

Title

Dynamic electromyography analysis of shoulder muscles for one-handed manual material handling

ABSTRACT

Objective: 본 연구의 목적은 표면근전도를 기반으로 다양한 한손 인력운반작업 시 방향에 따른 팔 및 어깨 근육의 활성도를 정량적으로 분석하는 것이다.

Background: 산업현장의 작업자들은 팔 및 어깨 근육을 사용하여 한손 인력운반작업을 빈번하게 수행한다. 이에 따라 팔 및 어깨 근육에 만성적인 부하 및 피로누적이 발생하며, 직업관련성 상지부위 근골격계 질환을 유발시키는 주원인이다. 어깨의 근골격계시스템은 동작범위가 넓으며 회선근개를 포함하여 다양한 근육들 간 복합적인 상호작용이 발생한다. 이에 따라 다양한 동적 움직임에 따른 어깨 부위 근육간 상호작용에 대한 연구가 필요하다.

Method: 본 연구는 20대 남성 10명이 실험에 참가하였다. 독립변수로서 상측, 하측, 좌측, 우측, 전측, 후측 6방향과 팔 및 어깨 부위 14 근육(상완이두근, 삼각근, 승모근 등)을 고려하였으며, 이에 따른 종속변수는 근육의 평균 근활성도로 설정하였다. 10회의 반복 근수축에 따른 4~7번째 주기 신호를 추출하였으며, 해당 신호를 Envelope detection 기법으로 평균 근활성도를 분석하였다.

Results: 전반적으로 상측방향의 평균 근활성도가 통계적으로 유의한 수준으로 높게 분석되었다. 이는 팔과 어깨 부위 근육에 중력의 영향이 크게 작용하기 때문이다. 또한 어깨 관절의 굴곡 운동이 주로 발생하여 coracoacromial ligament 의 변형이 발생하고 접촉 압력이 증대되어 부하가 높게 분석된 것으로 사료된다. 하측, 좌측, 후측방향은 중량물을 몸의 앞쪽으로 가져오는 동작으로 편심성 근수축동안 탄성 에너지를 저장하여 동심성 수축 시 사용하는 구심성 탄도 동작(concentric ballistic motion) 에 따라 근활성도가 낮게 분석되었다. 본 연구에서 수행한 6 방향의 한손 인력운반작업은 팔꿈치 관절의 굴곡·신전 동작이 주로 발생하기 때문에 주동근인 상완이두근의 근활성도가 높게 분석된 것으로 판단된다.

Application: 본 연구는 동적 근수축에 따른 근활성도를 근활성도를 Envelope detection 기법을 적용하여 효과적으로 파악하였다. 본 연구 결과를 활용하여 각 방향에 따른 한손 인력운반작업동안 근육 부하를 최소화할 수 있도록 인간공학적 작업 설계에 활용할 수 있을 것이다. 또한 다양한 어깨 근육의 부하 정보를 기반으로 재활의학 분야에서 근골격계질환 예방 및 물리치료 등에 활용할 수 있기를 기대한다.

Keywords

One-handed manual material handling, Shoulder, Electromyography, Linear envelope, Dynamic contraction

1. Introduction

인력운반작업은 제조업, 운수업, 원자재 운반 등의 산업 분야에서 광범위하게 발생되고 있다. 수년간 기계화, 자동화가 고도화되면서 인력운반작업 빈도가 감소되고 있지만 단순 반복 작업, 미세 조작, 협소한 공간 작업 등은 불가피하게 필요하며 향후 계속 잔존할 것으로 예상된다. 작업 현장에서는 양손을 사용한 대칭적인 들기 작업을 권고하지만 실제 생산라인 및 제조업 작업자들은 비대칭적 한손 팔과 어깨를 사용하는 동작을 빈번하게 수행한다. 이에 따라 직업관련성 안전, 인간공학적 개선 등이 주요 이슈로 대두되고 있다 (Ciriello et al., 1999). 비대칭적 한손 동작이 장시간 고반복 형태로 발생함에 따라 어깨 부위 근육을 빈번하게 사용한다. 이는 어깨 부위에 만성적인 부하 및 피로 누적으로 직업관련성 상지 근골격계 질환을 유발시키는 주원인이다. Urwin et al. (1998) 은 타관절 부위와 비교하여 어깨 부위 근골격계 통증 발병률이 약 16% 정도 높은 것으로 보고하였다. 또한 산업 현장에서 인력운반작업을 수행하는 대부분의 작업자는 어깨부위에 만성적인 통증을 호소한다고 보고되었다 (Brox, 2003; Sommerich and Hughes, 2006; Westgaard and Aarås, 1984). 어깨 부위 질환은 만성적으로 진행되는 경우가 대부분이며 (Macfarlane et al., 1998), 통증으로 인한 치료기간이 길어 사회·경제적 부담이 높은 질환으로 조기 예방이 중요하다 (Falla et al., 2003).

어깨 근육은 동작범위가 넓으며 다양한 근육과 인대로 형성되어 복잡한 근골격 시스템으로 구성되어 있다. 임상학적으로 어깨의 견갑골과 상완골 사이에는 '견갑상완리듬' 이라는 운동학적 연관성이 있다 (McQuade, 1998). 어깨 관절은 관절와상완인대 부위에서 관절낭관절순 복합체가 형성되어 있으며 구-소켓 형태로 다방향 불안정성 특징이 있다 (Mallon and Speer, 1995; Wickham et al., 2010). 또한 삼각근 주변에는 극상근, 견갑하근 등 회전근개 근육이 연결되어 있어 불안정성을 보완한다. 이러한 어깨의 근골격시스템 특성으로 복합적인 근수축에 따른 만성적인 통증이 유발되며 다양한 동작에 따른 근전도 등 정량적 부하 측정 연구가 필요하다.

인력운반작업을 고려한 어깨부위 근활성도 연구는 다양하게 진행되고 있다. Oliveira et al. (2011) 연구에서는 반복적인 들기/내리기 동작에 따라 근활성도 (RMS; Root Mean Square) 의 변화를 선형 회귀 분석하였다. 그 결과 동작이 지속될수록 근활성도가 선형적으로 증가하는 것으로 분석되었다. 한손 동작을 고려한 Koleini Mamaghani et al. (2009)의 연구에서도 작업 조건에 따라 근활성도 (iEMG) 의 유의한 차이가 발생한 것으로 분석되었다. Diederichsen et al. (2007)은 어깨 관절의 외전과 회전운동에 따른 각 근육의 활성도를 분석하여 주로 사용하는 어깨 동작은 근조직계의 탄도동작으로 더 적은 에너지를 소비하는 것으로 분석 되었다.

동적 근수축동안 근길이, 두께 변화, 피부 움직임에 따라 오차가 발생할 수 있다 (Kothiyal and Kayis 2001; Omi et al., 2010). 따라서 인력운반작업에 따른 어깨 부위 근육의 활성도를 분석한 선행 연구는 정적인 동작에 따른 일부 어깨 근육의 근전도 신호를 측정하였다. Brookham et al. (2010), Wickham et al. (2010)의 연구는 상지부위 다양한 근육의 활성도를 분석하였지만 동적 근수축동안 넓은 동작범위를 갖는 어깨의 다양한 근육의 활성도를 측정하는 연구는 제한적이었다. 앞서 보고한 바와 같이 어깨의 근골격 시스템은 다양한 주·보조 근육에 의한 상호작용이 발생하므로 어깨 부위 근육의 근활성도 및 각 근육간 상호 작용에 대한 연구가 필요하다 (Minning et al., 2007).

본 연구의 최종 목적은 동적 한손 인력운반작업 시 다양한 팔 근육의 활성도를 정량적으로 분석하는 것이다. 본 연구는 산업 현장에서 빈번하게 발생하는 3 축 방향의 한손 동작으로 고려할 것이다. 표면 근전도를 이용하여 검출이 가능한 어깨 및 견갑대 부위의 다양한 근육을 선정하여 동적 근수축에 적절한 신호처리 기법을 적용하여 근활성도를 효과적으로 파악할 것이다. 또한 다양한 방향을 고려하여 근육 간 상호 연관성을 검토하여 근육 선정 기준 및 인간공학적 작업 동작을 권고할 수 있을 것이다.

2. Method

2.1 Subjects

본 연구는 20 대 남성 10 명이 실험에 참가하였다. 피실험자는 모두 오른손잡이였으며 실험 참가에 대한 동의를 얻었다. 모든 피실험자들은 어깨 부위 근골격계 질환 및 심혈관계 질환 병력은 없었다. 또한 실험 전 실험에 대한 전반적인 프로토콜을 숙지시켜 최대한 친숙한 환경에서 실험을 수행하였다. 피실험자의 신체특성은 Table 1 과 같다.

Table 1. Anthropometric characteristic of subjects.

| Age (year) | Height (cm) | Body weight (kg) | Elbow height (cm) | Arm length (cm) |
|------------|-------------|------------------|-------------------|-----------------|
| 27.30 | 175.50 | 74.81 | 108.05 | 61.14 |
| (±1.06) | (±4.49) | (±6.57) | (±3.62) | (±2.25) |

2.2 Equipment

반복적인 동적 근수축의 근전도 신호는 Telemetry 2400T DTS telemetry equipment (NORAXON, USA Inc, Scottsdale, Arizona) 로 측정하였다. 높이 조절이 가능한 입식작업대를 사용하여 피실험자의 팔꿈치 높이에 따라 조절하였다. 작업대 높이는 Sanders and McCormick (1993) 문헌에서 제안한 중작업 시 높이로 굽힌 팔꿈치 높이의 15 cm 밑으로 설정하였다. 실험에서 사용한 중량물은 7 kg 의 덤벨이었으며 피실험자에게 일정한 작업 빈도를 제시하기 위해 청각적 신호로 전자 메트로놈을 사용하였다.

2.3 Experimental design

본 실험은 다양한 어깨 근육의 근활성도를 명확히 측정하기 위해 중량, 빈도, 거리의 수준을 극단치로 설정하였다. 중량은 7kg, 빈도는 10 cyc/m, 거리는 60 cm 로 설정하였다. Mital et al. (1993) 의 한손 인력운반작업의 가이드라인에서 제시하는 남성의 입식 자세 수직 한손 들기의 최대 한계치는 9 kg 로 권장되어 있다. 이는 간헐적인 빈도의 경우 한계치로써 본 연구는 빈도를 고려하여 7 kg 으로 설정하였다.

본 연구의 독립변수는 6 방향과 14 부위 근육으로 설정하였다. 방향은 Figure 1 과 같이 X, Y, Z 3 축을 고려하여 상측, 하측, 좌측, 우측, 전측, 후측 6 가지 방향을 고려하였다. 팔 및 어깨 부위 14 근육은 Figure 2 와 같다. one-way factorial design 으로 피실험자 1 인당 총 6 회의 실험 조건에 참여하였다. 모든 실험 조건은 랜덤화하였으며 동일한 실험 조건을 10 회 반복 수행하였다. 이에 따른 종속변수는 각 방향에 따른 근육의 평균 근활성도 (μV) 로 설정하였다.

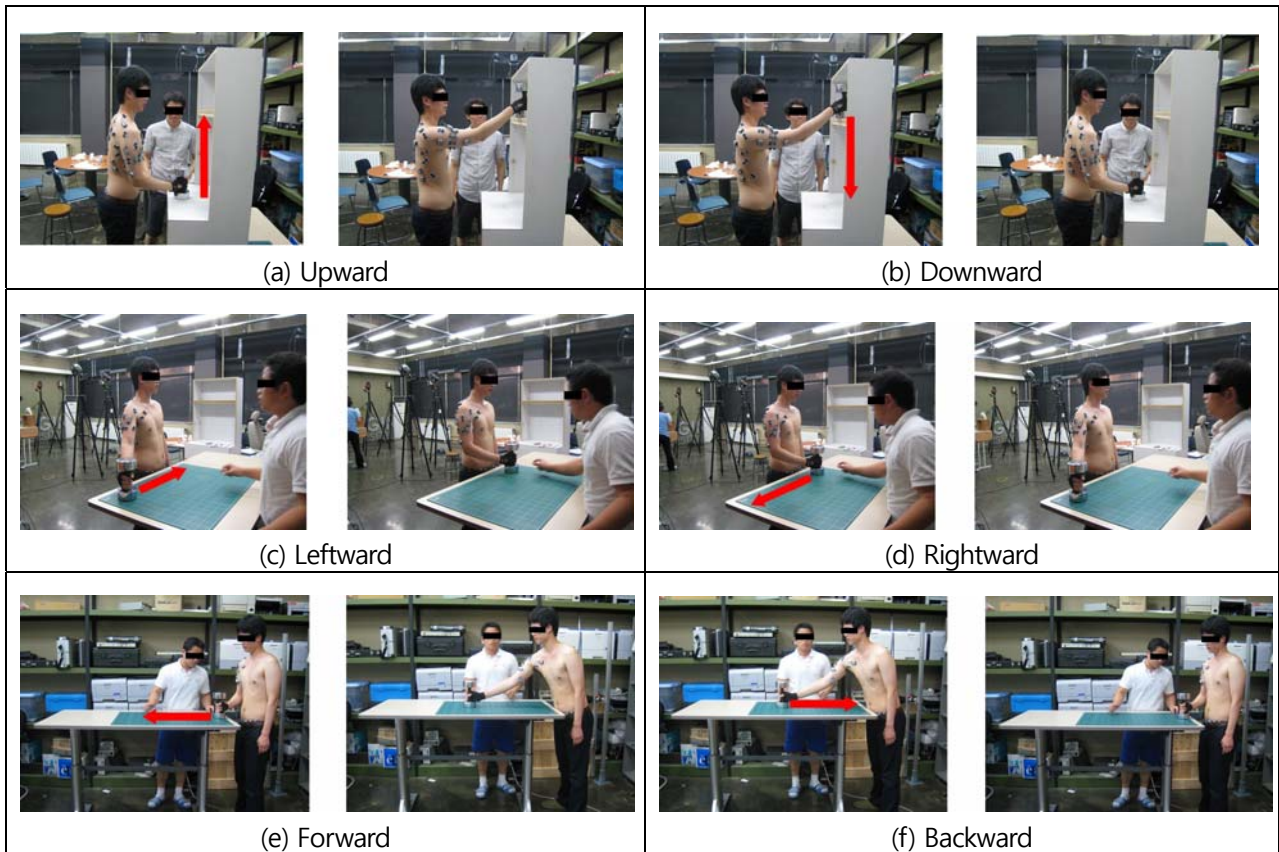


Figure 1. The six directions of one-handed handling: (a) upward, (b) downward, (c) leftward, (d) rightward, (e) forward, (f) backward

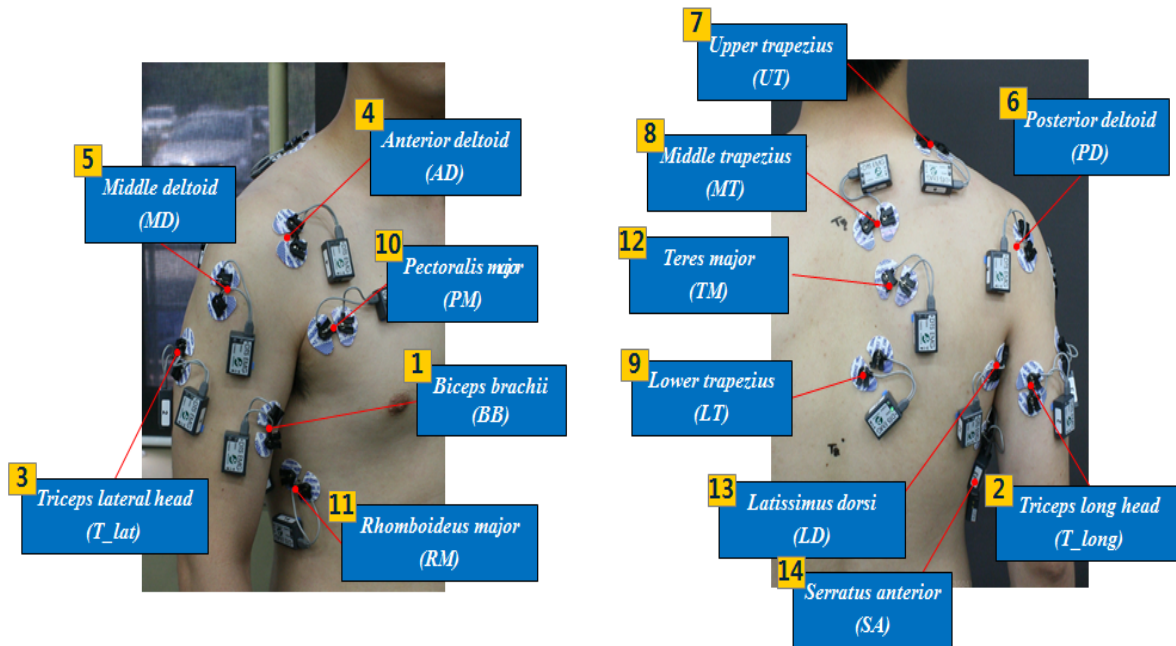


Figure 2. Location of the surface electrode

2.4 Protocol

본 연구는 다양한 어깨 동작과 관련된 다양한 근육을 고려하여 동적 근전도 신호를 측정하였다. Hislop and Montgonery (2007) 문헌을 참조하여 팔, 어깨, 견갑골 관련 근육을 선정하였다. 근전도 부착 위치는 SENIAM (Surface Electromyography for Non-Invasive Assessment of Muscle) (Hermens et al., 1999) 권고사항을 준수하였으며 견갑거근, 대능형근, 대원근, 전거근, 광배근, 대흉근 부위는 Perotto et al. (2005) 문헌을 참고하였다. 선정된 근육 및 근전도 전극 부착 위치는 Table 2 와 같다.

Table 2. Location of the surface electrode

| Muscle (abbreviation) | Location | |
|-----------------------|--|--|
| Biceps brachii (B) | Placed on the line between the medial acromion and the fossa cubit at 1/3 from the fossa cubit | |
| Triceps | long head (T_long) | Placed at 50 % on the line between the posterior crista of the acromion and the olecranon at two finger widths medial to the line |
| | lateral head (T_lat) | Placed at 50 % on the line between the posterior crista of the acromion and the olecranon at two finger widths lateral to the line |
| Deltoid | anterior (AD) | Placed at one finger width distal and anterior to the acromion |
| | middle (MD) | Placed from the acromion to the lateral epicondyle of the elbow |
| | posterior (PD) | Center the electrodes in the area about two finger widths posterior of the acromion |

| | | |
|------------------------|-------------|---|
| Trapezius | upper (UT) | Placed at 50 % on the line from the acromion to the spine on vertebra C7 |
| | middle (MT) | Placed at 50 % between the medial border of the scapular and the spine, at the level of T3 |
| | lower (LT) | Placed at 2/3 on the line from the trionum spinea to the eighth thoracic vertebra |
| Pectoralis major (PM) | | Midway between the coracoids process and the sternoclavicular joint 2 cm inferior to the clavicle |
| Rhomboides major (RM) | | Centered between spine and inferior angle of scapular border |
| Teres major (TM) | | Three fingerbreadths above inferior angle of scapular along the lateral border |
| Latissimus dorsi (LD) | | Placed at three fingerbreadths distal to and along posterior axillary fold |
| Serratus anterior (SA) | | Placed at lateral to inferior angle of scapular |

실험에서 사용한 표면 전극 센서는 Ag/AgCl 양극성 전극으로 구성되어 있으며, 각 전극의 지름은 10mm, 전극 중심 사이의 거리는 SENIAM 에서 제안하는 20 mm 로 설정하였다. 16 bit 의 ADC 를 사용하였으며, CMRR (Common Mode Rejection Ratio) > 100 dB, Noise < 1 μ V, Gain*1000, input impedance >10 Ω , first order high-pass filter 10 Hz+/-10% cutoff, Sampling rate 1500Hz 로 설정하였다.

표면 전극을 피부에 부착하는 절차 및 방법은 기본적으로 SENIAM 권고사항을 준수하였다 (Hermens et al., 1999). 전기적 저항을 최소화하기 위하여 면도기를 사용하여 피부 표면의 잔털을 제거하고 알코올과 거즈를 이용하여 깨끗이 닦았다. 전극을 정확한 위치에 부착하기 위하여 피부 표면에 수성펜을 사용하여 미리 부착 위치를 표시하였다.

피실험자가 수행한 동작의 주기는 다음과 같이 정의 하였다; (1) 시점 중량물 들기 (2) 중량물 이동 (3) 종점으로 중량물 내려놓기. 피실험자가 옮긴 중량물은 보조 연구원에 의해 시점으로 재정렬 시켰다. 실험조건이 변경될 때마다 약 10 분 가량의 휴식시간을 제공하였다.

2.5 Signal processing and statistics

동적 근수축에 따른 각 근육의 활성도를 효과적으로 분석하기 위하여 'Envelope detection' 기법을 적용하였다 (Hermens et al., 1999). 모든 근전도 신호는 MyoResearch XP (ver. 1.07.25) 프로그램에서 제공하는 ECG reduction 기능을 사용하여 심박동 신호를 제거하였다. 초기/말단의 각 3 회 반복 주기를 제외하고 4~7 번째 반복 주기 신호를 추출하였다. 추출된 신호는 피부 운동 아티팩트를 최소화하기 위하여 4th order Butterworth bandpass filter (10-500Hz) 로서 필터링 하였다. 각 작업 주기의 신호를 full wave rectified 한 후, Lowpass filter (cutoff 5Hz)를 적용하여 근활성도 데이터를 산출하였다

(Hermens et al., 1999; Winter, 2005). 산출된 데이터에 대하여 높은 신호 대 잡음비를 위하여 500ms moving average window 를 적용하여 평균값을 도출하였다.

모든 근전도 데이터 처리에는 MATLAB 7.0.4 (Mathworks, US)을 사용하였으며, 통계분석은 SAS 9.1 (SAS, institute Inc.) 을 사용하였다. 각 인자들에 대한 기술적 통계치인 평균과 표준편차의 범위를 구하고 분산분석을 실시하여 주효과 및 교호작용을 분석하였다. 또한 유의하게 분석된 인자에 대하여 *Tukey test* 를 통한 수준간 유의성을 분석하였다.

3. Results

근활성도에 따른 분산분석 결과 방향 ($F_{5, 45} = 25.55 p < .0001$), 근육 ($F_{13, 117} = 28.68 p < .0001$)에 따른 주효과는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 교호작용도 유의한 차이로 분석되었다 ($F_{65, 584} = 9.77 p < .0001$). 6 방향 중 상측 방향의 평균 근활성도 (141.5 ± 107)가 가장 높았으며 후측 (116.6 ± 101.5), 전측 (115.2 ± 84.7), 하측 (91.6 ± 68.6), 우측 (90.0 ± 65.5), 좌측 (82.3 ± 86.2) 으로 분석되었다. *Tukey test* 결과 상측 방향은 A, 전측, 후측 방향은 B, 하측, 좌측, 우측 방향은 C로 유의한 차이가 분석되었다. 14 근육 중 상완이두근 (347.1 ± 100.3), 전면삼각근 (258.2 ± 79.7), 하부승모근 (230.9 ± 97.1), 상부승모근 (191.9 ± 151.0) 근육들의 평균 근활성도가 높게 분석되었다. (Figure 3).

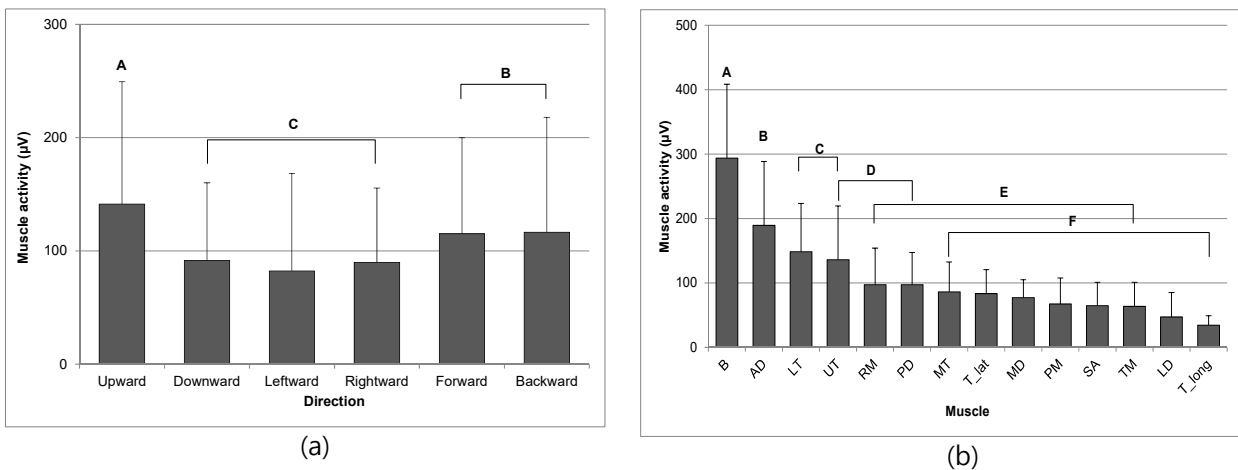


Figure 3. Muscle activity according to the (a) direction and (b) muscle independent variables

* alphabetical order represents *Tukey test*

3.1 Upward

Figure 4는 상측 방향에 따른 평균 근활성도 분석 결과이다. 종합적인 근활성도가 가장 높게 분석된 상측 방향은 *Tukey test* 결과 A, B 그룹에 해당하는 상완이두근, 전면삼각근, 하부승모근, 상부승모근의 평균 근활성도가 높게 분석되었다.

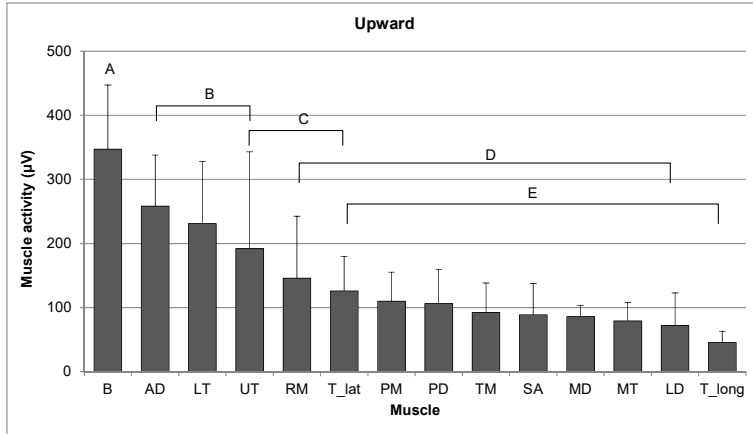


Figure 4. Result of the muscle activity by upward direction

* alphabetical order represents *Tukey test*

3.2 Downward

하측 방향은 전반적인 근활성도가 낮게 분석되었으며, *Tukey test* 결과 A, B 그룹에 해당하는 상완이두근, 전면삼각근, 하부승모근, 상부승모근, 대능형근, 대흉근의 평균 근활성도가 높게 분석되었다. 또한 하측방향의 한손 작업 시 전면삼각근보다 상완이두근을 많이 사용하여 더 높은 근활성도가 파악되었다 (Figure 5).

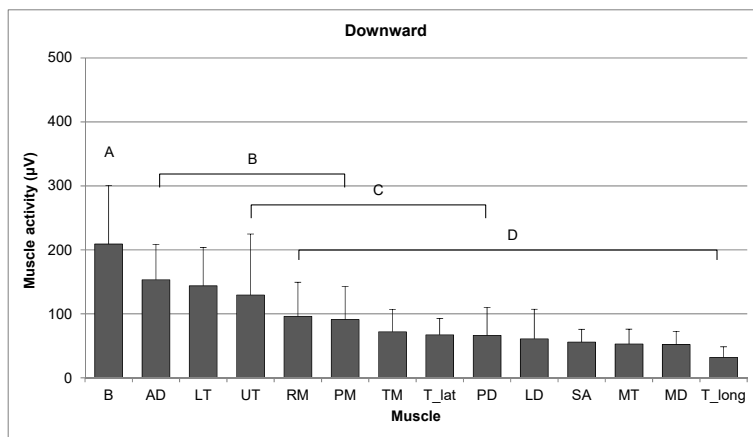


Figure 5. Result of the muscle activity by downward direction

* alphabetical order represents *Tukey test*

3.3 Leftward

종합적인 근활성도가 가장 낮게 분석된 좌측 방향은 *Tukey test* 결과 A, B 그룹에 해당하는 상완이두근, 상부승모근, 전면삼각근, 후면삼각근, 중부승모근, 하부승모근, 삼두근장두의 평균 근활성도가 높게 분석되었다. 특히 상완이두근은 타부위 평균 근활성도 대비 약 5 배 높게 분석되어 좌측방향의 한손 작업 시 주요 근육으로 높은 부하가 분석되었다 (Figure 6).

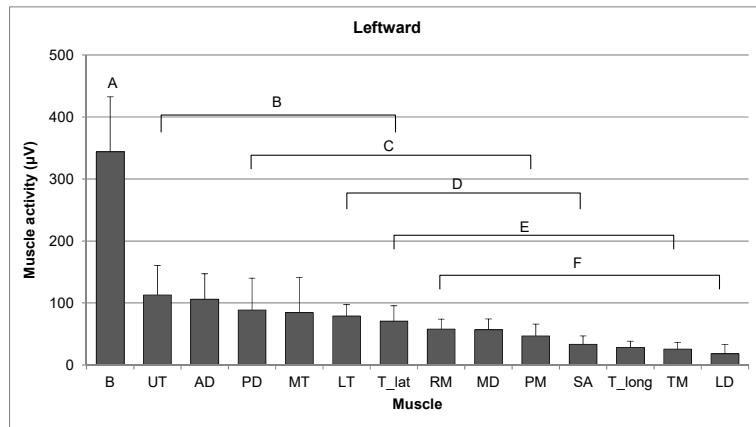


Figure 6. Result of the muscle activity by leftward direction

* alphabetical order represents *Tukey test*

3.4 Rightward

종합 근활성도가 낮게 분석된 우측 방향은 *Tukey test* 결과 A, B 그룹에 해당하는 상완이두근, 전면삼각근, 하부승모근, 후면삼각근, 상부승모근, 중부승모근의 평균 근활성도가 높게 분석되었다. 우측방향의 한손 작업 시 상완이두근과 전면삼각근의 근활성도는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 분석되어 비슷한 부하로 분석되었다 (Figure 7).

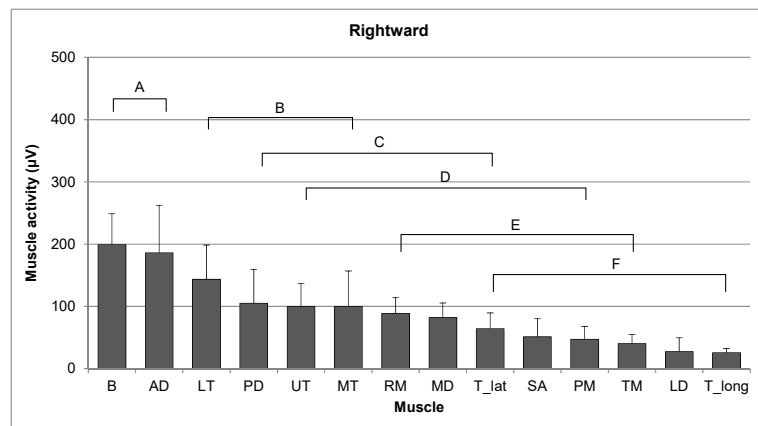


Figure 7. Result of the muscle activity by rightward direction

* alphabetical order represents *Tukey test*

3.5 Forward

종합적인 근활성도가 3 번째로 높게 분석된 전측방향은 *Tukey test* 결과 A, B 그룹에 해당하는 전면삼각근, 상완이두근, 하부승모근, 상부승모근, 후면삼각근, 중면삼각근, 대능형근, 전거근, 중부승모근, 삼각근측두, 대원근의 평균 근활성도가 높게 분석되었다. 전면삼각근과 상완이두근의 근활성도는 타부위 근육과 비교하여 약 2 배 높은 활성도가 나타나 주요 근육으로 분석되었다 (Figure 8).

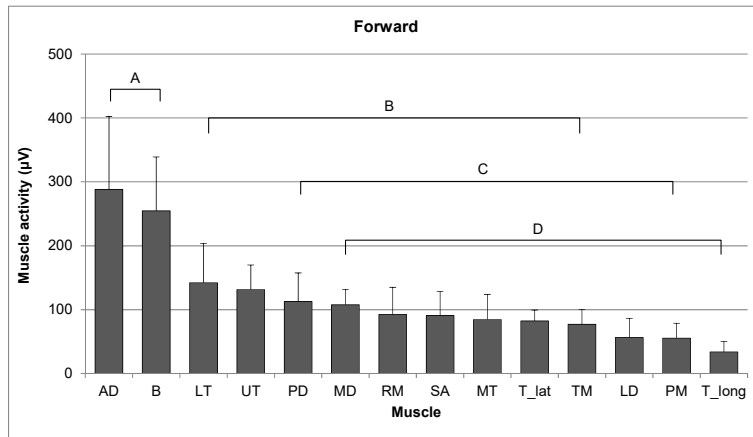


Figure 8. Result of the muscle activity by forward direction
* alphabetical order represents *Tukey test*

3.6 Backward

후측 방향은 *Tukey test* 결과 A, B 그룹에 해당하는 상완이두근, 상부승모근, 하부승모근, 전면삼각근, 중부승모근, 후면삼각근, 능형근, 삼각근장두의 평균 근활성도가 높게 분석되었다. 특히 상완이두근은 타부위 평균 근활성도 대비 약 4 배 높게 분석되어 부하가 높게 나타났다 (Figure 9).

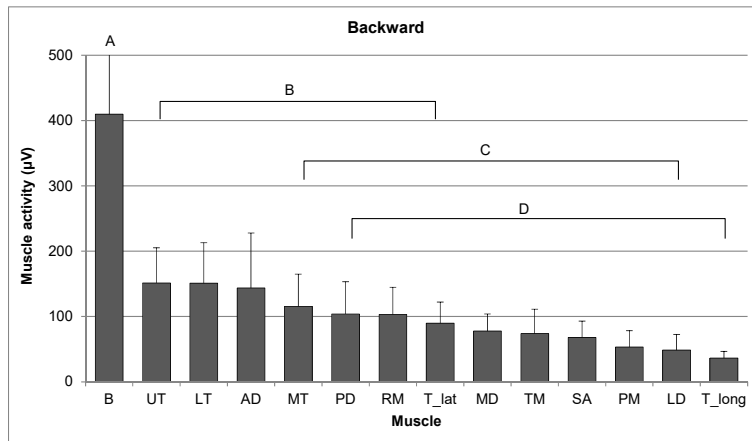


Figure 9. Result of the muscle activity by backward direction
* alphabetical order represents *Tukey test*

4. Discussions

본 연구 결과 상측 방향의 평균적인 근활성도가 가장 높게 분석되었다. 상측 방향의 들기 동작은 상대적으로 수직 이동 시간이 길며 어깨 위 들기 동작이다. 이는 팔과 어깨 부위 관절에 중력의 영향이 크게 작용하기 때문에 높은 근활성도가 나타난 것으로 판단된다. 상측 방향에서는 어깨 관절의 굴곡 운동이 주로 발생하여 오구견봉인대 (coracoacromial ligament)의 변형이 크게 발생하고 관절의 접촉 압력이 증대되어 부하가 높게 분석된 것으로 사료된다 (Yamamoto et al., 2010).

Wattanaprakornkul et al. (2011)은 어깨 굴곡 시 전면삼각근의 부하 집중을 예방하기 위해 회전근개 근육 중 하나인 극상근이 동시에 발현되어 어깨 부하를 분산시켜 균형을 유지한다고 보고하였다. 반면 하측 방향은 중력을 이용하여 중량물을 이동시키기 때문에 근육의 부하가 낮게 분석된 것으로 여겨진다. 이러한 결과를 기반으로 인간공학적인 한손 작업 설계 시 상측방향으로의 중량물 이동은 가급적 지양할 것을 권고하며 리프팅기, 선반 디자인 등을 고려하여 팔 및 어깨 부위 근육에 누적되는 부하를 최소화하는 방안이 필요할 것이다.

수평면을 기준으로 세로 방향 (latitudinal)이 가로 방향 (longitudinal) 보다 적은 근력으로 중량물 이동이 가능한 것으로 분석되었다. 본 연구의 중량물의 시점은 피실험자 몸 중앙이었다. 이에 좌측, 우측 방향의 실험 조건에서는 주로 어깨 관절의 내측·외측회전만 발생하여 타 방향보다 낮은 근활성도가 나타난 것으로 판단된다. Diederichsen et al. (2007)은 인력운반작업 시 어깨 근육의 외전보다 내측 회전에서 근활성도가 낮게 분석된 것으로 보고하여 본 연구 결과와 비슷하게 나타났다. Kothiyal et al. (2001)의 연구에서도 작업자를 기준으로 90° 방향의 수평 이동 시 가장 높은 근활성도가 분석되었으며, Strasser and Müller (1999)도 인력운반작업 시 90°~150°외전 각도의 중량물 이동은 부적절하다고 보고하였다. 이는 수평면을 기준으로 세로 방향 어깨 부위 근육에 부담을 덜 줄 수 있다는 것을 의미하며 향후 인간공학적인 작업장 레이아웃 설계 시 고려되어야 할 것이다.

주로 어깨 관절의 회전 운동이 발생하는 세로 방향 (latitudinal) 동작 시, 좌측 방향에서 낮은 근활성도가 분석되었다. 본 실험에서 좌측 방향은 중량물을 몸 중심으로 가져오는 동작으로써 주로 내측회전이 발생하기 때문에 질량이 높은 앞쪽 근조직계 (anterior musculature)가 활성화 되어 높은 토크를 발생할 수 있다 (Julienne et al., 2007). 운동학적으로 상완와관절의 외측회전 시 관절 안전성을 도모하기 위하여 '수동적 안정화 효과'에 따라 복합적으로 근활성도가 증가 된다 (Happee, 1992; Southgate et al. 2009). 일반적으로 반복적인 어깨의 외측회전 동작은 상완와관절 및 견갑대 부위의 근육, 인대에 누적부하에 따른 부상, 통증이 발생할 수 있는 가능성이 높기 때문에 간헐적인 작업 빈도에서 우측방향의 한손 작업 설계를 권고한다 (Crétual et al., 2015; Ropars et al., 2010).

중량물을 몸의 앞쪽으로 가져오는 하측, 좌측, 후측 방향에서 전반적으로 근활성도가 낮게 분석되었다. 이는 근육 간 구심성 탄도 동작 (concentric ballistic motion)과 높은 연관성이 있다. 팔꿈치와 어깨가 신전되는 편심성 수축 동안 근육 내 탄성 에너지를 저장하여 동심성 수축 시 사용되기 때문이다

(Bosco et al., 1983). 또한 몸의 내부로 중량물을 이동시키는 동작은 미세조정이 불필요하여 낮은 근활성도가 분석된 것으로 판단된다.

본 실험에서 수행한 6 방향의 한손 인력운반작업은 팔꿈치 관절의 굴곡·신전 동작이 주로 발생되기 때문에 주동근인 상완이두근의 근활성도가 높게 분석되었다. 삼각근 중 전면의 근활성도가 높게 분석되었다. 이는 피실험자 앞쪽에 위치한 중량물을 우선적으로 들기 위해 전면 삼각근의 활성도가 높게 분석된 것으로 여겨진다. 승모근은 하부, 상부, 중부 순으로 높은 근활성도가 분석되었다. 이는 반복적인 어깨 굴곡 시 근활성도를 분석한 Falla et al. (2007) 연구 결과와 비슷하며 인력운반작업시 견갑골의 안전성 유지를 위해 하부 승모근의 활성도가 약간 높게 분석된 것으로 사료된다 (Arlotta et al., 2011; Kendall et al., 2005).

일반적으로 근전도 신호의 진폭 분석 시, 피실험자별, 근육별 최대자발적근수축(MVC; Maximum Voluntary Contraction), 기준자발적근수축(RVC; Reference Voluntary Contraction) 등을 기준으로 상대적인 근활성도로 정규화하는 기법을 활용한다(%MVC, %RVC). 하지만 본 연구는 한손 인력운반작업에 따른 다양한 방향과 근육을 복합적으로 고려하여 피실험자별, 근육별로 정규화된 상대적 근활성도가 아닌 절대적인 신호값(μV)으로 근활성도를 분석하여 근육별 표준편차가 높게 분석된 것으로 여겨진다. 향후 연구 방향으로 각 근육별로 발휘할 수 있는 최대 활성도를 기준으로 동작에 따른 근활성도를 정규화하여 상대적 근활성도를 비교 분석이 필요하다. 또한 기존 MVC 측정은 근육의 길이가 변하지 않는 등척성 근수축(Isometric contraction)에 따른 최대 활성도를 분석하여 실제 동적 근수축 동작의 정규화에 적용하기에 무리가 있다. 따라서 Isokinetic Cybex dynamometer 등의 기기를 활용한 최대동적근수축(MDC; Maximum Dynamic Contraction)을 기준으로 신뢰도 높은 동적 근활성도를 정규화 기법의 연구가 선행되어야 할 것이다.

5. Conclusion

본 연구를 통해 한손 인력운반작업에 따른 다양한 방향과 근육을 고려하여 근활성도의 차이를 비교 분석하였다. 동적 근수축에 따른 근활성도를 Envelope detection 기법을 적용하여 효과적으로 파악하였다. 본 연구 결과를 활용하여 한손 동작에 따른 근육의 정량적인 부하에 대한 기초자료를 제시할 수 있다. 또한 각 방향에 따른 근육 부하를 최소화할 수 있도록 인간공학적 작업대 설계에 응용할 수 있을 것이다. 본 연구를 통한 실효성 높은 어깨 근육의 부하 정보는 산업현장 및 재활의학 분야에서 근골격계질환 예방 활동 및 물리치료 등에 활용할 수 있기를 기대한다.

References

Arlotta, M., Lovasco, G. and McLean, L., Selective recruitment of the lower fibers of the trapezius muscle, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(3), 403-410, 2011.

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.

Brookham, R.L., Wong, J.M. and Dickerson, C.R., Upper limb posture and submaximal hand tasks influence shoulder muscle activity. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(3), 337-344, 2010.

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

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.

Ciriello, V.M., McGorry, R.W. and Martin, S.E., Bezverkhny, I.B., Maximum acceptable forces of dynamic pushing: comparison of two techniques. *Ergonomics*, 42(1), 32-39, 1999.

Diederichsen, L.P., Nørregaard, J., Dyhre-Poulsen, P., Winther, A., Tufekovic, G., Bandholm, T., Rasmussen, L.R. and Krogsgaard, M., The effect of handedness on electromyographic activity of human shoulder muscles during movement. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17(4), 410-419, 2007.

Falla, D., Farina, D. and Graven-Nielsen, T., Spatial dependency of trapezius muscle activity during repetitive shoulder flexion. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17(3), 299-306, 2007.

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.

Happee, R., Goal-directed arm movements: I. analysis of EMG records in shoulder and elbow muscles. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2(3), 165-178, 1992.

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: Ressingh Research and Development, 1999.

Hislop, H.J. and Montgomery, J., *Daniel and Worthingham's muscle testing: techniques of manual examination*. 8th ed., Saunders/Elsevier, 2007.

Kendall, F.P., McCreary, E.K., Provance, P.G., Rodgers, M. and Romani, W., *Muscles testing and function with posture and pain*. 5th ed., Baltimore, Lippincott Williams & Wilkins, 2005.

Koleini Mamaghani, N., Shimomura, Y., Iwanaga, K. and Katsuura, T., Effects of strap support in a hand-held device on the muscular activity in female workers assessed by electromyography and subjective rating. *Ergonomics*, 52(7), 848-859, 2009.

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.

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.

Macfarlane, G.J., Hunt, I.M. and Silman, A.J., Predictors of chronic shoulder pain: A population based prospective study, *Journal of Rheumatology*, 25(8), 1612-1615, 1998.

Mallon, W.J. and Speer, K.P., Multidirectional instability: current concepts. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 4(1), 54-64, 1995.

McQuade, K.J., Dawson, J. and Smidt, G.L., Scapulothoracic muscle fatigue associated with alterations in scapulohumeral rhythm kinematics during maximum resistive shoulder elevation. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 28(2), 74-80, 1998.

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(2), 153-159, 2007.

Mital, A., Nicholson, A.S. and Ayoub, M.M., *A guide to manual material handling*. Taylor & Francis, 1993.

Oliveira, A.B., Silva, L.C.C.B. and Coury, H.J.C.G., How do low/high height and weight variation affect upper limb movements during manual material handling of industrial boxes?. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 15(6), 494-502, 2011.

Omi, R., Sano, H., Ohnuma, M., Kishimoto, K.N., Watanuki, S., Tashiro, M. and Itoi, E., Function of the shoulder muscles during arm elevation: an assessment using positron emission tomography. *Journal of Anatomy*, 216(5), 643-649, 2010.

Perotto, A.O., Morrison, D., Delage, E. and Iazzetti, J., *Anatomical guide for the electromyographer: the limbs and trunk*. 4th ed., Springfield: Thomas, 2005.

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.

Southgate, D.F., Hill, A.M., Alexander, S., Wallace, A.L., Hansen, U.N. and Bull, A.M., The range of axial rotation of the glenohumeral joint. *Journal of Biomechanics*, 42(9), 1307-1312, 2009.

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.

Wattanaprakormkul, D., Halaki, M., Boettcher, C., Cathers, I. and Ginn, K.A., A comprehensive analysis of muscle recruitment patterns during shoulder flexion: An electromyographic study. *Clinical Anatomy*, 24(5), 619-626, 2011.

Westgaard, R.H. and Aarås, A., Postural muscle strain as a causal factor in the development of musculoskeletal illnesses. *Applied Ergonomics*, 15(3), 162-174, 1984.

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.

Yamamoto, N., Muraki, T., Sperling, J.W., Steinmann, S.P., Itoi, E., Cofield, R.H. and An, K.N., Contact between the coracoacromial arch and the rotator cuff tendons in nonpathologic situations: a cadaveric study. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 19(5), 681-687, 2010.