

Evaluation of workload of repetitive upper-limb task with various weights and work/rest schedules

Sung Pill Jo¹, Inseok Lee

¹Department of Civil, Safety, Environment. Hankyong National University, Anseong, 456-749

ABSTRACT

Objective: The objective of this study was to investigate the effects of weight of load and work/rest schedule on the workload of repetitive upper-limb task. **Background:** Repetitive arm movement is one of the main occupational risk factors for upper-limb disorders and complaints. Workload of repetitive work is known to be affected by several work factors including posture, weight of load, frequency and duration. With regard to the frequency and duration, it has been known that short and frequent breaks are more effective in recovering from fatigue, while workers seem to prefer longer and less frequent breaks. **Method:** Eighteen participants completed one-hour repetitive tasks with varying work/rest schedule and weights of load. We measured surface EMG, maximum grip force and subjective rating of discomfort at the right arm while performing the repetitive task. **Results:** Ratings of discomfort were shown to increase as the time passes, while no significant changes were found in grip strength according to the time. The EMGs of the upper trapezius and biceps brachii showed the muscular fatigue as the time passes. The effect of weight of load was found in anterior deltoid and biceps brachii, in which median frequencies decreased as the weight decreased. Some interactions between work/rest schedule and weight of load were found to be significant in the shoulder and lower-arm muscles. **Conclusion:** The effects of the weight of load and work/rest schedule on the muscular activities were found in the shoulder and lower arm, while their effects were not significant in the rating of discomfort. The work conditions do not seem to be sufficient to induce significant muscular fatigue so that we can get an informative result. A further study would be necessary with a larger number of subjects. **Application:** This study is expected to be applied in evaluating musculoskeletal work hazards survey of repetitive upper-limb tasks..

Keywords: Work-rest schedule, Repetitive work, Electromyography, Discomfort

1. Introduction

근골격계 질환이란 과도한 인력 작업으로 인해 손, 손목, 팔 어깨, 목, 허리 무릎 등의 신체부위에 발생하는 만성 질환으로서 불편함, 통증, 장애를 유발한다. 근골격계 질환의 원인으로는 과도한 반복동작, 부자연스러운 자세, 무거운 물건 취급, 과도한 힘, 진동, 낮은 온도, 불충분한 휴식시간 등이 있다.

안전보건공단에 의하면 2012년도에 발생한 산업재해 중 산업재해보상보험법에 의해 보상 받은 업무상질병 근골격계질환자(요부질환 제외) 1,253명을 조사하여 분석한 결과, 주요 질병원인으로는 반복적 동작이 46.8%를 차지하였다. 반복적인 동작이 2010년 대비 4.9% 증가하였다. 제조업의 질병원인으로서 반복적인 동작이

49.9%를 차지하고 있고, 이처럼 반복적인 동작은 근골격계질환의 주요인으로 파악된다(안전보건공단, 2013).

미국의 BLS(2003)에 따르면 반복적으로 물체를 내려 놓기, 잡기 및 운반하는 작업이 nonfatal occupational injuries 의 31%를 차지하는 것으로 나타났으며 반복성과 관련이 있다고 보고하였다(BLS, 2005). 가벼운 수동 작업을 반복적으로 수행하는 직업은 어깨의 질환 유병률이 높고, 반복적인 상지의 사용은 어깨질환에 주된 작업위험요소이다(Larsson, Sogaard, and Rosendal 2007; Nordander et al. 2009; Van Rijn et al. 2010).

상지 반복 작업의 부하 수준은 작업자세, 외부하중, 빈도 등에 영향을 받으며 또한 작업/휴식 일정도 중요한 인자 중 하나이다. 실제로 작업자들은 작업 사이클에 맞춰 작업을 하기보다는 휴식 없이 한번에 여러 사이클의 작업을 수행 해놓고 더 긴 시간의 휴식시간을

맞는 경우가 많다.

본 연구에서는 동일한 물리적 작업량을 다른 작업/휴식 일정에서 작업을 수행할 때 작업자에게 가해지는 부하를 근전도를 이용하여 평가하는 실험을 수행하여 작업/휴식 일정이 작업부하나 근육 피로에 미치는 영향을 알아보고 취급 물자의 무게와 작업/휴식 일정간의 교호작용을 알아보기 위해 진행되었다.

2. Method

2.1 Participants

대학생 18명의 남성이 실험에 참여하였다. 평균나이는 24.17 ± 0.99 세, 평균 신장 174.39 ± 3.93 cm 이었다. 피실험자는 모두 오른손 잡이이며, 어깨, 팔 손목 등의 부위에서 근 골격계질환을 경험하지 않았다. 건강한 상태로 실험에 참여하였다.

2.2 Independent variable

본 연구에서 피실험자들은 상지의 반복 동작으로 구성된 작업을 세 가지 무게와 작업/휴식 일정에서 각각 1시간동안 반복 수행하였다. 각 일정은 모두 동일한 양의 작업으로 구성되어있고, 작업과 휴식시간의 배분에 따라서 단기, 중기, 장기로 구분되었다. '단기 작업/휴식 일정'은 147초 작업 후 28초간 휴식을 취하였고, 총 18번의 휴식시간이 주어졌다. '중기 작업/휴식 일정'은 294초 작업 후 56초 휴식하였고 9번의 휴식시간이 주어졌다. '장기 작업/휴식 일정'은 441초 작업 후 84초의 휴식하였고 6번의 휴식시간이 주어졌다. 덤벨의 무게는 1kg, 2kg, 3kg으로 하였고 피실험자는 한 가지 무게의 조건에서 3가지 작업/휴식 일정에 대하여 실험에 참여하였다.

2.3 Dependent variable

상지 반복 작업 중 작업 부하 수준을 평가하기 위하여 근전도, 최대악력, 주관적 불편도를 측정하였다.

피실험자가 반복 작업을 수행하는 동안 오른쪽 근육 Upper Trapezius(UT), Anterior Deltoid(AD), Posterior Deltoid(PD), Biceps Brachii(BB), Flexor Digitorum Superficialis(FS), Extensor Digitorum Communis(EC)에 근전도를 측정하였다. Sampling data는 1500Hz로 측정하였다.

최대악력은 각 실험조건에서 반복 작업 수행 직전, 수행 직후 및 수행이 완료된 뒤 충분한 휴식을 취한 후에 측정하였다. 악력측정 자세는 피실험자가 앉은 상태에서 자연

스럽게 팔꿈치를 90도로 굽히도록 하였다. 힘은 5초간 주도록 하였다.

주관적 불편도는 오른쪽팔의 어깨위쪽, 어깨, 윗팔, 아랫팔과 손과 전체적인 몸의 상태에 대하여 측정하였다. 평가 방법에는 Borg's CR10 척도를 이용하였다. 평가 척도는 0~10점으로, 전혀 불편하지 않음(0점), 아주 경미한 불편함(0.5점), 매우 약한 불편함(1점), 약한 불편함(2점), 보통의 불편함(3점), 강한 불편함(5점), 매우 강한 불편함(7점), 극도로 심한 불편함(10점) 등으로 표현하였다. 피실험자들은 작업/휴식 일정에 단기 시에는 6번째와 12번째 휴식시간에, 중기 시에는 3번째와 6번째 휴식시간에, 장기 시에는 2번째와 4번째 휴식시간에 불편도를 측정하였고 공통적으로 반복 작업을 모두 수행한 후에 불편도를 측정하였다.

2.4 Materials

본 실험에서는 EMG 신호 측정기, 악력계, 상지 반복 작업대와 덤벨이 사용되었다. EMG는 표면 근전도 측정을 실시하였으며, 신호 측정기는 NORAXON사의 TELEmyo DTS system을 사용하였다. 악력계는 TAKEI사의 TKK5101을 사용하였다.

작업대는 작업점 A과 B로 구성되어있다. 작업점 A은 정상작업영역 내의 위치로 피실험자가 팔꿈치를 90도로 하였을 때 닿는 위치이고, 작업점 B는 팔을 최대한 뻗었을 때 닿는 최대작업영역 내의 위치이다. 작업점 A과 B는 피실험자의 팔길이에 따라 조정하였다. 작업대의 높이조절이 가능하여 작업이 팔꿈치 높이에서 이루어지도록 하였다.

덤벨은 일반적으로 사용하는 운동용을 사용하였으며 손잡이가 일정한 것을 선택하였다.

2.5 Experiment protocol

피실험자들은 실험에 참여하기 전에 실험의 목적과 내용을 숙지시키고 동의를 받고 실시하였다. 또한 주관적 불편도를 평가하는 방법을 교육받았다. 본 실험을 앞서 피실험자들의 키, 체중, 팔꿈치 높이, 팔길이를 측정하였으며, 각 피실험자들의 각 근육별 MVC값을 측정하였다. MVC 측정 방법은 SENIAM을 참고하였다. 피실험자가 힘을 주는 반대방향으로 저항하여 최대 힘을 내도록 하였고, 각 시행마다 충분한 휴식을 취하였다.

피실험자들은 작업대에 서서 작업/휴식 일정에 따라 작업점 A에 놓여있는 2개의 덤벨을 작업점 B로 운반하고, 다시 작업점 1로 재운반하는 작업을 3회 반복하는 작업을 실시한다. 총 12회(2*2*3) 덤벨을 운반하는 작업이 1주기에 해당한다. 1주기의 작업시간은 약 21초정도 소요된다.

단기 작업/휴식 일정은 7주기마다 휴식을 취하였고, 중

기 작업/휴식 일정은 14주기마다, 장기 작업/휴식 일정은 21주기마다 휴식을 취하였다. 휴식을 취할 때는 의자에서 휴식을 취할 수 있도록 하였고, 다음 작업 시작 전에 실험 진행자에 의하여 작업대 앞에서 대기할 수 있도록 하였다. 그리고 청각 신호에 따라서 다음 주기의 작업을 실시하였다.

실험 순서는 **Balanced Latin Square Design** 방법을 이용하여 결정하였고, 피실험자들은 하루에 한가지 조건의 작업/휴식 일정에 참여하도록 하였으며, 실험 전 무리한 운동이나 과음을 하지 않도록 주의를 하였으며 몸에 이상이 있을 시에는 실험 날짜를 변경하여 실험을 진행하였다.

3. Results

종속변수인 EMG 신호는 진폭과 주파수 분석을 실시하였다. 진폭은 RMS 값을 구하였고, 주파수는 MNF와 MDF를 계산하였다. 총 1시간의 반복작업에서 단기, 중기, 장기 작업/휴식의 공통적인 작업주기인 42주기, 84주기, 126주기의 EMG 신호를 추출하였다. 한 주기의 총 12회의 덤벨을 운반하는 작업 중 8회 운반작업시 EMG 신호가 활성화되는 부분을 선택하여 추출하였다. 신호처리는 Rectification을 실시한 후 RMS 200ms으로 Smoothing을 하였으며 10~500Hz Bandpass filter를 하였다.

주관적 불편도, 최대악력, EMG진폭 및 주파수는 무게, 작업/휴식일정, 작업시간에 대하여 분산분석을 실시하였다.

3.1 Subjective Discomfort

주관적 불편도는 시간에 대해서만 유의한 결과가 나타났다($p < 0.05$). 시간이 지날수록 신체부위별 주관적인 불편도 점수는 증가하였다.

통계적으로 유의하지는 않았지만 무게에 따라 주관적 불편도가 증가하였다. 목의 점수는 1kg에서 1.32점, 3kg에서 2.13점이 나타났다. 어깨의 점수는 1kg에서 1.37점, 3kg에서 2.17점이 나타났다. 아랫팔과 손의 불편도는 1kg에서 1.68점, 3kg에서는 2.35점이 나타났다. 윗팔은 1kg에서 1.62점, 3kg에서 1.95로 소폭 증가하였다. 전체적인 몸의 불편도도 1kg에서 1.7점, 3kg에서 2.46점이 나타났다.

3.2 Grip Force

악력은 무게, 작업/휴식 일정, 시간에 따라 변화가 없는 것으로 나타났다($p > 0.05$). 무게에 따라서는 2kg에서 악력이 435.1N로 가장 크게 나타났다. 작업/휴식 일정에 따라

서는 중기에서 407.1N으로 가장 낮게 나타났다. 실험 전 411.6N에서 실험 후 411.9N으로 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

3.2 EMG Signal

Upper Trapezius는 MNF와 MDF가 시간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났고($p=0.004$, $p=0.003$), Anterior Deltoid는 MDF에서 무게에 따라 유의한 차이가 나타났다($p=0.047$). Biceps Brachii에서는 MNF에서 무게에 따라 유의한 차이가 나타났으며($p=0.037$), RMS값은 시간의 유의한 차이가 나타났다($p=0.006$). Post Deltoid, Flexor Digitorum Superficialis, Extensor Digitorum Communis에서는 무게•작업/휴식일정•시간에 대하여 교호작용 나타났다($p < 0.05$)

Table 1. Statistically significant main and interaction effects on MNF, MDF, and RMS in ANOVAs ($p < 0.05$)

| Muscles | MNF | MDF | RMS |
|---------|--------|--------|-------|
| UT | Time | Time | |
| AD | | Weight | |
| PD | | | W×S×T |
| BB | Weight | | Time |
| FS | | | W×S×T |
| EC | | | W×S×T |

4. Conclusion

작업/휴식 일정에 따른 유의한 차이가 나타나지 않았다. 무게에 따른 차이는 EMG 신호 Anterior Deltoid와 Biceps Brachii에서만 나타났다. 주관적 불편도는 통계적으로 유의한 차이는 없었지만 증가하는 경향이 나타났다. 시간에 따라서는 주관적 불편도가 유의한 차이를 보였으며, Upper Trapezius에서 유의한 차이를 보였다.

본 연구는 상지반복 작업시 작업/휴식일정과 무게에 따른 작업부하를 연구하였다. 그러나 각 무게에 참여한 피실험자가 6명으로 적어 주관적 불편도와 EMG 신호에서 작업/휴식일정과 무게에 따라 통계적으로 유의한 차이가 나타나지는 않은 것으로 파악된다. 추후 피실험자를 추가하여 실험이 필요하고 본 연구는 남성 피실험자만을 고려하였으므로 여성 피실험자에 대해서도 유사한 실험이 수행되어야 할 것이다.

추후연구를 통해 작업/휴식 일정과 무게에 따른 교호작용이 통계적으로 나타나면 근골격계부담작업 유해

요인 조사에 적용되어 상지반복 작업의 작업부하를 작업/휴식 일정을 고려하여 평가하여 실제적이며 타당한 인간공학적 평가에 활용될 것으로 기대된다.

Highest degree: Ph.D., POSTECH

Position title: Professor, Department of Civil, Safety, Environment Engineering, Hankyong National University

Areas of interest: Workload Evaluation, Accessible Design, Agricultural Ergonomics

References

- Larsson, B. K. Sogaard, and L. Rosendal, 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.
- Nordander, C., K Ohlsson, I. Akesson, I. Arvidsson, I. Balogh, G A. Hansson, U. Stromberg, R. Rittner, and S. Skerfving, Risk of Musculoskeletal Disorders Among Females and Males in Repetitive/Constrained Work, *Ergonomics*, 52(10), 1226-1239, 2009.
- Van Rijn, R. M., B. M. Huisstede, B. W. Koes, and A. Burdorf, 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.
- Jin Qin, Jia-Hua Lin, Bryan Buchholz and Xu Xu, Shoulder muscle fatigue development in young and older female adults during a repetitive manual task, *Ergonomics*, 57(8), 1201-1212, 2014.
- Bureau of Labor Statistics, US Department of Labor, Incidence rates for nonfatal occupational injuries and illnesses involving days away from work per 10,000 full-time workers by event or exposure leading to injury or illness and selected sources of injury of illness, 2003
- R. Escorpizo and A. Moore, The effects of cycle time on the physical demands of a repetitive pick-and-place task, *Applied Ergonomics*, 38, 609-615, 2007.
- 김유창, 이준팔, 근전도를 이용한 VDT 작업시 짧은 휴식시간에 관한 연구, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 26(4), 41-47, 2007.
- 이인석, R. Haslam. And 송영웅, 지각불편도와 심박수를 이용한 상지 반복 작업 작업/휴식 일정의 작업부하 비교, *Journal of the Korean Society of Safety*, 23(5), 119-126, 2008.
- 안전보건공단, 2012년 산업재해원인조사, 2013

Author listings

Sung Pill Jo: feelfree89@naver.com

Highest degree: BS, Department of Safety Engineering, Hankyong National University

Position title: Researcher, Department of Civil, Safety, Environment Engineering, Hankyong National University

Areas of interest: EMG Motion analysis

Inseok lee: lis@hknu.ac.kr