

Workload and Timing of the Shoulder Muscles in the Horizontal Repetitive Work

Seung-Min Mo¹, Kyung-Sun Lee², Myung-Chul Jung³

¹Department of Industrial & Chemical Engineering, Suncheon Jeil College, Suncheon-si, 57997

²Department of Industrial Safety Management, Suncheon Jeil College, Suncheon-si, 57997

³Department of Industrial Engineering, Ajou University, Suwon-si, 16499

ABSTRACT

Objective: The purpose of this study is to analyze the workload and activated duration of shoulder muscles during repetitive one-handed work, based on surface electromyography. **Background:** Most workers have suffered from chronic shoulder pain. The shoulder joint has widely range of motion and complicated system. Hence, it required to quantitative study analyzed to the workload and activity timing of shoulder muscles according to the movement direction. **Method:** Five neuromuscular intact male subjects in their 20s were recruited. This study considered leftward, rightward, forward and backward directions in the horizontal plane. Also, the arm and shoulder muscles were considered such as biceps brachii, anterior deltoid, upper trapezius. The workload and timing of muscles analyzed to linear envelope detection. The onset and offset time of muscle activity was defined that exceeds from the mean value and twice standard deviation of the resting interval of the electromyography signal. **Results:** The mean muscle activity of leftward direction was analyzed significantly lower than other directions. It may consider that internal rotation of glenohumeral joint was greater strength than external rotation due to the mass of anterior musculature. Leftward and backward directions analyzed to low activated duration because concentric ballistic motion. **Conclusion:** This study shows that the shoulder motion efficiency of the latitudinal direction was lower than longitudinal direction. **Application:** This study can be applied to the ergonomic design of workstation to minimize shoulder workload of workers in the horizontal plane.

Keywords: Repetitive work, Manual material handling, Working direction, Shoulder, Electromyography

1. Introduction

인력운반작업 (MMH; Manual material handling)은 작업자 힘에 의한 중량물 들기, 밀기, 운반, 지지하는 등의 작업으로써 산업 현장에서 빈번하게 발생하고 있다. 최근 로봇, 머신비전, PLC (Programmable logic controller), FA (Factory automation) 등의 산업자동화 시스템이 보편화 되면서 무인 자동화를 구축하고 있지만 아직까지 작업자의 물리적인 근력을 이용한 단순 반복적인 인력운반작업은 잔존하고 있다. 반복 스트레스는 근조직 손상, 근골격계질환 등을 유발시키는 주원인이다. 이에 따라 기업은 인간공학적 작업 설계를 통한 작업 환경 개선과 안전보건 활동을 수행하고 있다 (Ciriello *et al.*, 1999).

생산 제조 공정의 작업자는 손과 팔의 힘을 이용한 단순 반복적인 인력운반작업을 수행하며 이는 어깨 부위에 스트레스를 누적시켜 근골격계질환, 경건완증후군, 회전근개증후군 등 만성적인 어깨 질환을 유발시키는 주요 원인이다. 해외 산업 현장에서는 어깨 통증으로 인한 보건 진료가 빈번하게 발생하고 어깨 부위 근골격계질환에 따른 연간 보건 손실비용이 약 70억 달러에 육박하고 있다 (Bongers, 2001; Dinnes *et al.*, 2003, Urwin *et al.*, 1998). 어깨의 근골격계시스템은 볼-소켓 형태로 불안정성의 특징이 있기 때문에 삼각근, 승모근, 회전근개 등 다양한 근육의 상호작용이 발생한다 (Wickham *et al.*, 2010). 따라서 어깨 부위 근골격계 질환은 만성적으로 발병하고 치료 및 수술을 해도 재발률이 높기 때문에 사회, 경제적 부담이 높은 질환으로 조기 예

방이 중요하다 (Croft *et al.*, 1996; Sommerich and Hughes, 2006; Falla *et al.*, 2003).

Michener *et al.* (2003)은 어깨 부위 통증, 근골격계 질환의 원인 중 약 55%는 견봉하충돌증후군 (Subacromial impingement syndrome)에 의해 발생한다고 보고하였다. 이는 어깨가 들려진 채 밀기, 뺀기, 당기기 등의 인력운반작업으로 어깨의 견봉과 상완골 대결절 부위가 충돌하고 조직이 손상되어 발생한다 (Chopp *et al.*, 2010; Michener *et al.*, 2003). 제조 및 생산 공정 등의 작업자들은 입식 작업대 위 수평면을 기준으로 정상작업영역에서 밀기, 당기기 동작이 빈번하게 발생하고 어깨 부위 피로가 누적되어 만성적인 어깨 통증을 호소한다. 어깨의 반복적인 동작은 방향별로 근활성 패턴에 차이가 있기 때문에 (Karst and Hasan, 1991) 근육 부하 및 활성 패턴의 생체역학적 데이터를 기반으로 인간공학적 작업 설계 및 개선이 중요하다.

본 연구의 목적은 입식 작업대 위 반복적으로 중량물을 이동시키는 인력운반작업을 고려하여 팔 및 어깨 부위 근활성 패턴을 정량적으로 분석하는 것이다. 이에 따라 표면 근전도를 활용하여 수평면을 기준으로 중량물 이동 방향과 어깨 부위 근육의 부하 및 활성 타이밍을 종합적으로 분석하였다.

2. Method

2.1 Subjects

본 연구는 20대 남성 5명이 실험에 참가하였으며 모두 오른손잡이였다. 팔 및 어깨 부위에 근골격계 질환 병력이 없는 피실험자를 섭외하였으며 본 실험에 참가하기 전 실험의 전반적인 프로토콜을 숙지시켜 친숙한 환경에서 실험을 진행하였다. 피실험자의 평균 연령, 신장, 체중, 팔꿈치 높이, 팔길이는 Table 1과 같다.

Table 1. Anthropometric characteristics of subjects

Age (year)	Height (cm)	Body weight (kg)	Elbow height (cm)	Arm length (cm)
26.80 (±1.06)	175.54 (±4.58)	74.68 (±7.06)	108.24 (±4.12)	61.90 (±2.20)

2.2 Equipment

반복적인 인력운반작업에 따른 팔 및 어깨 부위의 근활성도를 분석하기 위하여 Telemetry 2400 DTS telemetry (NORAXON, USA Inc, Scottsdale, Arizona) 표면 근전도 측정 장비를 사용하였다. 16 비트 아날로그 출력 리시버를 사용하여 근전도 신호를 디지털로 변환 후 1500 sampling rate 으로 저장하였다.

높이 조절이 가능한 입식작업대를 사용하여 중작업을 기준으로 피실험자 팔꿈치 높이의 -15cm로 설정 하였다 (Sanders and McCormick, 1993). 피실험자는 7kg의 중량물을 이용하여 인력운반작업을 수행하였으며 10cyc/m의 작업 빈도를 유지하기 위해 전자 메트로놈을 사용하였다.

2.3 Experimental design

본 연구의 독립변수는 팔 및 어깨의 근육과 방향 2가지로 설정하였다. 실험에서 측정된 근육은 상완이두근, 상완삼두근 장두, 전면삼각근, 후면삼각근, 상부승모근 총 5부위였으며 수평면을 기준으로 전, 후, 좌, 우 4방향을 고려하였다. Within-subject design 실험계획에 따라 피실험자 1인당 총 6회의 실험조건을 수행하였으며 각 실험조건 당 10회 반복 수행하였다. 이에 따른 종속변수는 각 방향에 따른 근활성도와 활성시간으로 설정하였다.

2.4 Protocol

본 실험에 임하기 전 피실험자의 팔 및 어깨 부위 근육에 표면 전극을 부착하였다. 전극 부착 절차는 SENIAM (Surface Electromyography for Non-Invasive Assessment of Muscle) 권고사항을 준수하였다 (Hermens *et al.*, 1999).

표면 전극 센서는 Ag/AgCl 양극성 전극으로 전극의 지름은 10mm, 전극 중심 간 거리는 20mm로 설정하였다. 근전도 장비 셋업은 다음과 같다. CMRR (Common Mode Rejection Ratio) > 100dB, Noise < 1μV, Gain 1000, input impedance >10 Ω, first order high-pass filter 10 Hz±10%.

피실험자는 실험조건별 방향에 따라 시점의 중량물을 들고 종점까지 이동하여 내려놓는 인력운반작업을 10회 반복하였다 (Figure 1). 피로를 최소화하기 위하여 실험조건이 변경될 때마다 충분한 휴식시간을 제공하였다.

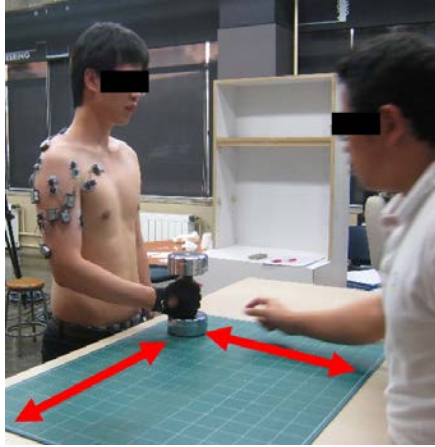


Figure 1. Repetitive manual material handling in the horizontal plane

2.5 Signal processing and statistics

10회 반복에 따른 근전도 신호는 중간 4~7번째 신호를 추출하여 4th order Butterworth bandpass filter (10-500Hz)로 필터링 하였다. 모든 신호를 full wave rectified 한 후, Lowpass filter (cutoff 5Hz)를 적용하여 Envelope detection 기법으로 평균 근활성도 및 활성시간을 분석하였다 (Hermens *et al.*, 1999). 근육 발화시간 및 종료시간은 피실험자별로 초기 편안한 근전도 신호의 표준편차 2배를 기준으로 정의하였다.

근전도 신호처리 및 데이터 분석은 MATLAB 7.0.4 (Mathworks, USA)를 활용하였으며 SAS 9.1 (SAS, Institute Inc.)을 사용하여 분산분석을 통한 주효과 및 교호작용의 유의성을 분석하였다 ($\alpha=0.05$).

3. Results

3.1 Muscle activity

근활성도에 따른 분산분석 결과 방향 ($F_{3,12}=15.07$ $p=0.0002$), 근육 ($F_{4,16}=13.92$ $p<.0001$)에 따른 주효과는 통계적으로 유의하게 나타났으며 교호작용도 유의한 차이로 분석되었다 ($F_{12,48}=12.69$ $p<.0001$). 전후측 방향의 근활성도는 좌우측 방향과 비교하여 상대적으로 높게 분석되었다. 또한 상완이두근의 근활성도가 가장 높게 분석되었으며 삼두근장두의 활성도는 낮게 분석되었다 (Figure 2 to 3).

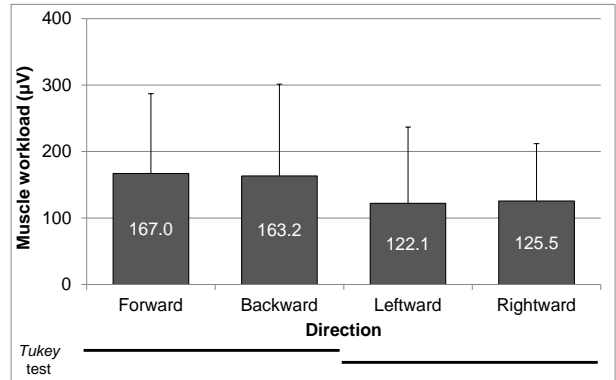


Figure 2. Result of muscle workload according to the direction independent variable

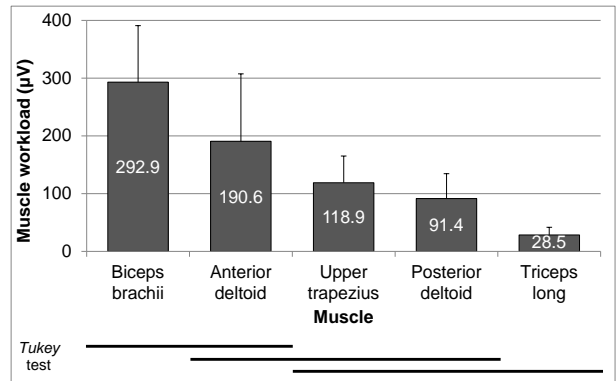


Figure 3. Result of muscle workload according to the muscle independent variable

3.2 Activated duration

근활성시간에 따른 분산분석 결과 방향 ($F_{3,12}=25.42$ $p<.0001$), 근육 ($F_{4,16}=9.66$ $p=0.0004$)에 따른 주효과는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며 교호작용도 유의하게 분석되었다 ($F_{12,48}=2.29$ $p=0.0211$). 몸의 앞쪽으로 중량물을 당기는 좌후측 방향의 근활성시간이 상대적으로 짧게 분석되었다. 근활성도와 비례하여 상완이두근과 전면삼각근의 근활성시간은 높게 분석되었다 (Figure 4 to 5).

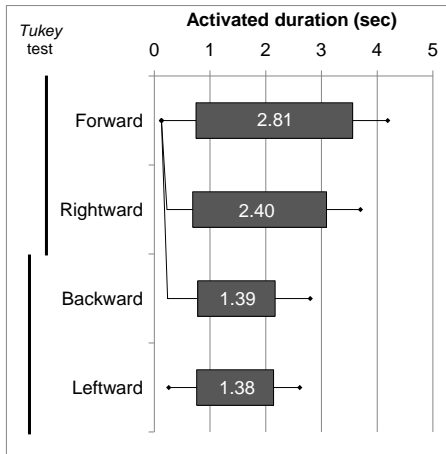


Figure 4. Result of activated duration according to the direction independent variable

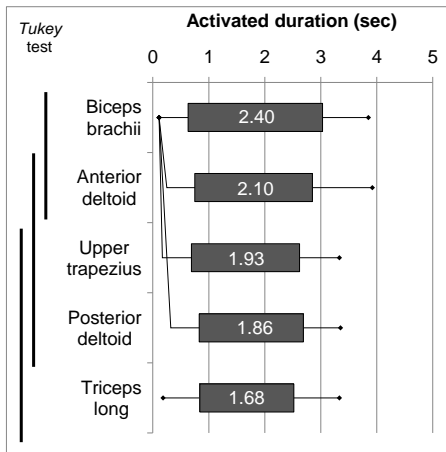


Figure 5. Result of activated duration according to the muscle independent variable

4. Discussions

본 연구 결과 좌우측 방향이 전후측 방향보다 상대적으로 낮은 근활성도가 분석되어 적은 근력으로 중량물 이동이 가능한 것으로 분석되었다. 본 실험에서 좌우측 방향은 주로 어깨 관절의 내·외측 회전이 발생하여 회전근개가 활성화되어 낮은 근활성도가 분석된 것으로 판단된다. Kothiyal *et al.* (2001), Strasser and Müller (1999)는 수평면을 기준으로 90°~150°외전 각도의 중량물 이동은 어깨부위 근육에 부하가 높게 분석되어 작업 설계에 부적절한 방향으로 보고하였다. 이러한 결과를 기반으로 좌우방향으로의 중량물 이동은 어깨 부위 근육에 부하가 낮기 때문에 인간공

학적 작업장 레이아웃 설계 시 고려되어야 할 것이다. 회전근개 근육은 심부근육으로써 본 연구에서는 고려하지 못했지만 향후 침전극과 표면전극을 함께 활용하여 어깨 부위 근육의 다각적인 근활성도 분석 연구가 필요할 것이다.

근활성시간이 낮게 분석된 좌우측 방향은 중량물을 몸 중심으로 가져오는 동작으로써 질량이 높은 앞쪽 어깨 부위의 근육이 활성화되고 구심성 탄도 동작에 따라 순간적으로 높은 토크를 발생한 것으로 판단된다 (Bosco *et al.*, 1983; Julienne *et al.*, 2007).

반면 우측방향의 외측회전 동작은 상완외관절 및 견갑대 부위 근육, 인대 등에 통증을 유발할 수 있기 때문에 가급적 지양할 것을 권고한다 (Crétual *et al.*, 2015; Ropars *et al.*, 2010).

본 연구는 동적 근전도 신호를 분석하여 %MVC, %RVC 등 정규화된 값이 아닌 절대적인 신호값(μV)으로 근활성도를 분석하여 다소 편차가 높게 파악되었다. 향후 최대동적근수축을 기준으로 동적 근전도 신호의 작업부하를 신뢰도 높게 분석할 수 있는 정규화 연구가 선행되어야 할 것이다.

5. Conclusion

본 연구는 수평면 작업대 위 반복적인 인력운반작업에 따른 팔 및 어깨 부위 근활성도를 효과적으로 분석하였다. 본 연구 결과를 기반으로 다양한 방향 및 근육을 확장하여 근육 스트레스를 최소화 할 수 있는 인간공학적 작업 설계에 응용할 수 있으며, 향후 팔 및 어깨 근육의 정량적 부하 및 근활성 패턴 데이터베이스를 구축하여 근력 보조기기 설계 및 재활의공학 분야에서 유용하게 활용할 수 있기를 기대한다.

References

- Bongers, P.M., The cost of shoulder pain at work. *British Medical Journal*, 322(7278), 64-65, 2001.
- Bosco, C., Mogroni, P. and Luhtanen, P., Relationship between isokinetic performance and ballistic movement. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 51(3), 357-364, 1983.
- Chopp, J.N., O'Neill, J.M., Hurley, K. and Dickerson, C.R., Superior humeral head migration occurs after a protocol designed to fatigue

- the rotator cuff: A radiographic analysis. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 19(8), 1137-1144, 2010.
- Ciriello, V.M., McGorry, R.W., Martin, S.E. and Bezverkhny, I.B., Maximum acceptable forces of dynamic pushing: comparison of two techniques. *Ergonomics*, 42(1), 32-39, 1999.
- Crétual, A., Bonan, I. and Ropars, M., Development of a novel index of shoulder's mobility based on the configuration space volume and its link to mono-axial amplitudes. *Manual Therapy*, 20(3), 433-439, 2015.
- Croft, P., Pope, D. and Silman, A., The clinical course of shoulder pain: Prospective cohort study in primary care. *British Medical Journal*, 313(7057), 601-602, 1996.
- Dinnes, J., Loveman, E., McIntyre, K. and Waugh, N., The effectiveness of diagnostic tests for the assessment of shoulder pain due to soft tissue disorders: a systematic review. *Health Technology Assessment*, 7(29), Page iii, 1-166, 2003.
- Falla, D.L., Hess, S. and Richardson, C., Evaluation of shoulder internal rotator muscle strength in baseball players with physical signs of glenohumeral joint instability, *British Journal of Sports Medicine*, 37(5), 430-432, 2003.
- Hermens, H.J., Freriks, B., Merletti, R., Stegeman, D., Blok, J., Rau, G., Disselhorst-Klug, C. and Hägg, G., *SENIAM: European recommendations for surface electromyography*. Enschede, The Netherlands: Rensingh Research and Development, 1999.
- Julienne, R., Gauthier, A., Moussay, S. and Davenne, D., Isokinetic and electromyographic study of internal and external rotator muscles of tennis player. *Isokinetics and Exercise Science*, 15(3), 173-182, 2007.
- Karst, G.M. and Hasan, Z., Initiation rules for planar, two-joint arm movements: Agonist selection for movements throughout the work space, *Journal of Neurophysiology*, 66(5), 1579-1593, 1991.
- Kothiyal, K. and Kayis, B., Workplace layout for seated manual handling tasks: An electromyography study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27(1), 19-32, 2001.
- Michener, L.A., McClure, P.W. and Karduna, A.R., Anatomical and biomechanical mechanisms of subacromial impingement syndrome, *Clinical Biomechanics*, 18(5), 369-379, 2003.
- Ropars, M., Fournier, A., Campillo, B., Bonan, I., Delamarche, P., Crétual, A. and Thomazeau, H., Clinical assessment of external rotation for the diagnosis of anterior shoulder hyperlaxity. *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research*, 96(8), S84-S87, 2010.
- Sanders, M.S. and McCormick, E.J., *Human factors in engineering and design*, 7th ed., McGraw-Hill, 1993.
- Sommerich, C.M. and Hughes, R.E., 2006. Aetiology of work-related disorders of the rotator cuff tendons: Research and theory. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 7(1), 19-38, 2006.
- Strasser, H. and Müller, K.W., Favorable movements of the hand-arm system in the horizontal plane assessed by electromyographic investigations and subjective rating. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23(4), 339-347, 1999.
- Urwin, M., Symmons, D., Allison, T., Brammah, T., Busby, H., Roxby, M., Simmons, A. and Williams, G., Estimating the burden of musculoskeletal disorders in the community: the comparative prevalence of symptoms at different anatomical sites, and the relation to social deprivation. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 57(11), 649-655, 1998.
- Wickham, J., Pizzari, T., Stansfeld, K., Burnside, A. and Watson, L., Quantifying 'normal' shoulder muscle activity during abduction. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(2), 212-222, 2010.