한국전문물리치료학회지 제 16권 제 3호
PTK Vol. 16 No. 3 2009.

반복 들기 작업에 따른 허리주변 근육의 근활성도와 근피로도에 대한 근전도 분석

김원호
울산과학대학 물리치료과

Abstract

Electromyographic Analysis of Muscle Activity and Fatigue of the Paraspinal Muscles During a Repetitive Lifting Task

Won-ho Kim, Ph.D., P.T.
Dept. of Physical Therapy, Ulsan College

The purpose of this study was to investigate the effects of a repetitive lifting task on the level of activation and median frequency of the paraspinal muscles, and to provide basic data of the maximal acceptable duration of the lifting task to avoid muscle fatigue. Ten healthy male subjects were recruited as participants and they repetitively (12 lifts/min) lifted a box (46 ㎝ × 30 ㎝ × 30 ㎝, 15 ㎏) for 10 minutes. Electromyographic data (muscle activation and median frequency), heart rate, and Borg CR10 score were recorded at 1, 3, 5, 7, and 9 minutes after the lifting task. Electromyographic data was recorded from the elector spinalis, mutifidus, external oblique abdominis, and rectus abdominis for 1 minute. The results showed that as the repetitive lifting task progressed, the heart rate and Borg CR10 score significantly increased. In addition, activation of the muscles increased. The median frequency significantly decreased over time in the elector spinalis, mutifidus, and external oblique abdominis (right side), except for the external oblique abdominis (left side) and rectus abdominis. It is suggested that the median frequency recorded from a dynamic task is used to monitor muscle fatigue. Furthermore, the repetitive lifting task (15 ㎏, 12 lifts/min) should not continue for more than 3 minutes in order to avoid muscle fatigue.

Key Words: Electromyography; Lifting task; Muscle fatigue.

Ⅰ. 서론

모든 산업이 자동화되고 있지만, 아직도 많은 근로자들이 육체적인 근력을 바탕으로 손이나 몸의 일부분으로 장비나 물건을 들어 올리거나 운반하는 인력물자취급 작업에 종사하고 있다. 특히, 건설, 제조, 물류 등의 분야에선 여전히 인력물자취급에 의존하고 있는 실정이다(정성학과 김홍기, 1999). 우리나라의 경우, 업무상 질병자 중 33%가 근골격계 질환이고, 근골격계 질환 중 80%가 반복 동작이나 과도한 동작에 의한 것이다(한국산업안전공단, 2002). 고상백 등(2000)은 일부조선업 근로자를 대상으로 실시한 연구에서, 전체 직업관련 질환 중 근골격계 질환이 10.99~25.66%를 차지하며, 이중 66%가 물건을 드는 동작 동안 발생한다고 하였다.

미국 국립산업안전보건연구원은 근골격계 질환을 예방하기 위해 생리적 기준치를 작업대의 높이와 작업시간에 따라 최대 940 ㎖O_2/분을 초과하지 않도록 권장하고 있다. 이 기준은 들기 작업의 빈도수를 고려하지 않고

통신저자: 김원호 whkim@mail.uc.ac.kr
본 연구는 2008년도 울산과학대학 교내학술연구비 지원에 의함.

적용된 것이기 때문에, 들기 작업 빈도수가 다른 경우에는 일률적으로 적용하는데 문제가 있다(정성학과 김홍기, 1999). 또한 생리적 기준을 설정하기 위해 들기 작업이 아닌 트레이드밀과 고정식 자전거를 사용하였기 때문에 들기 작업에 적용하는데 제한이 있고, 외국인을 대상으로 만들어진 기준을 국내에 그대로 적용하기 힘들다.

국내에서도 반복적인 들기 작업에 대한 연구가 이루어지고 있다(박지수 등, 1996; 윤훈용, 2004). 대부분의 연구들이 생리적 기준을 알아보기 위해 최대 산소소모율과 심장박동수를 이용하고 있다. 이러한 생리적 기준치는 전신적인 지구력을 기준으로 신체적 작업능력에 대한 생리적 기준치를 알아보는 것이다. 반복 작업에 따른 근골격계 질환을 예방하기 위해서는 전신적인 지구력보다 국소적인 근육지구력을 알아보는 것이 중요하다.

근육의 피로정도를 알아보기 위해, 대부분의 연구들은 근전도를 이용하여 근활성도와 중앙주파수의 변화와 정신심리학적 측정인 Borg 척도를 적용하고 있다(김영근 등, 2006; Clark 등, 2007; Garg 등, 2006). 하지만 이러한 연구들은 대부분 정적 근육수축에 따른 피로정도를 알아본 것이었다. Dedering 등(1999)은 15명의 건강한 성인을 대상으로 척추세움근의 지구력 시간과 근활성도 및 중앙주파수의 관계를 알아보기 위해 등척성 수축을 적용하였다. El ahrache 등(2006)은 근육피로에 따른 손상을 방지하기 위해서 등척성 수축 시 최대 허용 근육수축시간을 결정하고 안전한 들기작업 시간을 제시하였다.

일상에서 일어나는 들기 작업은 등장성 운동이기 때문에 등장성 근육수축에 따른 근육피로 정도를 알아보는 연구가 필요하다. Roy 등(1998)은 4명의 건강한 성인을 대상으로 등척성과 등장성 수축에 따른 피로정도를 알아보았다. 그 결과, 등척성 수축인 경우 근육이 피로할수록 중앙주파수가 비례적으로 감소하지만, 등장성 수축인 경우 중앙주파수의 반응은 복잡하고 비례적인 반응을 보이지 않는다고 하였다. 또한 동원되는 근육과 피로에 대한 신진대사과정이 근육수축에 따라 다르기 때문에 이에 대한 더 많은 연구가 필요하다고 하였다. 최근 동적인 근육수축에 따른 근육피로를 알아본 연구가 진행되고 있지만, 대부분 허리폄 운동에 따른 척추세움근과 엉덩폄근의 활성화패턴에 관한 연구들이다(Clark 등, 2003; 2007; Plamondon 등, 2004).

이 연구는 반복 들기(등장성 수축)에 의해 유발된 근육피로에 따라 중앙주파수와 근활성도의 변화가 있는지를 알아보고, 근육피로를 유발하지 않는 적절한 들기 작업 시간을 알아보기 위해 시행되었다. 구체적인 목적은 반복 들기 작업에 따른 심장박동수, Borg CR10 점수(Tecklin, 2007), 그리고 왼쪽 척추세움근, 왼쪽 뭇갈래근, 왼쪽과 오른쪽 바깥배빗근, 그리고 왼쪽 배곧은근의 근전도 값(근활성도와 중앙주파수)의 변화를 알아보고 피로를 유발하지 않는 최대 작업 허용시간에 대한 기초 자료를 제공하는 것이다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구대상자

이 연구는 실험의 목적과 방법에 대해 설명을 듣고 자발적으로 참여하기로 동의한 건강한 남성 12명을 대상으로 시행되었다. 여성, 직업적으로 들기 작업을 수행한 자, 규칙적으로 근력증강운동을 실시하는 자, 정형 및 신경외과적인 문제가 있는 자는 제외하였다. 12명 중 2명은 반복 들기 작업 2분과 3분 후에 각각 허리 불편감을 호소하여 분석에서 제외하였다.

2. 실험방법

실험 전 모든 대상자에게 실험절차에 대해 교육을 실시하였다. 먼저 대상자의 일반적인 특성을 조사한 후, 3분 동안 준비운동으로 허리와 다리에 대한 신장운동을 실시하도록 하였다. 들기 작업 시작 전 안정 시 심장박동수를 알아보기 위해서 1분 동안 매 15초마다 4회 측정하여 평균값을 기록하였다. 손잡이가 있는 15 ㎏의 상자(가로 46 ㎝, 세로 30 ㎝, 높이 30 ㎝)를 75 ㎝ 높이의 작업대(윤훈용, 2004)에 1회 들어올리는 동안 근활성도와 중앙주파수를 측정하였다. 3회 반복측정 후 평균값을 기록하였다. 이후 3분간 휴식을 취한 후 15 ㎏의 상자를 매 5초마다 1회씩 들어올리도록 하였다(그림 1). 들기 작업은 10분 동안 휴식 없이 연속으로 수행되었다. 대상자는 두발을 어깨넓이로 벌리고 자신에게 익숙하고 편안한 방법으로 상자를 들고, 왼쪽으로 90° 몸통을 회전하여 작업대에 올렸다. 작업횟수는 5초당 1회로 10분 동안 총 120회 실시하였다. 들기 작업 종료 후 5분간 마무리 운동을 실시하였다. 만약 10분 이전에 대상자가 통증이나 피로를 호소하면 즉시 들기 작업을 중지하였다. 들기 작업 시작 1~2분 사이, 3~4분 사이, 5-6분 사이, 7~8분 사이, 그리고 9분~10분 사이에 매 1분 동안 근활성도와 중앙주파수, Borg CR10 점수, 그

리고 심장박동수를 측정하였다. 근활성도와 중앙주파수는 1분 동안 수집된 측정값들(12회 측정)의 평균값을 기록하였고, 심장박동수는 1분 동안 4회 측정하고 평균값을 기록하였다. 들기 작업 시작 전과 종료 직후 케이블 장력측정기[1]를사용하여 등근력을 2회 측정 후 최고값을 기록하였다. 대상자가 무릎을 펴고 허리를 30° 굽힌 자세에서 6초간 최대로 손잡이를 잡아당길 동안 발생하는 등근력을 ㎏으로 기록하였다.

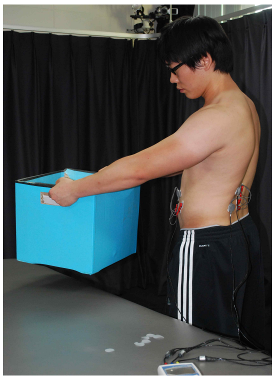

그림 1. 들기 작업.

3. 실험장비

근활성도와 중앙주파수를 측정하기 위해 근전도 Biomonitor ME 6000[2]을 사용하였다. 이 기구는 8채널을 가지고 있다. 전극은 Medicotest Blue Sensor type M-00-S를 사용하였다. 수집된 자료를 분석하기 위하여 Mega Win 2.2 프로그램을 사용하였다. 근전도 신호의 표본수집률(sampling rate)은 1000 ㎐로 하였다. 또한 20~500 ㎐ 주파수 대역과 60 ㎐ 노치필터를 사용하였다(Thuresson 등, 2005). 전극은 왼쪽 척추세움근, 왼쪽 바깥배빗근, 왼쪽 뭇갈래근, 왼쪽 배곧은근, 그리고 오른쪽 바깥배빗근에 부착하였다. 먼저 부착할 신체부위를 노출시킨 후 피부 저항을 줄이기 위해 털을 제거하고 알코올로 닦은 후, 각 근육에 대한 최대근육수축을 유도한 후 부착부위를 펜으로 표시하였다. 활성 전극 사이의 거리는 2 ㎝ 이내로 하였다(Cram 등, 1998).

척추세움근의 전극 부착부위는 L3 돌기에서 왼쪽으로 2 ㎝ 떨어진 지점에 근섬유와 평행하게 배치하였고, 뭇갈래근은 뒤위엉덩뼈가시와 L4~5 사이공간을 연결하는 선과 평행하게 배치하였다(Ng 등, 1997). 바깥배빗근의 전극 부착부위는 앞위엉덩뼈가시와 10번 갈비뼈를 이은 가상의 선 중간부분에서 근육섬유와 평행하게 배치하였다. 배곧은근은 배꼽에서 왼쪽으로 2 ㎝ 떨어진 부위에 근섬유와 평행하게 배치하였다. 접지전극은 활성전극으로부터 왼쪽으로 5㎝ 떨어진 부위에 평행하게 배치하였다. 근육의 근전도 신호로부터 근활성도와 중앙주파수를 기록하였다. 근활성도는 근전도 신호의 실질적인 출력값에 가까운 값을 제공하는 RMS(root mean square)값으로 변환한 후(Perry, 1992), 1회 들기 작업 시 측정값으로 정규화한 후 %RVC(reference voluntary contraction)로 기록하였다(Thuresson 등, 2005). 중앙주파수는 반복 들기 시 측정된 수치를 들기 작업 시작 전에 실시된 1회 들기 작업 시 측정된 수치로 정규화하여 백분율로 기록하였다.

장박동수의 측정은 Polar 심박측정기[3]를 이용하였다.

$$\text{중앙주파수 정규화} = \frac{\text{들기 작업 중 측정된 중앙주파수}}{\text{1회 들기 시 측정된 중앙주파수}}$$

심장박동수 측정기의 송신 장치는 벨트를 이용하여 왼쪽 가슴에 고정시킨 후, 손목에 찬 수신 시계를 통하여 심장박동수를 측정하였다. 들기 작업 시간대별 측정된 심장박동수를 작업부하로 표현하기 위해 심장박동수 비율로 표현하였다(박지수 등, 1996).

$$\text{심장박동수비율} = \frac{\text{(작업 시-안정 시 심장박동수)}}{\text{최대 심장박동수*}} \times 100$$

*최대심장박동수=나이-220

4. 분석방법

자료 분석을 위해 통계프로그램인 SPSS Version 15.0을 사용하였다. 수집된 자료의 정규분포여부를 알아보기 위해 단일 표본 콜모고로프-스미르노프(Kolmogorov-Smirnov) 검정을 실시한 결과, 정규분포하지 않았으므로 비모수 검정을 실시하였다. 반복 들기 작업 동안 시간경과에 따른 각 근육의 근활성도와 중앙주파수의 차이를 알아보기 위해 프리드만 검정을 실시

1) JAMAR Back, Leg, & Chest dynamometer, Therapeutic Equipment Corp., NJ, U.S.A.
2) Biomonitor ME 6000, Mega Electronics Ltd., Kuopio, Finland.
3) POLAR FS1, Polar Electro Oy, Kempele, Finland.

하였고, 사후검정은 Portney와 Watkins(1993)가 제시한 프리드만 분산분석을 위한 다중분석법을 적용하였다. 들기 작업 전과 후의 등근력의 차이를 알아보기 위해 윌콕슨 부호 순위검정을 실시하여 하였다. 통계적 유의수준을 검정하기 위해 α=.05로 설정하였다.

Ⅲ. 결과

1. 연구대상자의 일반적 특성

이 연구에 참여한 대상자는 00대학에 재학 중인 남학생 10명이었다. 평균나이는 22.5세, 신체질량지수 21.6 ㎏/㎡, 그리고 등근력 75.1 ㎏이었다.

2. 반복 들기 시 시간대별 심장박동수와 Borg CR10 점수의 변화

반복 들기 작업 10분 동안 심장박동수와 Borg CR10 점수를 측정한 결과, 표 2와 같았다. 심장박동수와 심장박동수비율은 작업시간에 따라 유의한 차이를 보였다 ($p<.05$). Borg CR10 점수는 작업 시간 1분 후 평균 1.3점, 5분 후 4.6점, 그리고 9분 후 7.5점으로 유의하게 증가하였다($p<.05$). 사후분석결과, 들기 작업 시작 전에 비해 들기 작업 시작 3분 후부터 심장박동수, 심장박동수비율, 그리고 Borg CR10 점수가 유의하게 증가하였다($p<.05$).

표 1. 연구대상자의 일반적 특성 (N=10)

특성	평균±표준편차
나이(세)	22.5±2.6
체중(kg)	63.8±4.7
신장(㎝)	171.9±3.0
신체질량지수(kg/m^2)	21.6±1.7
안정 시 심장박동수(회/분)	83.3±20.3
등근력(kg)	75.1±7.1

3. 반복 들기 시 허리주변 근육의 근활성도

반복 들기작업 10분 동안 허리주변 근육의 근활성도를 알아보기 위해서, 들기 작업 시작 전 1회 들기 시 측정된 수치로 정규화하여 작업시간 경과에 따른 각 근육별 근활성도(%RVC)를 비교하였다(표 3). 그 결과, 모든 근육들의 근활성도는 높게 나타났다. 특히, 왼쪽 배곧은근의 근활성도가 뚜렷하게 높게 나타났지만 프리드만 검정결과, 통계적으로 유의하지 않았다($p>.05$).

4. 반복 들기 작업 시 시간경과에 따른 중앙주파수 변화

반복 들기 작업에 따른 근육 피로정도를 알아보기 위해 중앙주파수의 변화를 알아보았다. 들기 작업 시작 전 1회 들기 시의 중앙주파수와 비교한 결과(표 4), 왼쪽 배곧은근과 왼쪽 바깥배빗근을 제외한 모든 근육들의 중앙주파수는 유의하게 감소하였다($p<.05$). 사후검정 결과, 왼쪽 척추세움근은 3분 후부터, 왼쪽 뭇갈래근은 5분 후부터, 그리고 오른쪽 바깥배빗근은 1분 후부터 유의한 차이를 보였다($p<.05$).

4. 들기 작업 전과 후 등근력의 변화

들기 작업을 시작하기 전과 들기 작업 10분 후 등근력을 비교한 결과, 등근력이 유의하게 감소하였다 ($p<.05$). 들기 작업 전의 등근력은 83.25 ㎏이었지만, 반복 들기 작업 후 50.75 ㎏으로 39% 감소하였다.

Ⅳ. 고찰

들기 작업에서, 비대칭적 들기는 대칭적 들기보다 신체에 부담을 많이 주기 때문에 대칭적 들기를 교육하고 있지만, 현장에서는 작업 공간, 작업특성 때문에 대칭적 들기를 수행하는 것이 쉽지 않다. 이 연구는 동적인 비대칭적 들기 작업에 따른 근육 피로정도를 알아보기 위

표 2. 반복 들기 시간대별 심장박동수, 심장박동수비율, 그리고 Borg CR10 점수

	들기 작업 1분 후	들기 작업 3분 후	들기 작업 5분 후	들기 작업 7분 후	들기 작업 9분 후	X^2*	p
심장박동수(회/분)	130.43±25.71[a]	150.88±13.73	157.83±11.39	159.40±7.37	163.40±7.64	19.57	.00
심장박동수비율(%)	28.14±11.09	38.63±5.53	42.17±6.83	43.40±5.41	45.40±5.73	19.46	.00
Borg CR10 점수	1.31±.370	3.25±.65	4.63±.57	5.38±.52	7.50±1.07	39.79	.00

[a]평균±표준편차.
*프리드만 검정.

표 3. 반복 들기 작업 시 시간대별 근활성도 단위: %RVC

	들기 작업 1분 후	들기 작업 3분 후	들기 작업 5분 후	들기 작업 7분 후	들기 작업 9분 후	X^2*	p
[b]LES	106.32±6.15[a]	114.69±16.00	116.74±16.01	108.71±18.82	119.76±33.61	4.60	.47
[c]LEAO	145.39±99.62	164.30±74.14	145.39±70.42	138.37±58.56	134.42±69.52	8.45	.13
[d]LM	119.51±19.62	131.41±27.50	95.21±65.62	109.97±25.27	136.12±47.26	3.10	.68
[e]LRA	256.81±251.56	264.63±215.46	321.54±256.06	348.40±282.17	376.30±271.56	4.77	.44
[f]REAO	126.89±87.79	141.04±68.44	170.52±43.99	151.56±43.92	167.46±85.62	5.69	.34

[a]평균±표준편차.
[b]LES: Left Elector Spinae, 왼쪽 척추세움근. [c]LEAO: Left External Abdominal Oblique, 왼쪽 바깥배빗근. [d]LM: Left Mutifidus, 왼쪽 뭇갈래근. [e]LRA: Left Rectus Abdominis, 왼쪽 배곧은근. [f]REAO: Right External Abdominal Oblique, 오른쪽 바깥배빗근.
*프리드만 검정.

표 4. 반복 들기 시 시간대별 근육별 중앙주파수 변화율 단위: %Hz

	들기 작업 1분 후	들기 작업 3분 후	들기 작업 5분 후	들기 작업 7분 후	들기 작업 9분 후	X^2*	p
[b]LES	91.63±15.32[a]	84.03±12.71	75.91±10.40	72.53±9.93	65.30±8.47	24.35	.00
[c]LEAO	98.18±11.09	89.39±12.04	83.86±11.53	94.32±42.23	88.59±35.47	8.36	.08
[d]LM	89.84±11.21	84.08±11.00	77.69±11.69	72.79±9.24	68.15±11.34	23.92	.00
[e]LRA	102.99±22.200	113.27±19.880	105.22±20.960	111.15±28.43	108.30±31.73	4.52	.48
[f]REAO	58.99±16.30	56.39±17.65	49.01±13.14	43.04±9.39	38.53±7.84	18.96	.00

[a]평균±표준편차.
[b]LES: Left Elector Spinae, 왼쪽 척추세움근. [c]LEAO: Left External Abdominal Oblique, 왼쪽 바깥배빗근. [d]LM: Left Mutifidus, 왼쪽 뭇갈래근. [c]LRA: Left Rectus Abdominis, 왼쪽 배곧은근. [f]REAO: Right External Abdominal Oblique, 오른쪽 바깥배빗근.
*프리드만 검정.

표 5. 들기 작업 전과 후 등근력의 변화 단위: kg

	들기 작업 전	들기 작업 후	Z값*	p
등근력	83.25±20.25[a]	50.75±20.01	−2.52	.01

[a]평균±표준편차.
*윌콕슨 부호 순위검정.

해서 허리주변 근육의 근활성도와 중앙주파수의 변화와 Borg CR10 점수를 알아보았다. 부상위험을 줄이기 위해 들기 작업 시작 전에 준비운동과 마무리 운동을 실시하게 하였다. 또한 대상자에게 편안한 방법으로 들기 작업을 수행하게 하였다. 대상자 중 일부(탈락자 2명)는 상자를 들기 위해 무릎을 굽히지 않고 허리만 굽혀 들기 작업을 하였다. 들기 작업 중간 허리불편감이 이러한 들기 행동으로 인해 발생한 것으로 여겨진다.

대상자들은 15 kg의 상자를 10분 동안 총 120회(분당 12회) 반복 들기 작업을 실시하였다. 일반적으로 오른손잡이는 들기 작업 시 왼쪽으로 회전하여 물건을 들어올리는 경향이 있기 때문에, 최대한 현장과 비슷한 상황으로 연구를 진행하기 위해 왼쪽방향으로 몸통을 회전하는 비대칭적인 들기 작업을 수행하게 하였다. Farina 등(2003)은 저강도의 부하가 허리근육에 가해지는 경우 피로에 따른 중앙주파수와 근활성도의 변화가 없다고 하였고, Arnall 등(2002)은 최대 수의적 근육수축력의 50% 이상으로 허리근육을 수축해야만 근전도 상에서 피로 특성들이 나타난다고 하였다. 이 연구에서는 최대 들기 중량 허용한도 내에서 허리주변 근육의 피로를 유발하기 위해서 Bonato 등(2003)과 Ebenbichler 등(2002)과 같이 분당 들기 회수를 높게 설정하였다.

반복 들기 작업 결과, 시간이 경과함에 따라 심장박동수와 Borg CR10 점수가 들기 작업 3분 후부터 유의하게 증가하였고, 각 근육의 근활성도(%RVC)는 초기 1회 들기 시보다 높았지만 통계적으로 유의하지 않았다. 또한 대부분의 근육에서 중앙주파수가 유의하게 감소하였다. Dedering 등(1999)은 등척성 수축을 통해 허리주변 근육의 피로를 유발한 결과, Borg CR10 점수와 중앙주파수 및 근육 지구력시간이 유의한 상관이 있다

고 하였다. 특히, Borg CR10 점수가 5점인 중앙주파수와 지구력 시간이 50% 감소하고, 7점인 경우 60~70%가 감소한다고 하였다. 이 연구에서 Borg CR10 점수가 5점인 경우는(매우 힘들고 지치지만, 작업을 지속하기에 몹시 어렵지 않은 상태로서, 최대 능력의 50% 정도의 강도인 경우) 반복 들기 작업 5분에서 7분 사이 이었다. 이 시점에서 심장박동비율은 42.17~43.40%로 증가하였고, 왼쪽 배곧은근과 왼쪽 바깥배빗근을 제외한 모든 근육의 중앙주파수가 약 30~40% 감소하였다. 이전의 연구와 약간의 차이는 있지만 비슷한 경향을 보였다.

작업부하 정도와 신체적 작업능력을 알아보기 위해 흔히 사용되는 것이 산소소모율이다. 산소소모율은 심장박동수와 비례관계에 있다. 심장박동수를 이용해 산소소모율을 표현하는 방법은 중 심장박동수비율은 안정시 심장박동수의 반영률이 적기 때문에, 산소소모율을 더욱 잘 반영하는 것으로 보고되고 있다(박지수 등, 1996). 따라서 이 연구에서도 심장박동비율을 이용하여 작업부하 정도를 알아보았다. 들기 작업 후 3분까지 심장박동수비율이 급격히 상승하다 이후부터는 완만하게 상승하는 경향을 보였다. 이는 들기 작업 3분 후부터 이 들기 작업에 대해 적응하고 항정상태에 도달하였을 보여주는 것이라 생각된다.

들기 작업에 따른 근활성도 분석결과, 전반적으로 모든 근육의 근활성도는 유의하지는 않지만 높아지는 경향을 보였다. 이는 같은 힘을 발휘하기 위해 많은 운동단위들이 동원되고 운동단위의 흥분률이 증가하고 있음을 의미하는 것으로(Krogh-Lund와 Jørgensen, 1991), 반복 작업이 이루어짐에 따라 같은 강도의 작업을 수행하더라도 더 높은 근활성도가 필요함을 보여주는 것이다. 특히 왼쪽 배곧은근의 근활성도가 확연히 높게 형성되었고 중앙주파수 역시 다른 근육과는 다르게 증가되는 추세를 보였다. Allison과 Henry(2001) 그리고 Granata 등(2001)도 반복적인 허리 폄 운동이 진행됨에 따라 배곧은근과 바깥배빗근의 근활성도가 높아진다고 하였다. 들기 작업 시 척추안정성은 깊은 배근육(배가로근, 안쪽배빗근)뿐만 아니라 배곧은근과 바깥배빗에 의해 이루어진다. 골반바닥근육, 가로막, 그리고 배 주변 근육들은 안쪽 배압력(intra-abdominal pressure)을 높여 척추안정성과 척추폄근의 회전력을 높이는데 기여하기 때문에(Norris, 2000) 들기 작업 시 더욱 활성화되는 것으로 여겨진다.

시간경과에 따른 각 근육별 근활성도의 차이를 비교한 결과, 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. Ng 등(1997)도 16명의 정상인을 대상으로 등척성 수축을 통해 피로를 유발한 결과, 뭇갈래근과 허리엉치근의 근활성도는 변화가 없었다. 이는 근활성도가 근육피로에 민감하게 반응하지 않는 것으로 보인다. 하지만 근활성도가 피로의 특성을 나타내는 지표로서 의미가 있다고 주장하는 연구도 있다(Plamondon 등, 2004). 이는 피로를 유발하는 방법(근육수축)과 부하량 그리고 근활성도 표기 방법이 다르기 때문일 것이다.

이전의 연구들(Bonato 등, 2003; Champagne 등, 2008; Ng, 1997)과 같이, 이 연구에서도 반복 들기 작업이 진행될수록 왼쪽 배곧은근과 왼쪽 바깥배빗근을 제외한 모든 근육의 중앙주파수는 유의하게 감소하였다. 등근육의 근력을 측정한 결과 들기 작업을 시작하기 전에 비해 10분간 들기 작업을 실시한 결과 39%의 근력이 감소하였다. 이는 중앙주파수가 등척성 뿐만 아니라 등장성 형태의 활동에서도 근육 피로에 잘 반응함을 보여주는 것이다. Kupa 등(1995)은 근섬유의 형태에 따른 중앙주파수의 변화를 보고하였다. Ⅱ형 근섬유들이 수축하는 경우는 중앙주파수가 높게 나타났지만, Ⅰ형 근섬유들이 수축하는 경우는 중앙주파수가 낮게 나타났다. 따라서 반복 들기 작업 수행에 따라 근육수축에 동원되는 근육이 Ⅰ형 근섬유로 대치되었고 이는 근육피로가 있음을 보여주는 것이다. 반복 들기 작업 시작 전에 시행된 1회 들기 시 중앙주파수에 비해 반복 들기 시작 1분 후에 오른쪽 바깥배빗근 , 3분 후에 왼쪽 척추세움근, 그리고 5분 후에 왼쪽 뭇갈래근의 중앙주파수가 유의하게 낮아졌다. 들기 작업 시 직접적으로 작용하는 근육은 허리 폄을 위한 등쪽에 있는 근육과 몸통회전을 위한 배빗근들이다. 왼쪽으로 회전하는 경우, 왼쪽 안쪽배빗근과 오른쪽 바깥배빗근이 작용한다(Daniels와 Worhingham, 1986). 들기 작업에 직접적으로 작용하는 근육들의 중앙주파수는 유의하게 감소하였지만, 왼쪽 배곧은근과 왼쪽 바깥빗근 같은 근육은 들기 작업 시 척추안정성을 높이기 위해 작용하기 때문에(Norris, 2000) 중앙주파수의 변화가 상대적으로 적은 것으로 생각된다.

근육 손상을 방지하고 안전하게 들기 작업을 수행하기 위해서는 최대 허용 들기 시간을 결정하는 것이 중요하다. 등척성 수축 시 최대 근육수축 허용시간에 대한 연구는 이루어져 있지만(El ahrache 등, 2006), 등장성 수축 시 근육수축 허용시간에 대한 연구는 거의 없

다. 미국의 경우, 1시간 작업 시 허용 심장박동수 범위는 분당 120~130회이고(AIHA Technical Committee, 1971), 분당 산소소모율이 940 ㎖/O_2/분을 초과하지 않도록 권장하고 있다. 일반적으로 Borg CR10 점수 3점(중등도 강도) 이하에서 작업을 수행하는 것이 안전하다고 여기고 있다. Garg 등(2006)은 근골격계 손상 위험을 줄이기 위해서 Borg CR10 점수≤3.5, 피로지수≤3.5에서 작업을 수행하는 것이 안전하다고 하였다. 윤훈용(2004)은 건강한 남성 6명을 대상으로 들기 작업을 분석한 결과, Borg CR10 점수가 3일 경우 산소소모율이 909.4 ㎖/O_2/분이라고 하였다. 이 연구에서 15 ㎏의 상자를 분당 12회 반복 들기를 시행하는 경우, 3분 후에 심장박동수 150.88회에 이르고, Borg CR10 점수 3.25, 그리고 척추세움근의 중앙주파수 변화가 있는 점을 고려할 때, 근육피로에 따른 손상을 방지하기 위해 3분 이상 지속적으로 들기 작업을 수행하는 것은 바람직하지 않은 것으로 여겨진다.

이 연구는 건강한 20대 남성만을 대상으로 실시되었고 대상자 수가 많지 않아 일반화하는데 제한점이 있다. 향후에는 남성과 여성뿐만 다양한 연령대를 대상으로 반복 들기에 의한 근육피로를 알아보는 더 많은 연구가 필요하고, 근육 손상을 방지하기 위한 작업-휴식 주기에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

Ⅴ. 결론

이 연구는 반복 들기(등장성 수축)에서 중앙주파수와 근활성도를 이용한 근육피로 측정치의 유용성을 알아보고, 근육피로를 유발하지 않는 적절한 들기 작업 시간에 대한 기초 자료를 제공하기 위해 시행되었다. 건강한 20대 남성 12명은 15 ㎏의 상자를 분당 12회로 10분 동안 반복 들기 작업을 실시하였다. 반복 들기 1분, 3분, 5분, 7분, 9분에 왼쪽 척추세움근, 왼쪽 뭇갈래근, 오른쪽 과 왼쪽 바깥배빗근, 그리고 왼쪽 배곧은근의 근활성도와 중앙주파수를 1분간 기록하였다. 또한 심장박동수와 Borg CR10 점수를 기록하였다. 그 결과, 반복 들기 작업이 진행될수록 심장박동수와 Borg CR10 점수는 높아졌다. 근활성도 역시 증가되는 경향을 보였지만 유의한 차이는 없었다. 왼쪽 배곧은근과 왼쪽 바깥배빗근을 제외한 모든 근육의 중앙주파수가 유의하게 감소하였다. 중앙주파수는 반복 들기 작업 시 국소적인 근육피로를 감시하는데 지표로서 의미가 있는 것으로 여겨진다. 또한 근육피로에 따른 손상을 방지하기 위해 3분 이상 지속적으로 들기 작업을 수행하는 것은 바람직하지 않은 것으로 여겨진다.

인용문헌

고상백, 김형식, 최홍렬 등. 일부 조선업 근로자의 직업성 요통 발생 실태 및 위험요인에 관한 연구. 대한산업의학회지. 2000;12(1):1-11.

김영근, 김정룡, 신현주. 비대칭 동적 들기 작업 시 몸통근육의 피로회복 패턴 비교. 대한인간공학학회지 추계학술대회논문집. 2006:155-158.

박지수, 김홍기, 최진영. 작업유형에 따른 생리학적 작업능력의 비교 분석. 대한인간공학회지. 1996;15(2):89-98.

윤훈용. 대칭과 비대칭 들기 작업에서의 인체심리학적 연구. 한국산업위생학회지. 2004;14(1):33-40.

정성학, 김홍기. 인력물자취급시 작업빈도에 따른 생리적 작업능력의 연구. 대한인간공학회지. 1999;18(2):1-9.

한국산업안전공단. 2001년 산업재해원인조사. 2002.

AIHA Technical Committee. Ergonomics guide to assessment of metabolic and cardiac costs of physical work. Am Ind Hyg Assoc J. 1971;32(8):560-564.

Allison GT, Henry SM. Trunk muscle fatigue during a back extension in standing. Man Ther. 2001;6(4):221-228.

Arnall FA, Koumantakis GA, Oldham JA, et al. Between-days reliability of electromyographic measures of paraspinal muscle fatigue at 40, 50, and 60% levels of maximal voluntary contraction force. Clin Rehabil. 2002;16(7):761-771.

Bonato P, Ebenbichler GR, Roy SH, et al. Muscle fatigue and fatigue-related biomechanical changes during a cyclic lifting task. Spine. 2003;28(16):1810-1820.

Champagne A, Descarreaux M, Lafond D. Back and hip extensor muscle fatigue in healthy subjects: Task-dependency effect of two variants of the Sorensen test. Eur Spine J. 2008;17(12):1721-1726.

Clark BC, Manini TM, Ploutz-Snyder LL. Derecruitment of the lumbar musculature with

fatiguing trunk extension exercise. Spine. 2003;28(3):282-287.

Clark BC, Manini TM, Ploutz-Snyder LL. Fatigue-induced changes in phasic muscle activation patterns during dynamic trunk extension exercise. Am J Phys Med Rehabil. 2007;86(5):373-379.

Cram JR, Kasman GS, Holtz J. Introduction to Surface Electromyography. Gaithersburg, Maryland, Aspen, 1998:322-324.

Daniels L, Worthingham C. Muscle Testing: Techniques of manual examination. 5th ed. Philadelphia, PA, W.B. Saunders Co., 1986:26-27.

Dedering A, Németh G, Harms-Ringdahl K. Correlation between electromyographic spectral changes and subjective assessment of lumbar muscle fatigue in subjects without pain from the lower back. Clin Biomech. 1999;14(2):103-111.

Ebenbichler GR, Bonato P, Roy SH, et al. Reliability of EMG time-frequency measures of fatigue during repetitive lifting. Med Sci Sports Exerc. 2002;34(8):1316-1323.

El ahrache K, Imbeau D, Farbos B. Percentile values for determining maximum endurance times for static muscular work. Int J Ind Ergon. 2006;36:99-108.

Farina D, Gazzoni M, Merletti R. Assessment of low back muscle fatigue by surface EMG signal analysis: Methodological aspects. J Electromyogr Kinesiol. 2003;13(4):319-332.

Garg A, Hegmann K, Kapellusch J. Short-cycle overhead work and girdle muscle fatigue. Int J Ind Ergon. 2006;36:581-597.

Granata KP, Orishimo KF, Sanford AH. Trunk muscle coactivation in preparation for sudden load. J Electromyogr Kinesiol. 2001;11(4):247-254.

Krogh-Lund C, Jørgensen K. Changes in conduction velocity, median frequency, and root mean square-amplitude of the electromyogram during 25% maximal voluntary contraction of the triceps brachii muscle, to limit of endurance. Eur J Appl Physiol. 1991:63(1):60-69.

Kupa EJ, Roy SH, Kandarian SC, et al. Effects of muscular fiber-type and size on EMG median frequency and conduction velocity. J Appl Physiol. 1995;79(1):23-32.

Ng JK, Richardson CA, Jull GA. Electromyographic amplitude and frequency changes in the iliocostalis lumborum and mutifidus muscles during a trunk holding test. Phys Ther. 1997;77(9):954-961.

Norris CM. Back Stability. Champaign, IL, Human Kinetics. 2000:62-64.

Perry J. Gait Analysis: Normal and pathological function. New Jersey, Slack Inc., 1992:381-411.

Plamondon A, Trimble K, Larivière C, et al. Back muscle fatigue during intermittent prone back extension exercise. Scand J Med Sci Sports. 2004;14(4):221-230.

Portney LG, Watkins MP. Foundation of Clinical Research: Applications to practice. Appleton & Lange, 1993:432-435.

Roy SH, Bonato P, Knaflitz M. EMG assessment of back muscle function during cyclical lifting. J Electromyogr Kinesiol. 1998;8(4):233-245.

Tecklin. Airway clearance dysfunction. In: Cameron MH, Monroe LG, eds. Physical Rehabilitation: Evidence-based examination, evaluation, and intervention. Canada, Saunders Co., 2007:645.

Thuresson M, Äng B, Linder J, et al. Mechanical load and EMG activity in the neck induced by different head-worn equipment and neck postures. Int J Ind Ergon. 2005;35(1):13-18.

논 문 접 수 일 2009년 8월 3일

논문게재승인일 2009년 9월 10일