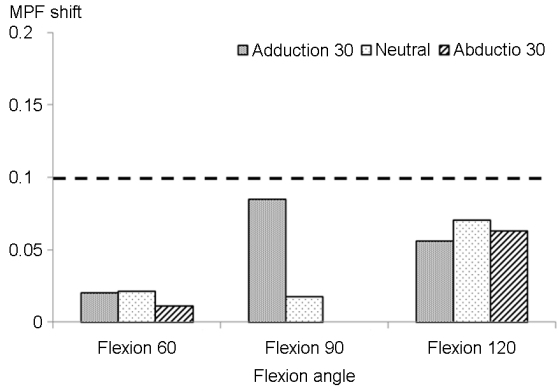

Figure 5. The fatigue result of inferior middle trapezius muscle

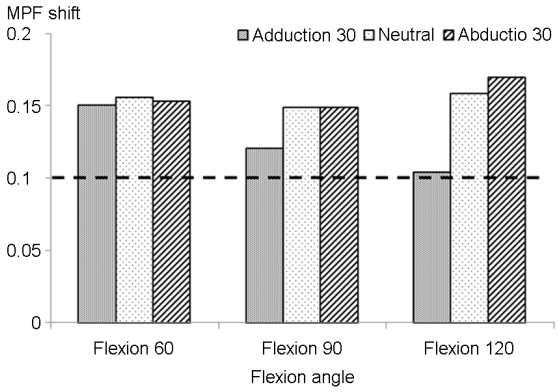

Figure 6. The fatigue result of anterior deltoid muscle

뒤쪽 어깨세모근(posterior deltoid)은 모음 30°일 때, 모든 굽힘 각도에서 피로도가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 팔을 앞쪽으로 모으고 작업을 하는 경우에는 뒤쪽 어깨세모근이 작용을 하지 못하는 것을 알 수 있었다. 중립자세일 때는 모든 굽힘 각도에서 피로도가 나타났고, 벌림 30°에서는 굽힘 각도가 90° 이상일 때, 피로도가 증가하는 것으로 나타났다(Figure 7). 따라서, 뒤쪽 어깨세모근은 팔을 90° 이상 벌린 자세에서 주된 역할을 하는 것으로 볼 수 있었다. 대원근teres major)의 경우는 모음 30°에서는 굽힘 60°일 경우에만 피로도가 나타났고, 중립자세와 벌림 30°에서는 모든 굽힘 각도에서 피로도가 나타났다(Figure 8). 이러한 결과는 대원근이 팔을 앞으로 밀거나 안쪽으로 돌리는 역할을 하며, 어깨세모근과 함께 어깨를 벌리는 동작을 하기 때문이다.

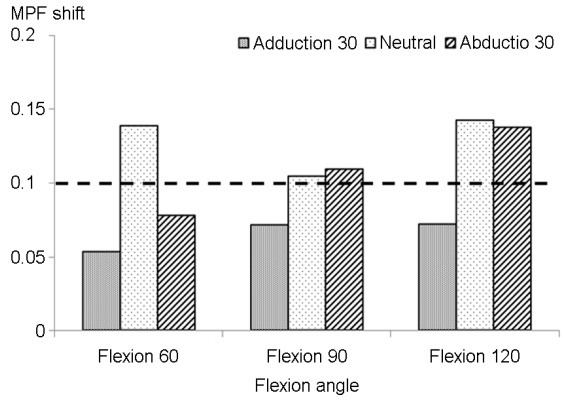

Figure 7. The fatigue result of posterior deltoid muscle

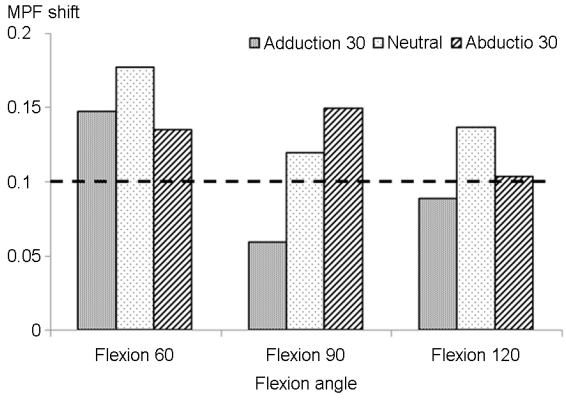

Figure 8. The fatigue result of teres major muscle

앞톱니근의 경우는 모음 30°일 때, 굽힘 각도가 90° 이상에서 피로도가 나타났다. 중립자세와 벌림 30°에서는 굽힘 각도가 증가할수록 피로도가 증가하는 것으로 나타났다(Figure 9). 이러한 결과는 앞톱니근이 등세모근을 도와 견갑골(scapulae)을 위로 들어올리는 역할을 하기 때문이고, 견갑골이 들어올려지지 않으면 90° 이상의 모음 동작이 불

가능하기 때문이다. 따라서, 앞톱니근도 어깨를 사용하는 작업자세에서 주된 역할을 하며, 특히 팔이 어깨 높이 이상으로 올라갈 때 주된 역할을 하는 것을 알 수 있었다.

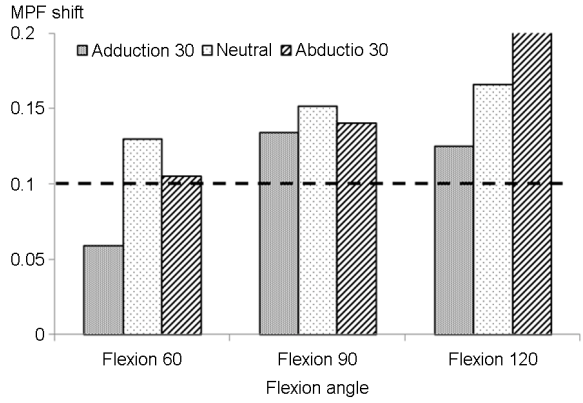

Figure 9. The fatigue result of serratus anterior muscle

Öberg(1995)는 어깨의 경우 근육의 피로도가 나타나는 것은 작업부하 2kg일 경우 11% 이상의 MPF 값이 감소하는 경우라고 하였다. 따라서, 본 연구에서는 작업자세별 최대근력이 평균 2.76kgf로 측정되었으므로, 작업자세별로 10% 이상의 MPF 값의 기울기가 나타날 때를 피로해졌다고 정의하였다. 중립자세를 포함하여 총 10가지의 작업자세에 대하여 각 근육별로 측정된 근전도를 이용하여 60개의 MPF 기울기를 계산하였다. 이 중에서 MPF 값이 10% 이상의 기울기를 가지는 작업조건은 총 29개로 나타났다. 특히, 벌림 30°와 굽힘 120°일 때, 앞톱니근(serratus anterior)의 MPF 기울기가 가장 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 특정 자세에서 특정근육이 쉽게 피로해 질 수 있다는 것을 의미한다.

분석결과에서 볼 수 있듯이 어깨의 작업자세별로 사용되는 근육이 다르다는 것을 알 수 있었다. 또한, 특정 자세에서 쉽게 피로해지거나 손상될 수 있는 근육이 있다는 것을 의미하며, 대부분 어깨가 90° 이상 들어올려지는 경우에 피로도가 높게 나타나는 것을 볼 수 있었다(Table 2).

4. Discusstion

4.1 Relationship of MVC, RPE and fatigue

본 연구에서는 다양한 어깨자세에 따른 MVC, MPF와 주관적 작업부하를 측정하였다. MVC 측정결과에서는 Kim et al.(2003)의 연구보다 낮은 값을 보이는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 여성 실험참가자에 의한 영향으로 볼 수 있었다. 또한, 주관적 작업부하 측정결과는 Kim et al.(2003)의 연구와 다른 측정방법을 사용했는데도 불구하고 유사한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 따라서, magnitude estimation과 Borg의 RPE 측정방법 중에서 어떠한 방법을 사용해도 유사한 결과를 얻을 수 있는 것을 알 수 있었다.

주관적 작업부하 평가결과와 MVC를 MPF와 비교한 결과 낮은 MVC와 높은 주관적 작업부하를 나타내는 자세에서 근육이 쉽게 피로해지거나 손상될 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 팔이 90° 이상 들어올려지는 경우 안쪽 가운데 등세모근이 견갑골을 들어올린다고 할 수 있으나, 어깨가 들어올려지기 시작할 때 또는 그 이후에 큰 힘이 작용하지 않는다고 할 수 있다. 또한, 안쪽 가운데 등세모근은 모든 어깨 작업에서 주된 활동을 하지 않는다고 할 수 있다.

Strimpakos et al.(2005)는 서있는 자세에서 목을 움직

Table 2. The result of MPF shift at various shoulder posture

Abduction angles	Flexion angles	Ratio of MPF shift (%)					
		Middle trapezius	Inferior middle trapezius	Anterior deltoid	Posterior deltoid	Serratus anterior	Teres major
-30	60	0.01	1.99	**15.06**	5.33	5.92	**14.72**
	90	1.52	2.12	**15.59**	**13.87**	**13.01**	**17.73**
	120	3.63	1.13	**15.29**	7.78	**10.51**	**13.51**
0	60	0.45	8.46	**12.04**	7.15	**13.41**	5.93
	90	0.01	1.73	**14.86**	**10.47**	**15.19**	**11.94**
	120	5.16	0.01	**14.87**	**10.90**	**14.05**	**14.95**
30	60	1.56	5.58	**10.40**	7.19	**12.55**	8.87
	90	0.82	7.04	**15.84**	**14.22**	**16.62**	**13.65**
	120	6.12	6.30	**16.98**	**13.75**	**20.65**	**10.33**

Shade area is more than 10% of MPF shift

일 때의 견갑골 근육의 근전도와 주관적 피로도를 측정하였다. 측정결과 Borg의 RPE 값의 변산성(variability)으로 인하여 RMS와는 상관관계를 보이지 않는 것으로 나타났다. Troiano et al.(2008)는 MVC, 피로도와 RPE 값을 비교하였다. 연구결과 힘을 사용하는 시간을 예측할 수 있다고 하였고, MVC와 RPE는 음의 상관관계가 있다고 하였다. 하지만, MPF와 RPE는 상관관계를 보이지 않는다고 하였다. 본 연구에서도 RPE와 MVC의 상관관계를 분석한 결과 유의수준 α=0.05에서 상관계수 값이 −0.681로 유의한 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. RPE와 MPF와의 상관관계는 앞쪽 어깨세모근과 뒤쪽 어깨세모근이 유의수준 α=0.05에서 각각 상관계수 값이 0.707과 0.745로 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났고, 다른 근육들은 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. 주관적인 피로도 평가방법은 참고자료로는 사용할 수 있지만, 주된 측정방법으로 사용하기에는 한계를 가지고 있다고 할 수 있다.

추가적으로, MVC 측정결과 굽힘 각도 90°와 120°는 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났으며, MPF 기울기 값도 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 굽힘 120°가 더 불편한 자세이지만, 굽힘 90°의 모멘트 암(moment arm)이 짧은 것에 기인한 것으로 예측할 수 있다. Garg et al.(2006)의 연구에서 굽힘 각도 90° 이상에서 RPE 값이 60에서의 RPE 값보다 유의하게 높다고 하였고, 90°와 120°에서는 유의한 차이를 보이지 않는다고 하였다. Garg et al.(2006)는 MVC를 측정하지는 않았지만, 주관적인 작업부하에서 본 연구와 유사한 경향을 나타내는 것을 알 수 있었다.

4.2 Muscle fatigue

Garg et al.(2006)는 어깨가 90° 이상으로 들어올려지는 작업에 대한 연구에서 피로도에 대한 유의한 결과를 얻었다고 하였다. 2.73kg의 작업물을 들고 어깨의 굽힘 각도를 60, 90, 120°로 증가시킬 때 피로도에 저항하는 정도가 67%, 25%, 33%로 각각 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 어깨의 굽힘 각도가 증가할수록 어깨근육이 쉽게 피로해진다는 결과라고 할 수 있다.

Table 2에 의하면 피로도가 나타난 근육이 앞쪽과 뒤쪽 어깨세모근, 앞톱니근, 대원근으로 나타났다. 피로도가 나타난 모든 근육에서 어깨의 굽힘 각도가 90° 이상인 경우에 피로도가 높아지는 것을 볼 수 있었다. 예외적으로, 뒤쪽 어깨세모근의 경우는 모음 30°에서 90° 보다 120°가 피로도가 더 낮은 경우를 볼 수 있었다.

본 연구에서도, 어깨를 사용하는 작업에서는 뒤쪽 어깨세모근과 대원근, 앞톱니근이 팔을 들어올리는 굽힘 동작과 벌림 동작에 주된 역할을 하는 것을 알 수 있었다. 또한, 어깨를 사용하는 작업에서 쉽게 피로해지거나 손상되기 쉬운 근육이라고 할 수 있을 것이다. 본 연구에서 가운데 등세모근과 안쪽 가운데 등세모근의 피로도가 낮게 나타났지만, 팔을 어깨높이 이상 들어올리는 작업에서 견갑골을 올려주는 역할을 하기 때문에 어깨를 사용하는 작업에서 중요한 역할을 한다고 할 수 있다(Brox, 2003). 어깨의 동작에 따라 근육들이 피로해지는 경향이 서로 다르다는 것을 확인할 수 있었으며, 쉽게 피로해지는 근육은 작업 설계 또는 작업 시에 고려해 주어야 한다는 것으로 해석할 수 있다.

많은 연구자들이 어깨의 모음/벌림 동작이 없는 굽힘 동작이 60° 이상 일 때의 국부근육피로에 대해서 연구를 수행하여 왔다(Larsson et al., 2007; Garg et al., 2006; NIOSH, 1997). Minning(1991)은 위쪽과 아래쪽 등세모근, 앞톱니근, 가운데 어깨세모근을 대상으로 벌림 60°와 굽힘 90° 일 때의 근전도를 측정하였다. 측정결과 가운데 어깨세모근이 다른 근육보다 피로도가 크다고 하였다. 이러한 결과는 본 연구에서 벌림 60°와 굽힘 90°일 때의 어깨세모근의 피로도가 10% 이상인 결과와 유사하다. 하지만, 어깨를 사용한 작업의 경우 작업 시에 다양한 어깨자세가 고려되어야 하지만, Minning(1991)의 연구에서는 특정 작업자세만을 고려하였다.

어깨에 대한 일반적인 연구들은 국부근육피로에 대하여 특정한 자세에서의 MPF(mean power frequency) 또는 MF(median power frequency)의 변화에만 관심을 가지고 있었다. 하지만, 어깨를 사용한 작업은 작업 중에 다양한 동작이 요구되기 때문에 특정한 자세를 대상으로 한 분석은 한계를 가지고 있다. 따라서, 특정한 자세를 대상으로 한 것뿐만 아니라 어깨의 작업자세가 변화할 때 피로도가 어떻게 변화하는가를 살펴볼 필요가 있다. 또한, 특정한 작업자세에서 쉽게 피로해지거나 작업자세가 변화할 때 피로 정도가 변화하는 것에 대해서 비교해 볼 필요가 있다고 할 수 있다.

본 연구에서는 어깨를 사용한 다양한 작업자세에서 각각의 근육들이 다른 피로도가 나타날 수 있다는 것을 발견하였다. 따라서, 연구결과를 이용하여 어깨를 사용하는 작업장에서 작업부하를 예측할 수 있는 모델을 개발하는데 기초자료로 사용할 수 있을 것으로 기대한다.

5. Conclusion

본 연구는 다양한 어깨자세에 따른 근육의 피로도를 측정하였다. 특정 자세에서 작업자세가 변화할 때 쉽게 피로해지거나 손상되기 쉬운 근육을 찾을 수 있었다. 그리고, MPF

기울기를 이용한 회귀분석 모델은 작업 시 발생할 수 있는 어깨의 위험요인을 정량적으로 예방할 수 있을 것으로 기대한다. 본 연구는 작업장 설계에 사용할 수 있는 기초자료로 사용할 수 있을 것이며, 추후 현장연구에 적용할 수도 있을 것으로 기대한다.

References

Åstrand, P. O. and Kaare Rodahl, K., *Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise; 3rd ed*. McGraw-Hill, New York, 1986.

Basmajian, J. V. and De Luca, C. J., *Muscle Alive: Their Functions Revealed by Electromyography; 5th ed*. Williams and Wilkins, London, 1985.

Brox, J. L., Shoulder pain, *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 17(1), 33-56, 2003.

Buckle, P. W. and Devereux, J. J., The nature of work-related neck and upper limb musculoskeletal disorders, *Applied Ergonomics*, 33, 207 -217, 2002.

Ebaugh, D. D., McClure, P. W. and Karduna, A. R., Effects of shoulder muscle fatigue caused by repetitive overhead activities on scapulo-thoracic and glenohumeral kinematics, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16, 224-235, 2006.

Ekstrom, R. A., Soderberg, G. L. and Donatelli, R. A., Normalization procedures using maximum voluntary isometric contractions for the serratus anterior and trapezius muscles during surface EMG analysis, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 15, 418-428, 2005.

Farina, D. and Madeleine, P., Thomas Graven-Nielsen, Roberto Merletti, and Lars Arendt-Nielsen, 2002. Standardising surface electromyogram recordings for assessment of activity and fatigue in the human upper trapezius muscle, *European Journal of Applied Physiology*, 86, 469 -478.

Garg, A., Hegmann, K. T., Schwoerer, B. J. and Kapellusch, J. M., The effect of maximum voluntary contraction on endurance times for the shoulder girdle, *International Journal of Industrial Egonomics*, 30, 103-113, 2002.

Garg, A., Hegmann, K. and Kapellusch, J., Short-cycle overhead work and shoulder girdle muscle fatigue, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36, 581-597, 2006.

Kee, D. H. and Seo, S. R., Musculoskeletal disorders among nursing personnel in Korea, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37, 207-212, 2007.

Kim, J. Y., Chung, M. K. and Park, J. S., Measurement of Physical Work Capacity During Arm and Shoulder Lifting at Various Shoulder Flexion and Ad/Abduction Angles, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 13 (2), 153-163, 2003.

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

Minning, S., Eliot, C. A., Uhl, T. L. and Malone, T. R., EMG analysis of shoulder muscle fatigue during resisted isometric shoulder elevation, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17, 153-159, 2007.

Norkin C. C. and Levangie, P. K., *Joint Structure and Function: A Comprehensive Analysis; 2nd ed*. F.A. Davis Company, 1992.

Öberg, T., Sandsjö, L, and Kadefors, R., EMG mean power frequency: obtaining a reference value, *Clinical Biomechanics*, 9, 253-257, 1994.

Öberg T., Muscle fatigue and calibration of EMG measurements, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 5(4), 239-243, 1995.

Park, J. S. and Kim, J. Y. Physical Strength and Fatigue Measurement of the Shoulder in a Sitting Position, The Japanese Journal of Ergonomics, June, Vol.44, pp.386-388, 2008a.

Park, J. S. and Kim, J. Y., The Muscle Fatigue Prediction Model for Various Shoulder Postures, Joint Conference of International Association of Societies of Design Research, The Ergonomics Society of Korea, Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility, Kimhae, October, 2008b.

Park, J. S. and Kim, J. Y., Regression analysis of fatigue at various shoulder postures in sitting, Proceedings of the 9th Pan-Pacific Conference on Ergonomics, November 7-10, Kaohsiung Taiwan, 2010.

Pedersen, J., Lönn, J., Hellström, F., Djupsjöbacka, M. and Johansson, H., Localized muscle fatigue decreases the acuity of the movement sense in the human shoulder, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(7), July, 1047-1052, 1999.

Shin, M. K., Koo J. Y., Kim, B, W., Shim, J. W., Yoo, K. W. and Cho, K. P., *Human Anatomy*, Hynmoon, Seoul, 1993.

Strimpakos, N., Georgios, G., Eleni, K., Vasilios, K. and Jacqueline, O., Issues in relation to the repeatability of and correlation between EMG and Borg scale assessments of neck muscle fatigue, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 15, 452-465, 2005.

Troiano, A., Naddeo, F., Sosso, E., Camarota, G., Merletti, R. and Mesin, L., Assessment of force and fatigue in isometric contractions of the upper trapezius muscle by surface EMG signal and perceived exertion scale, *Gait & Posture*, 28, 179-186, 2008.

Author listings

Ji Soo Park: jspark21@hanyang.ac.kr

Highest degree: M.S., Department of Industrial Engineering, Kyonggi University

Position title: Doctoral candidate, Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University

Areas of interest: Biomechanics, Psychophysiology, Bio-signal, processing, PUI design

Jung Yong Kim: jungkim@hanyang.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering, The OHIO state University

Position title: Professor, Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University

Areas of interest: Biomechanics, Psychophysiology, PUI design

Date Received : 2011-04-20

Date Revised : 2012-03-16

Date Accepted : 2012-03-16