

최대 및 최대하 벤치프레스 반복운동 중에 근활성도 및 근피로도의 비교

A Comparison of Muscle Activity and Fatigue Between Maximal and Submaximal Repetitions Exercise During the Bench Press

서 상 원* · 이 호 성*
(Sang-Won Seo · Ho-Seong Lee)

Abstract - The study aim was to investigate a comparison of muscle activity fatigue between maximal and submaximal strength gains during the bench press in men. It was hypothesized that maximal voluntary contraction (%MVC) would similar gains between maximal and submaximal strength gains during the bench press, but median frequency (MDF) would increase in maximal compared with submaximal exercise. Employing a randomized, counterbalanced crossover design, 12 men were asked to perform maximal repetitions and submaximal repetitions (concentric: 1-s, eccentric: 1-s, 2-s/repetition) to failure with a load of 85% of 1RM for the bench press, with a 3-minute recovery between the sets. Each subject was tested for the number of repetitions and sets, total work in bench press. Surface electromyography (EMG) was recorded from the pectoralis major, deltoid anterior, and triceps brachii for %MVC and MDF. Total work was significantly higher in the submaximal repetition exercise than that the maximal repetition exercise ($p < .05$). Muscle fatigue of pectoralis major, deltoid anterior and triceps brachii were significantly smaller in the submaximal repetition exercise than that the maximal repetition exercise ($p < .05$, respectively). However, muscle activity of pectoralis major, deltoid anterior, and triceps brachii were not significantly different between exercises. Our study showed that a smaller muscle fatigue in submaximal repetitions, despite higher in total work and a similar in muscle activity were observed. These results suggest that submaximal repetitions during the bench press would be enhanced intensity and/or volume compared with maximal repetitions exercise.

Key Words : Maximal repetition, Submaximal repetitions, Muscle activity, Muscle fatigue, Bench press

1. 서 론

근전도(electromyogram; EMG)는 근세포가 흥분하여 수축작용을 일으킬 때 운동단위(motor unit)를 통하여 미세한 활동전위를 증폭시켜 나타 낸 것을 말하며[1], 근피로도(muscle fatigue)와 수축시간에 따른 근력의 변화 및 운동단위의 동원유형 등에 대한 분석에 주로 사용되고 있다[2]. 또한, 근전도는 근활성도(muscle activity)를 이용하여 근력 운동의 효과를 알아보기 위한 방법 중 하나이며[3-5], Fleck와 Kraemer는 근수축이 많아질수록 근활성도가 증가 하고, 최대 근력(maximum muscle strength)을 발휘할 때 근활성도는 운동단위의 수 및 충격(impulse)의 발사빈도에 의해 증가하며, 근활성도와 근력 간에는 유의한 상관관계가 있다고 보고하였다. 즉 근활성도가 높으면 운동단위의 활성도가

높아지고 이는 최적의 근력 향상을 유도하기 위해 필수적인 것이라고 하였다[6]. 아울러 Lee는 근육이 수축하면서 생기는 힘을 근력(muscle strength)이라고 하였으며, 근력의 크기는 근수축에 동원되는 근섬유의 수와 근육의 횡단면적에 비례하고, 근활성도와 근피로도의 양상은 근육의 작용 및 종류에 따라 다르게 나타난다고 보고하였다. 특히, 근피로도는 근육의 최대 힘의 발생능력이 감소하는 것으로써[7], 근전도의 주파수 범위(spectrum)의 변화를 이용하여 근수축의 형태를 파악함으로써 근육의 피로도를 추정하는 방법으로 알려져 있다[8]. 따라서 근력의 증가는 근활성도의 증가이고, 근피로도의 증가는 고주파에서 저주파로 범위 이동을 의미한다고 할 수 있다. 근피로도를 유발시킬 정도의 근수축은 일정수준의 근력을 유지하기 위하여 부가적으로 운동단위의 동원을 증가시킨다[9]. 한편, 스포츠현장에서는 운동종목에 따라 근력을 발달시키기 위하여 최대 반복운동(maximal repetitions exercise) 혹은 최대하 반복운동(submaximal repetitions exercise)을 실시하고 있으며, 보디빌딩 선수의 경우는 최대반복운동을, 역도선수의 경우에는 최대 및 최대하 반복 운동을 동시에 사용한다고 보고하였다[10]. 최대 반복운동, 즉 매 세트 시 반복운동을 실패할 때까지의 수행은 성장호르몬 분비의 촉진과 손상의 발생이 빈번하다고 보고하였다[11]. 또한, Folland 등은 최대 반복운

* Corresponding Author : Dept. of Kinesiology Medical Science, Dankook University, Korea

E-mail : hoseh28@dankook.ac.kr

* Dept. of Kinesiology Medical Science, Dankook University, Korea

Received : August 31, 2015; Accepted : March 7, 2016

동은 근피로도의 증가 및 근력 발현이 저하한다고 보고하였다. 따라서 장기간의 훈련 및 시험 전의 최대 반복운동은 근력 증가 및 컨디션 조절에 적합하지 않다고 추측하였다[13, 14]. 반면에 최대 반복운동, 즉 매 세트 시 반복운동을 실패하기 전까지의 수행은 과부하의 방지 및 근골격계의 부상을 예방할 수 있다고 보고하였다[15]. 또한, Izquierdo 등은 42명의 남자 우수운동선수를 대상으로 저항운동 중에 최대 및 최대하 반복운동을 비교한 결과, 1RM(one repetition maximum; 최대반복무게), 근파워 및 최대 반복횟수는 두 집단 모두에서 증가하였고, 인슐린유사 성장인자(insulin-like growth factor; IGF-1)와 단백질과 결합 인슐린유사 성장인자(insulin like growth factor binding protein-3; IGFBP-3) 농도는 최대하 반복운동과 비교해서 최대 반복운동에서 유의하게 변화하였으며, 코티솔(cortisol), 테스토스테론(testosterone) 및 IGFBP-3 농도는 최대 반복운동과 비교해서 최대하 반복운동에서 유의하게 변화하는 것으로 나타났다고 보고하였다. 따라서 체력(근력, 근지구력, 근파워) 및 생리학적 지표는 저항운동의 형태(최대 vs. 최대하)에 따라 다르게 나타날 가능성이 있다고 생각된다. 특히 근력 훈련의 향상 및 효과에 관한 저항운동의 형태는 아직까지도 논쟁의 소지가 많다고 보고되고 있다[15]. 이에 이 연구에서는 최대하 반복운동은 최대 반복운동과 비교하여 근활성도는 낮고, 총운동량은 높지만 근피로도는 낮게 나타날 것이라는 가설을 세우고, 이러한 가설을 검증하기 위하여 실제로 건강한 남자 성인을 대상으로 최대 및 최대하 벤치프레스 반복운동 중에 근활성도 및 근피로도의 변화를 상세히 비교·검토하는데 그 목적이 있다.

2. 연구 방법

2.1 연구 대상

연구대상은 최근 1년 이내, 주 3회 이상의 저항운동 프로그램에 참여한 건강한 남자 성인 12명(age: 27.9±4.9 years; height: 174.2±3.9 cm; weight: 78.2±9.1 kg; body fat: 16.4±5.2%; 1RM: 98.6±15.7 kg)을 선정하였다. 모든 피험자는 현재 질병으로 인해 복용하고 있는 약물은 없으며 실혈관계 질환에 대한 과거력 및 근골격계 질환이 없는 자로 선정하였다. 모든 피험자에게는 이 연구의 취지 및 내용을 충분히 설명하여 참가 동의를 받았으며, 각 피험자에게는 실험 기간 중에 개인적인 격렬한 신체활동, 약제복용 및 음주를 금지시켰다.

2.2 측정 절차 및 측정 항목

2.2.1 측정 절차

모든 피험자는 최대 및 최대하 반복운동 전에 동일한 검사자에 의해 신체조성을 측정하였으며, 부위별(큰가슴근, 앞쪽어깨세모근, 위팔세갈래근) 최대 수의적 등척성 수축력(maximum voluntary isometric contraction : MVIC) 및 벤치프레스 1RM을 측정하였다. 최대하 반복운동은 1RM의 85% 강도에서 1회 반

복 시 2초(단축성 수축 1초, 신장성 수축 1초) 동안에 수행한 반복횟수를 산출하였다. 최대 및 최대하 벤치프레스 반복운동은 무선할당을 이용한 교차설계 방식으로 각각 7일간의 간격을 두고 수행하였다. 최대 반복운동은 1RM의 85% 강도에서 최대한 할 수 있는 반복횟수를 총 5세트, 세트 간에 휴식시간 3분으로 설정하여 실시하였으며[16], 최대하 반복운동은 1RM의 85% 강도에서 사전 운동을 통해 산출된 반복횟수를 1회 반복 시 2초안에 수행하도록 하였다. 세트 수와 세트 간의 휴식시간은 최대 반복운동과 동일하게 설정하였다. 근전도 신호는 근활성도(maximal voluntary contraction : %MVC), 근피로도(median frequency : MDF) 및 총운동량(total work)을 기록하였다. %MVC는 최대 및 최대하 벤치프레스 운동 시 발현된 근전도 값을 사전에 측정된 MVIC에 대비하여 추출하였고, MDF는 최대 및 최대하 벤치프레스 운동 시 발현된 근전도 값을 수집하였다. 또한, 최대 및 최대하 반복운동을 비교하기 위하여 Fleck와 Kraemer의 선행연구에서 사용한 반복횟수와 중량부하에 근거한 총 운동량(세트 × 반복횟수 × 중량)을 산출하였다.

2.2.2 측정 항목

2.2.2.1 MVIC

본 실험에 앞서 근전도 자료의 표준화 작업을 위하여 각 피험자의 근육별 MVIC를 측정하였다[17]. 큰가슴근(pectoralis major)은 어깨와 등을 고정하고 하늘을 향해 누워 팔을 90°를 유지한 자세에서 측정하였고, 앞쪽어깨세모근(deltoid anterior)은 등을 고정시키고 앉은 자세를 취한 다음에 양팔을 90°의 어깨 높이로 올린 후에 측정하였다. 위팔세갈래근(triceps brachii)은 팔꿈치와 몸통을 안정적으로 고정한 후에 벤치 앞에 앉거나 무릎을 꿇어 고정시킨 다음에 팔꿈치를 90°로 굴곡 및 고정시킨 후에 측정하였다. 각 근육별 MVIC는 3초 동안에 3번씩 측정하여 최대값을 실측치로 하였다.

2.2.2.2 벤치 프레스 1RM

벤치프레스 1RM은 Thomas 등의 연구에서 사용한 직접측정 방법으로 실시하였으며, 벤치프레스 동작은 바벨을 이용한 프리웨이트로 설정하였다. 준비운동은 유산소운동 및 스트레칭을 10분간 실시하였고, 벤치프레스는 1RM 40~60%의 강도에서 8~10회 정도를 실시하였다. 그리고 나서 1분간 휴식을 취한 후에 1RM 60~80%의 강도에서 3~5회 정도 반복하고 3~5분간의 휴식을 하였다. 세트마다 5~10kg을 증가시켜 1회만 반복할 수 있을 때까지 측정하였으며 만약 실패하였을 경우 3~5분간 휴식을 취하고, 약 2~5kg 또는 2.5% 정도씩 감소 혹은 증가시켜 정확한 자세로 1회만 들어 올릴 때까지 측정하였다. 단, 피험자의 이상적인 1RM을 측정하기 위하여 5세트 내에서 결정하였다.

2.2.2.3 근전도 분석

각 피험자 근육의 근활성도를 측정하기 위하여 무선 근전도기

기(Trigno™ wireless system 4.0, Delsys Inc, USA, sampling frequency = 2000Hz, gain = 1000, input impedance > 1015 Ω, CMRR > 80 dB)의 3개 채널을 사용하였다. 전파 정류된 신호는 10~450 Hz 범위의 대역 필터(bandpass filter)를 사용하여 필터링하였다. 무선 근전도기기의 표면전극은 SENIAM(Surface Electromyography for Non-Invasive Assessment of Muscle)에서 제안하는 권고사항에 따라 큰가슴근, 앞쪽어깨세모근 및 위팔세갈래근에 부착하였으며, 큰가슴근은 복장뼈와 앞쪽 겨드랑이 사이의 중간 지점에, 앞쪽어깨세모근은 빗장뼈의 전면과 어깨봉우리의 전면 가장자리에서 손가락 3개 너비의 아래 지점에, 그리고 위팔세갈래근은 옆드린 자세에서 어깨관절을 90° 외전 시킨 자세에서 겨드랑주름 후면에서 손가락 4개의 너비에 각각 부착 하였다(그림 1). 또한, 신호 간섭으로 인한 노이즈를 최소화하기 위하여 사전 증폭기가 설치된 표면전극을 사용하였으며, 전극 부착부위는 피부의 각질제거를 위하여 알코올을 이용하여 깨끗이 소독한 후에 근섬유의 방향과 평행하게 부착하였다. 최대 및 최대하 반복운동 간에 발생한 근육의 활성도를 파악하기 위해서 벤치프레스 운동 시 근육이 발현되는 파형을 각각 분석하여 산출하였다(그림 2).

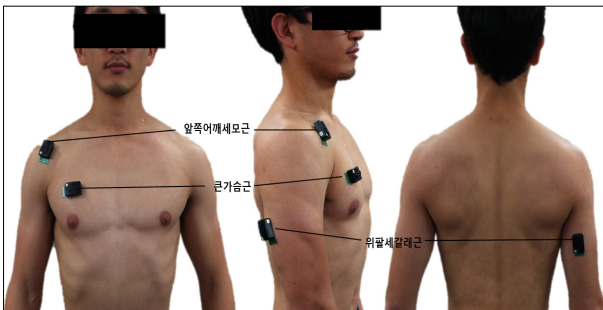


그림 1 전극 부착 부위
Fig. 1 The position of EMG electrode

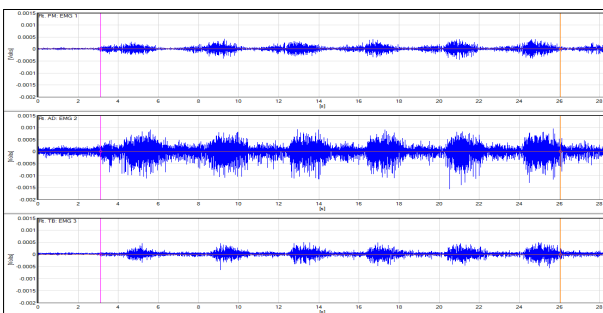


그림 2 근육 발현 파형
Fig. 2 The muscle onset waveform

산출된 근전도 파형을 RMS(root mean square) 값으로 도출한 후 사전에 측정된 MVIC에 각 근육을 대비하여 %MVC 값으로 정량화하였다[19]. 또한, 근육의 피로도가 발생하였는지를 파악하기 위해서 근전도 신호의 median frequency(MDF)를 분석하

였다. MDF를 측정하기 위해 1회 동작 전체구간에 대한 EMG 신호를 fast fourier transform(FFT) 처리한 뒤에 power spectrum density(PSD)를 계산하고, PSD의 값을 동일하게 배분 할 수 있는 중앙 주파수 값을 산출하였다. 각각의 운동형태 간에 세트 당 수행한 첫 번째 반복횟수의 근전도 값과 마지막 반복횟수의 근전도 값에 감소율을 이용하여 분석하였다. 모든 근전도 값의 측정 데이터는 EMGworks®Analysis (Software Version 4.0, Delsys Inc, USA)에서 분석하였다. 실험실의 내부 환경은 온도 23~25°C, 습도 50%로 유지하였다.

2.3 자료처리 방법

이 연구는 통계프로그램 SPSS window 18.0 version을 이용하여 각 변인들의 평균과 표준편차를 산출하였다. 최대 및 최대하 벤치프레스 반복운동 및 시기 간에 근활성도 및 근피로도 값을 검증하기 위해 반복이 있는 이원분산분석(Two-way repeated ANOVA)을 실시하였으며, 사후검증은 LSD 방법을 적용하였다. 또한, 최대 및 최대하 벤치프레스 반복 운동에 따른 총 운동량의 값을 비교하기 위해 t-test를 실시하였다. 모든 통계적 유의 수준 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

3. 결과 및 논의

3.1 근활성도의 변화

근활성도의 변화는 그림 3에 제시한 바와 같으며, 큰가슴근, 앞쪽어깨세모근 및 위팔세갈래근의 근활성도는 저항운동의 형태(최대 vs. 최대하) 및 시기(세트) 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다. Welsch와 Mayhew는 동일한 부하의 바벨과 덤벨 벤치프레스 운동을 비교한 결과, 큰가슴근과 어깨세모근의 근활성도는 운동 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다고 하면서, 근활성도는 운동의 종류의 차이가 아니라 설정된 부하가 영향을 미친다고 보고하였다. 이 연구에서 근육별 근활성도는 저항운동의 형태 및 시기 간에 차이가 나타나지 않은 이유는 저항운동 형태를 제외하고 운동 강도, 세트 수 및 휴식시간이 동일하게 설정되었기 때문인 것으로 생각된다. 한편, Izquierdo 등은 1RM의 80% 부하로 저항운동을 수행한 최대 반복운동은 근육 손상에 영향을 미치며, 다음 세트에서 수행 속도와 힘(force) 생산의 감소를 유발할 수 있다고 보고하였다. 이 연구에서 최대 반복운동은 세트가 진행됨에 따라 근활성도가 점점 감소하는 경향을 보였으며, 이러한 결과는 최대 반복운동이 근육 손상에 영향을 주었다는 선행 연구의 주장을 지지하는 것으로 생각된다. 즉 최대 반복운동은 세트가 진행됨에 따라 반복횟수가 감소하였기 때문에 근활성도 또한 감소한 것으로 생각된다. 반면에 최대하 반복운동은 세트 간에 근활성도가 비슷한 경향을 보였다. 이것은 세트 간에 반복횟수를 동일하게 유지하였기 때문에 근활성도 또한 세트 간에 비슷하게 나타났다고 생각된다. 이와 같이 저항운동 형태에 따른 근활성도의 결과는 세트 간에 반복횟수가, 근육별 근활성도는 설정된 부하 및 강도에 따라 영향을 미치는 것으로 생각된다.

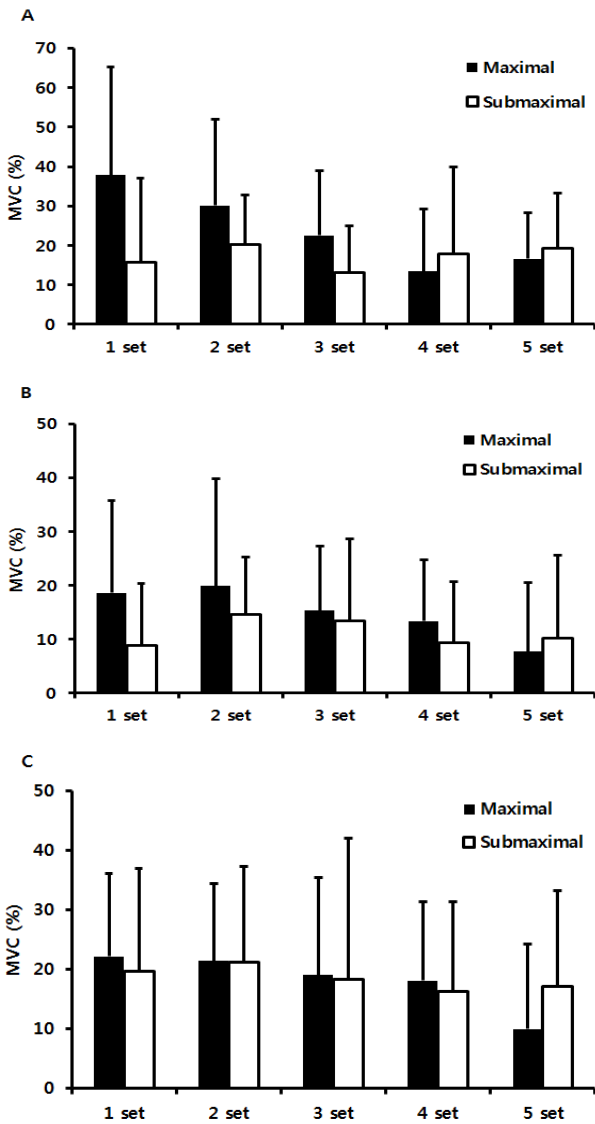


그림 3 최대 및 최대하 벤치프레스 반복운동의 근활성도 변화. A: 큰가슴근, B: 앞쪽어깨세모근, C: 위팔세갈래근
 Fig. 3 Changes in the % MVC between set during 85% of 1RM the bench press. A: pectoralis major, B: deltoid anterior, C: triceps brachii

3.2 근피로도의 변화

근피로도의 변화는 그림 4에 제시한 바와 같으며, 큰가슴근 ($F=15.154, p=.003$)과 앞쪽어깨세모근($F=4.821, p=.050$)의 근피로도는 최대 반복운동과 비교하여 최대하 반복운동에서 유의하게 낮게 나타났으며, 위팔세갈래근($F=5.549, p=.038$)의 근피로도는 최대 반복운동과 비교하여 최대하 반복운동에서 유의하게 높게 나타났다. Thomasson과 Comfort는 근피로의 누적은 근력의 손실을 야기한다고 하였으며, 최대 반복운동으로 발생한 근피로는 하나의 근육이 유발할 수 있는 힘을 감소시킨다고 보고하였다[12].

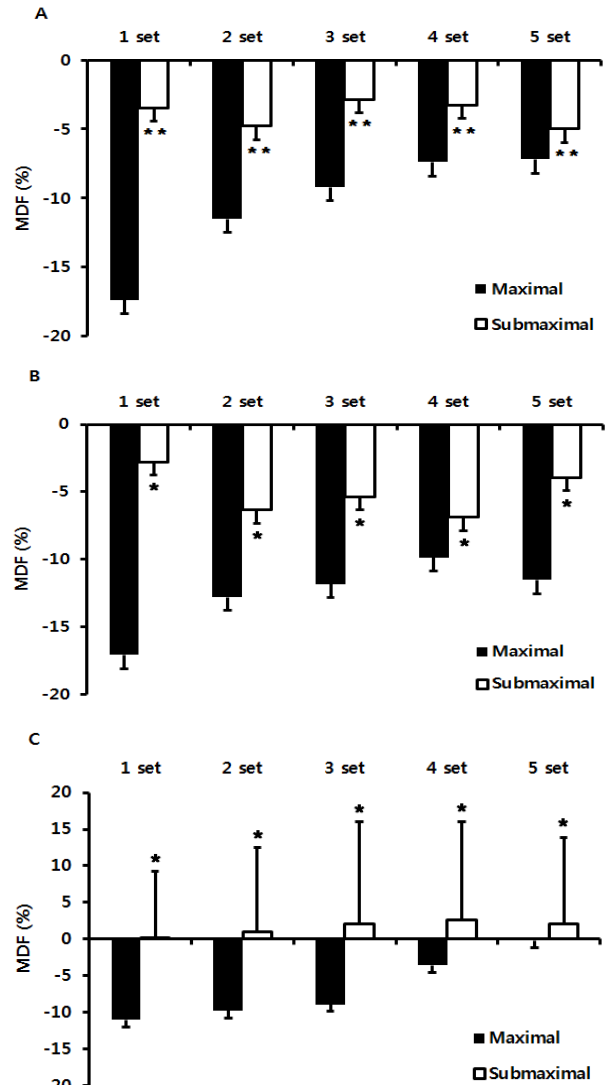


그림 4 최대 및 최대하 벤치프레스 반복운동의 근피로도 변화. A: 큰가슴근, B: 앞쪽어깨세모근, C: 위팔세갈래근
 Fig. 4 Changes in the MDF between set during 85% of 1RM the bench press. A: pectoralis major, B: deltoid anterior, C: triceps brachii. Values are mean \pm SD * $p<.05$ vs Maximal, ** $p<.01$ vs Maximal

또한, Kraemer와 Ratamess는 저항운동 시 과도한 근피로는 생리학적인 적응보다 스트레스를 유발시켜서 전반적인 근기능과 운동 수행능력을 저하시킨다고 보고하였으며, Leveritt 등의 연구에 의하면 지구력운동으로 누적된 근피로는 근신경계의 능력 및 근력의 양이 감소되어 근력훈련의 질을 저하시킬 수 있다고 보고하였다. 따라서 근력 및 근파워를 향상시키기 위해서는 적절한 운동 강도와 최대 스피드를 이용하여 근피로가 오기 전까지 훈련하는 것이 효과적이라고 하였다[11]. 또한, Bompa는 저항운동에서 운동의 수행속도가 떨어지는 시점의 반복횟수까지만 실시해야 한다

고 보고하였다. 이 연구에서 최대 반복운동은 세트가 진행될수록 근피로의 누적으로 근피로도는 감소하였다. 즉 세트가 진행되면서 발생한 근피로로 인하여 운동 수행에 영향을 주어 반복횟수가 감소한 결과라고 생각된다. 반면에 최대하 반복운동은 세트 간에 근피로도가 유사한 결과를 보였다. 이러한 결과는 세트가 진행되면서 반복횟수를 유지하였기 때문이라고 생각된다. Folland 등은 피로 및 대사산물의 축적은 근력 증가에 중요한 자극이 되지 않으며, 저항 운동 시 심한 불편함과 근피로 없이도 효과적 일 수 있다고 보고하였다. 따라서 이 연구에서는 최대하 반복운동이 세트 간에 근피로의 누적을 감소시켰으며, 근력의 손실을 최소화하였다고 생각된다.

3.3 운동량의 변화

총 운동량의 변화는 그림 5에 제시한 바와 같으며, 총 운동량은 최대 반복운동과 비교하여 최대하 반복운동에서 유의하게 높게 나타났다($p=.040$). Vøllestad는 저항운동 시 근피로는 근력 발달과 총 운동량에 영향을 미친다고 보고하였다. 이 연구에서 총 운동량이 최대하 반복운동에서 높게 나타난 이유는 최대 반복운동이 세트가 진행됨에 따라 보다 피로가 누적되어 근력 손실이 유발된 결과이며 [11], 또한 세트가 진행될수록 반복횟수가 감소하여 총 운동량이 낮게 나타났기 때문인 것으로 생각된다. 즉 이 연구에서의 최대 반복운동 중에 1세트부터 5세트까지의 평균은 6.2회, 4.3회, 3.4회, 2.5회, 그리고 5세트는 1.8회로 점진적으로 감소하는 것으로 나타났다. 반면에 최대하 반복운동은 1세트부터 5세트까지 평균 3.9회로 세트가 진행되는 동안에 반복횟수 및 운동량을 유지하였다. 선행연구에 의하면, 최대하 반복운동은 고강도(1RM의 85%)와 저강도(1RM의 65%)에서도 반복횟수(3세트) 및 총 운동량이 유지되었다고 보고하였다 [27]. 이 연구에서는 1RM의 85% 최대하 반복운동에서 5세트의 반복횟수도 세트 간에 운동량이 저하되지 않았다는 사실을 확인하였다. 향후에는 최대하 반복운동의 운동량이 저하하는 세트 수를 연령 및 운동경력 등과 관련하여 검증할 필요가 있다고 생각된다.

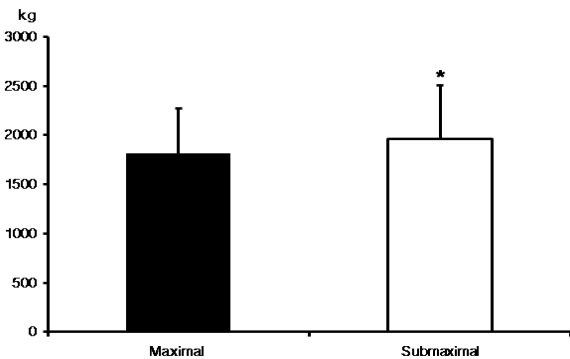


그림 5 최대 및 최대하 벤치프레스 반복운동의 총 운동량 변화
Fig. 5 Changes in the total work during 85% of 1RM the bench press. Values are mean \pm SD * $p<.05$ vs Maximal

4. 결 론

이 연구에서는 최대 및 최대하 벤치프레스 반복운동 중에 근활성도, 근피로도 및 총 운동량을 비교한 결과, 최대 반복운동과 비교해서 최대하 반복운동은 근활성도는 유사하게 나타났고, 총 운동량은 높게 나타났으나 근피로도는 낮게 나타났다. 따라서 최대하 벤치프레스 반복운동은 최대 반복운동에 비해 운동 강도 내지는 양을 증가시킬 수 있을 가능성이 시사되었다.

References

- [1] H. Y. Lee, "A Study on Muscle Activity and Fatigue Change Pattern on Shot Time Isometric Works", Master's Thesis, University Seoul industry Graduate School, 2006.
- [2] H. M. Gu, W. S. Chae, N. J. Kang, C. J. Yoon and J. I. Jang, "Comparative analysis of muscle activity and ground reaction force between skilled and unskilled player during a free throw", Korean Journal of Sport Biomechanics, vol. 19, no. 2, pp. 347-357, June 2009.
- [3] L. L. Andersen, C. H. Andersen, O. S. Mortensen, O. M. Poulsen, I. B. Bjornlund, and M. K. Zebis, "Muscle activation and perceived loading during rehabilitation exercises, Comparison of dumbbells and elastic resistance", Physical Therapy, vol. 90, pp. 538-549, April 2010.
- [4] D. Farina, R. Merletti, and R. M. Enoka, "The extraction of neural strategies from the surface EMG", Journal of Applied Physiology, vol. 96, pp. 1486-1495, April 2004.
- [5] M. K. Zebis, J. Bencke, L. L. Andersen, T. Alkjaer, C. Suetta, P. Mortensen, M. Kjaer and P. Aagaard, "Acute fatigue impairs neuromuscular activity of anterior cruciate ligament-agonist muscles in female team handball players", Scandinavian Journal of Medical Science in Sports, vol. 21, no. 6, pp. 833-840. December 2011.
- [6] S. J. Fleck and W. J. Kraemer, Designing resistance training program 4th edition. Campaign: Human Kinetics, 2014.
- [7] B. Bigland-Ritchie, E. F. Donovan and C. S. Roussos, "Conduction velocity and EMG power spectrum changes in fatigue of sustained maximal efforts", Journal of Applied Physiology, vol. 51, pp. 1300-1305, November 1981.
- [8] M. M. Lowery and M. J. O'Malley, "Analysis and Simulation of Changes in EMG Amplitude During High-Level Fatiguing Contractions", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 50, no. 9, pp. 1052-1062, September 2003.
- [9] G. R. Hunter, J. P. McCarthy and M. M. Bamman, "Effects of resistance training on older adults", Sports Medicine, vol. 34, no. 5, pp. 329-348, April 2004.
- [10] J. M. Willardson, "The application of training to failure in periodized multiple-set resistance exercise programs", Journal of Strength Conditioning Research,

- vol. 21, pp. 628-631. May 2007.
- [11] M. Izquierdo, J. J. González-Badillo, K. Hakkinen, J. Ibáñez, W. J. Kraemer, A. Altadill, J. Eslava and E. M. Gorostiaga, "Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions", *International Journal of Sports Medicine*, vol. 27, no. 9, pp. 718-24, September 2006.
- [12] J. P. Folland, C. S. Irish, J. C. Roberts, J. E. Tarr, and D. A. Jones, "Fatigue is not a necessary stimulus for strength gains during resistance training", *British Journal of Sports Medicine*, vol. 36, no. 5, pp. 370-373, October 2002.
- [13] M. Izquierdo-Gabarren, R. Gonzalez De Txabarri Exposito, J. Garcia-Pallares, L. Sanchez-Medina, E. S. De Villareal and M. Izquierdo, "Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains", *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 42, no. 6, pp. 1191-1199, June 2010.
- [14] E. J. Drinkwater, T. W. Lawton, R. P. Lindsell, D. B. Pyne, P. H. Hunt and M. J. McKenna, "Training leading to repetition to failure enhances bench press strength gains in elite junior athletes", *Strength & Conditioning Research*, vol. 19, pp. 382-388, May 2005.
- [15] E. Sundstrup, M. D. Jakobsen, C. H. Andersen, M. K. Zebis, O. S. Mortensen and L. L. Andersen, "Muscle activation strategies during strength training with heavy loading vs. repetitions to failure", *Journal of Strength & Conditioning Research*, vol. 26, no. 7, pp. 1897-1903, July 2012.
- [16] J. M. Willardson and L. N. Burkett, "The effect of rest interval length on the sustainability of squat and bench press repetitions", *Journal of Strength Conditioning Research*, vol. 20, no. 2, pp. 400-3, May 2006.
- [17] J. R. Cram, "The history of surface electromyography", *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, vol. 28, no. 2, pp. 81-91, June 2003.
- [18] G. A. Thomas, W. J. Kraemer, B. A. Spiering, J. S. Volek, J. M. Anderson and C. M. Maresh, "Maximal power at different percentages of one repetition maximum: influence of resistance and gender", *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 21, no. 2, pp. 336-342, May 2007.
- [19] R. A. Ekstrom, R. A. Donatelli and G. L. Soderberg, "Surface electromyographic analysis of exercises for the trapezius and serratus anterior muscles", *Journal of orthopedic & Sports Physical Therapy*, vol. 33, no. 5, pp. 247-258, May 2003.
- [20] E. A. Welsch, M. Bird and J. L. Mayhew, "Electroimyographic activity of the pectoralis major and anterior deltoid muscle during three upper body lifts", *Journal of Strength Conditioning Research*, vol. 19, no. 2, pp. 449-452, May 2005.
- [21] M. Izquierdo, J. Ibáñez, J. J. González-Badillo, K. Hakkinen, N. A. Ratamess, W. J. Kraemer, D. N. French, J. Eslava, A. Altadill, X. Asiain and E. M. Gorostiaga, "Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains", *Journal of Applied Physiology*, vol. 100, pp. 1647-1656, May 2006.
- [22] M. L. Thomasson and P. Comfort, "Occurrence of fatigue during sets of static squat jumps performed at a variety of loads", *Journal of Strength Conditioning Research*, vol. 20, pp. 396-399, March 2012.
- [23] W. J. Kraemer and N. A. Ratamess, "Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training", *Sports Medicine*, vol. 35, no. 4, pp. 339-61, April 2005.
- [24] M. Leveritt, P. J. Abernethy, B. K. Barry and P. A. Logan, "Concurrent strength and endurance training: A review.", *Sports Medicine*, vol. 28, no. 6, pp. 413-27, December 1999.
- [25] T. O. Bompa, *Power Training for sport: Plyometric for Maximum power Development*, Oakville-New York-London, Coaching Association of Canada/Mosaic Press, 1993.
- [26] N. K. Vøllestad, "Measurement of human muscle fatigue", *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 74, no. 2, pp. 219-227, June 1997.
- [27] K. S. Yoo, S. S. Ko, "Optimal repetition for muscle power, IEMG, MPF, and total work during bench press with exercise intensities", *Korean Association Of Certified Exercise Professionals*, vol. 14, no. 4, pp. 1-11, October 2012.

저 자 소 개



서 상 원 (Sang-Won Seo)

2010년 충주대학교 스포츠학 졸업. 2012년 동 대학원 스포츠의학 졸업(석사). 2014년~현재 단국대학교 일반대학원 운동의과학과 박사 과정.

E-mail : jjangbelly@naver.com



이 호 성 (Ho-Seong Lee)

1991년 단국대학교(천) 체육학과 졸업. 2000년 쓰쿠마 대학교 스포츠건강과학 졸업(석사). 2003년 동 대학원 스포츠의학 졸업(석사). 2005년 동 대학원 스포츠의학(박사). 2006년~현재 단국대학교 일반대학원 운동의과학과 부교수.

Tel : 041-550-3838

E-mail : hoseh28@dankook.ac.kr