KJAB
Korean Journal of Applied Biomechanics 2025; 35(2): 76-87
http://dx.doi.org/10.5103/KJAB.2025.35.2.76
http://e-kjab.org eISSN 2093-9752
ORIGINAL

Comparison of Kinematic Variables of the Body, Weight Load, and Muscle Activation between Barbell and Machine Conditions during the Standing Overhead Press

스탠딩 오버헤드 프레스 시 바벨과 머신 조건 간 신체 및 중량 부하의 운동학적 변인과 근 활성도 비교

Seung-Ki An[1], Young-Tae Lim[2,3], Moon-Seok Kwon[2], Jae-Woo Lee[2]

[1]Department of Sports Science, Graduate School of Konkuk University, Chungju, South Korea
[2]Sports Convergence Institute, Konkuk University, Chungju, South Korea
[3]College of Biomedical & Health Science, Golf Industry Major, Konkuk University, Chungju, South Korea

Received : 20 March 2025
Revised : 21 April 2025
Accepted : 22 April 2025

Corresponding Author
Jae-Woo Lee
Sports Convergence Institute, Konkuk University, ChungwonDaero, Chungju-si, Chungchongbuk-do, 27478, South Korea
Email : jwlee1143@naver.com

Objective: This study aimed to compare kinematic variables of the body, weight load, and muscle activation between barbell and machine conditions during the standing overhead press (SOHP).

Method: Fourteen males with resistance training experience participated in this study. Participants performed the SOHP under both barbell and machine conditions at 70% of their one-repetition maximum (1-RM). Three-dimensional motion capture (250 Hz) and surface electromyography (2,000 Hz) were used to analyze the range of motion (ROM) of the shoulder, elbow, and trunk and muscle activation, respectively. Eight muscles were measured: anterior deltoid, middle deltoid, posterior deltoid, upper trapezius, lower trapezius, triceps brachii long head, rectus abdominis, and erector spinae. Paired *t*-tests were used to compare kinematic variables of the body, weight load and muscle activation between the barbell and machine conditions.

Results: During the SOHP, the barbell condition showed a significantly greater range of motion in the shoulder, elbow joints, and trunk compared to the machine condition during both the ascending and descending phases. Additionally, the barbell condition demonstrated a significantly larger movement range in the anterior-posterior and superior-inferior directions. In terms of muscle activation, the triceps brachii long head, erector spinae, and lower trapezius exhibited significantly higher activity in the barbell condition. In contrast, the anterior deltoid and rectus abdominis showed significantly greater activation in the machine condition. No significant differences were observed between the two conditions for the middle deltoid, posterior deltoid, and upper trapezius (p>.05).

Conclusion: During the performance of the Standing Overhead Press (SOHP), using a machine may be more appropriate for maximizing the effectiveness of resistance training by specifically targeting the anterior deltoid through a reduced range of motion in the shoulder joint. In contrast, if the goal is to enhance the overall muscular function of the upper extremities and trunk, using a barbell would likely be more effective.

Keywords: Standing overhead press, Barbell, Weight machine, Surface electromyography

Copyright © 2025 Korean Journal of Applied Biomechanics
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCTION

스탠딩 오버헤드 프레스(standing overhead press, SOHP)는 선 자세(standing position)에서 바벨과 덤벨과 같은 중량물을 머리 위로 밀어 올리는 동작으로, 어깨 관절 주변 근육의 근력 및 근비대 향상을 목적으로 수행되는 대표적인 다관절성 저항 운동이다(Kroell & Mike, 2017; Lee, Lim, Jeong & Nam, 2018). SOHP는 어깨 관절의 굴신 및 내외전 그리고 팔꿈치 관절의 굴신 운동을 동반하는 동작으로, 상지 관절의 근골격계 기능 향상을 위해 이용되는 저항성 운동 중 하나이다(Coratella, Tornatore, Longo, Esposito & Cè, 2022). SOHP 수행 시 몸통 근육들은 상하 방향으로 중량 부하를 안정적으로 이동시키기 위한 자세 안정성을 유지하는데 중요한 기능을 담당한다(Padovan et al., 2024; Rippetoe & Kilgore, 2017). 특히, 등받이를 이용하여 자세 안정성을 확보한 상태에서 수행하는 시티드 오버헤드 프레스(seated overhead press)와 달리, SOHP는 신체를 지지하지 않은 상태에서 중량을 중력의 반대 방향으로 반복적으로 밀어 올려야 하므로, 척추를 지지하는 몸통의 전면과 후면 근육들이 동원된다. 이러한 특징으로 인해 SOHP는 어깨 근육뿐만 아니라 몸통 근육을 강화하는데 효과적인 운동으로 이용되고 있다(Michael & Andre, 2000; Padovan et al., 2024).

저항성 운동은 일반적으로 프리 웨이트(free weight) 방법과 머신(machine)을 이용하는 방법으로 구분된다(Kraemer & Ratamess, 2004; NSCA-National Strength & Conditioning Association, 2021). 이 두 가지 방법은 운동의 목적 및 강도와 운동참여자들의 숙련도에 따라 선택할 수 있다. 프리 웨이트는 바벨 및 덤벨 등을 이용하며, 중량 부하가 고정되지 않고 자유로운 운동범위를 가지는 불안정한 조건에서 동작이 수행되기에 자세를 안정적으로 유지하기 위한 몸통 안정근의 동원과 전신 협응이 더 요구되는 방법이다(Haugen et al., 2023). 따라서 프리 웨이트는 비교적 숙련도를 요구하는 저항 운동 방법이지만 전신 협응을 통한 기능적 움직임을 향상시킬 수 있다. 반면, 머신은 운동 기구의 고정된 축에 지지하여 중량 부하를 이동시키기에 비교적 안정적인 조건에서 저항 운동을 수행할 수 있으며, 해당 운동의 주동근 동원에 더욱 집중할 수 있다. 이 때문에 특정 단일 근육의 고립 운동을 목적으로 하거나, 운동 초보자들이 프리 웨이트 운동 참여 전에 기초 근력을 향상시키기 위한 안전한 운동 방법으로 이용된다.

이와 같이 프리 웨이트와 머신 운동이 가지는 다른 특징으로 인해 효율적인 저항 운동 방법을 규명하기 위한 두 운동법을 비교하는 연구가 지속되어왔다. 특히, 운동역학적 접근을 통해 프리 웨이트와 머신을 비교하는 연구가 진행되었는데, 대부분 스쿼트, 벤치 프레스 동작에 한정된다(Coratella, Tornatore, Longo, Esposito & Cè, 2020; Cotterman, Darby & Skelly, 2005; Kaardal, 2019; Schick et al., 2010; Schwanbeck, Chilibeck & Binsted, 2009). SOHP에 대한 선행연구는 주로 앉은 자세에서 수행하는 시티드 오버헤드 프레스 동작이며, 무게 부하의 종류, 그립의 형태, 프리 웨이트와 머신 간에 근활성도를 비교하는 연구에 중점을 두고 있다(Błażkiewicz & Hadamus, 2022; Padovan et al., 2024). 이처럼 SOHP 수행 시 프리 웨이트와 머신을 비교하는 연구는 부족한 실정인데, 이는 SOHP 수행이 가능한 머신의 부재 때문으로 생각된다.

피트니스 기구의 발달로 효율적인 머신이 지속적으로 개발되고 있는 가운데, 최근 '바이킹 프레스(Viking Press)'라 불리는 SOHP 머신이 개발되었다. 기존의 오버헤드 프레스 머신은 앉은 자세에서 등받이에 몸통을 지지한 채 수행하는 시티드 오버헤드 프레스 기반의 머신을 주로 이용하는데, SOHP 머신은 선 자세에서 오버헤드 프레스 동작을 수행할 수 있도록 설계되었으며, 양발이 지면에 고정된 상태에서 동작이 수행되는 닫힌사슬 기반(CKC)의 운동이기 때문에 프리 웨이트 운동과 유사성을 가질 것으로 보인다. 이 때문에 머신을 이용한 SOHP 시 주동근뿐만 아니라 협력근 및 몸통 근육의 활성화에 변화가 있을 것으로 예상되며, 머신의 특성상 고정된 축을 중심으로 일정한 운동이 가능하기에 안정적인 오버헤드 프레스 동작을 통한 어깨 주변 근육의 발달을 기대해볼 수 있다. 따라서 프리 웨이트인 바벨을 이용한 SOHP와 머신 SOHP 간의 비교를 통해 어깨 및 몸통 근육의 트레이닝 효과성을 비교 검증할 필요가 있다.

이에 본 연구는 SOHP 수행 시 바벨과 머신 조건 간 신체와 중량 부하의 운동학적 자료와 주요 근육군의 활성도를 비교 분석하고자 한다. 이를 통해 웨이트 트레이닝 코치 및 운동참여자들에게 보다 효율적인 SOHP 운동 방법에 대한 과학적 근거자료를 제시하는데 목적이 있다.

METHOD

1. 연구참여자

본 연구는 최근 12개월 내에 근골격계 부상 이력과 신체 좌우 불균형이 없는 성인 남성 14명이 참여하였다(Table 1). 본 연구참여자는 고강도의 저항성 트레이닝을 일주일에 3회 이상 수행하고, 최소 1년 이상 지속한 숙련자이며, 스탠딩 오버헤드 프레스(standing overhead press, SOHP)를 안정적으로 수행이 가능한 인원을 선정하였다. 본 연구는 연구참여자의 주요 관절 및 분절과 다리 길이 등의 좌우 비교를 통해 신체 좌우 불균형 여부를 평가하였고, 실험 과정에서 스탠딩 오버헤드 프레스 시 신체 좌우 동적 불균형이 발생한 인원은 이상치(outlier)로 간주하여 자료 분석에서 제외하였다.

본 연구의 프로토콜은 헬싱키 선언(2004년 도쿄 개정판)의

Table 1. Physical characteristic of participants

Variables (unit)	Participants (*n* = 14)				
	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	B-SOHP 1-RM (kg)	M-SOHP 1-RM (kg)
Mean ± *SD*	23.25±1.50	173.32±3.02	68.07±5.51	49.64±12.48	79.82±16.65

Note. Abbreviation. barbell overhead press (B-SOHP), machine overhead press (M-SOHP), 1RM (1-repetition maximum)

조항을 준수하여 실행되었으며, 모든 연구참여자는 연구목적과 절차에 대해 설명을 들은 뒤, 서면 동의서에 동의한 인원에 한해서 본 연구에 참여하였다.

2. 실험 방법 및 절차

본 연구참여자는 스판덱스(spandex) 소재의 실험복으로 환복한 뒤, 실험 중에 근골격계 손상을 예방하기 위해 약 10분간 충분한 스트레칭과 스탠딩 오버헤드 프레스(standing overhead press, SOHP)의 예비 동작을 통해 준비 운동을 실시하였다. 준비된 연구참여자는 Vicon사에서 제공하는 Plug-In-Gait Model을 기반으로 신체 주요 관절 및 분절에 47개의 15 mm 반사마커(reflective marker)를 부착하였고<Figure 1>, SOHP 수행 시 사용될 바벨(barbell)의 좌·우 끝 지점과 SOHP 머신의 저항 부하로 작용하는 그립(grip) 주변에 추가로 반사마커를 부착하였다. 무선 근전도 센서는 부착 부위를 제모 및 알코올 솜으로 소독한 뒤, 총 8채널의 표면 전극을 SOHP 운동의 주요 근육군에 부착하였다. 무선 근전도 센서의 부착 위치는 전면 삼각근(anterior deltoid, AD), 중간 삼각근(middle deltoid, MD), 후면 삼각근(posterior deltoid, PD), 상부 승모근(upper trapezius, UT), 하부 승모근(lower trapezius, LT), 상완삼두근 장두(Triceps brachii long head, TL), 복직근(rectus abdominis, RA), 척추기립근(erector spinae, ES)에 부착하였으며(Kim et al., 2021), 본 연구참여자가 좌·우 신체 불균형이 없고, 주동팔이 오른 팔이기에 모든 근전도 센서는 신체 우측에 부착하였다(Figure 1).

이후, Vicon사에서 제공하는 Active Wand를 이용하여 캘리브레이션(calibration)을 실시했으며, X축은 좌우(medial-lateral, ML) 방향, Y축은 전후(anterior-posterior, AP) 방향, Z축은 수직(vertical, VT) 방향으로 전역좌표계(global reference)를 설정하였다. SOHP 수행 시 신체 주요 관절 및 분절과 바벨, 머신에 부착된 반사마커의 위치 데이터는 8대의 적외선 모션캡쳐 카메라(MX-T10S, Vicon, USA)를 이용하여 수집하였고(sampling rate: 250 Hz), 근 활성도는 총 8채널의 무선 근전도 센서(wireless surface EMG system, Delsys, USA)를 이용하여 측정하였다(sampling rate: 2,000 Hz).

본 연구에서 SOHP 수행 시 사용한 바벨은 일반적인 저

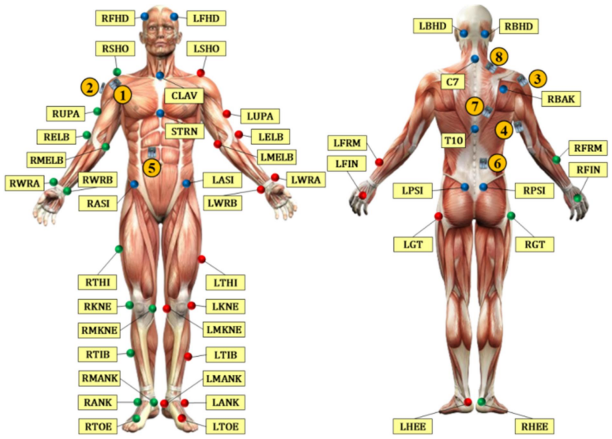

Figure 1. Reflective marker placement based on the plug-in-gait model and wireless surface electromyography (EMG) placement. EMG1: anterior deltoid (AD) EMG2: lateral deltoid (LD), EMG3: posterior deltoid (PD), EMG4: Triceps Long head (TL), EMG5: rectus abdominis (RA), EMG6: erector spinae (ES), EMG7: lower trapezius (LT), EMG8: upper trapezius (UT).

항성 훈련에서 사용되는 올림픽 바(length: 2,200 mm, mass: 20 kg)를 이용하였다. 머신은 선 자세에서 양 팔이 독립적으로 오버헤드 프레스 동작이 가능하며, 회전축으로부터 중량 원판(저항점), 그립(힘점) 위치 순으로 제작된 2종 지레 형태의 머신을 이용하였다(Figure 2).

연구참여자는 SOHP 수행 시 바벨 조건은 평소에 수행한 양발 너비와 양손 그립 위치로 준비 자세를 취한 뒤, 시작 신호에 맞춰 동작을 수행했으며, 충분한 휴식 시간을 가진 뒤, 머신 조건의 SOHP를 수행하였다(Figure 2). SOHP 수행 시 바벨과 머신 조건은 무작위 순서로 진행하였다. SOHP 수행 시 바벨과 머신 조건의 중량 부하의 운동 궤적과 근 활성도 측정치를 비교 분석하기 위해 SOHP 동작의 시작 위치가 연구참여자의 턱(chin)으로 통일하였고, 최대한 바벨과 머신 조건 간에 일관된 동작을 수행할 수 있도록 메트로놈을 이용하여 동작 속도를 통제하였다.

본 실험에서 연구참여자가 SOHP 수행 시 바벨과 머신 조건이 동일한 운동 강도로 수행될 수 있도록 사전 실험(pilot

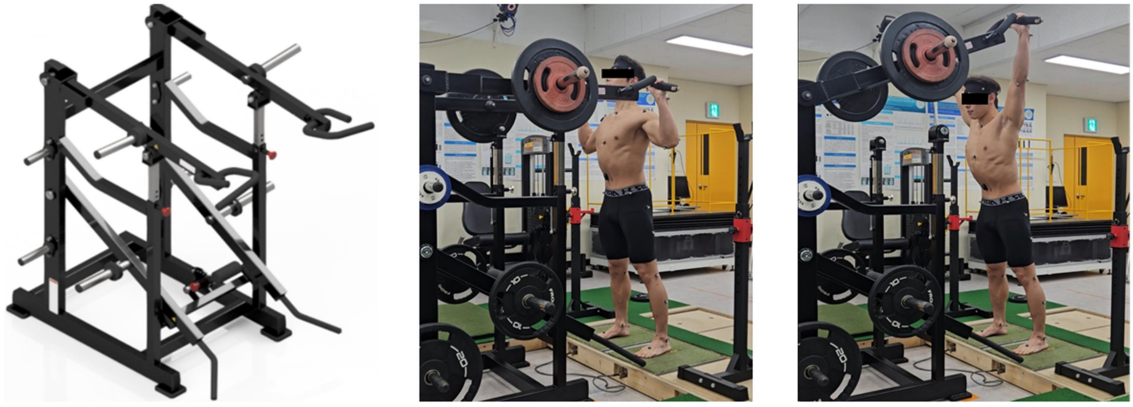

Figure 2. Standing overhead press machine (viking press), and SOHP exercise

test)을 통해 조건별 중량 부하 크기를 탐색하였다. 본 연구에서 사용한 머신은 2종지레 유형이고, 머신 특성상 역학적 이점이 크게 작용하기 때문에 바벨 조건에서 적용한 중량 부하의 크기와 동일하면 안될 것으로 판단하였다. 따라서 바벨과 머신 간의 중량 부하의 차이값을 확인하고, 본 실험에서 SOHP 수행 시 바벨과 머신 조건에서 동일한 운동 강도를 적용하기 위해 다음과 같은 사전 실험 절차를 진행하였다. 우선 지면반력기 상판에 지면과 직교하는 지지대를 설치한 뒤, 지지대의 무게를 제외하기 위해 영점 조정(zero adjustment)를 하였고, 바벨과 머신의 그립을 지지대 위에 각각 거치하여 수직 지면반력을 측정하였다. 측정된 수직 지면반력 값을 통해 바벨과 머신 간의 중량 부하 차이값을 확인하였다. 이처럼 사전 실험에서 확인한 중량 부하의 차이값과 연구참여자별 바벨 오버헤드 프레스 및 머신 오버헤드 프레스의 1-RM (1-Repetition Maximum) 측정치을 고려하여, 본 실험에서 적용할 연구참여자별 중량 부하 크기를 설정하였다.

본 연구는 SOHP 수행 시 바벨과 머신의 중량 부하는 사전에 측정한 1-RM의 약 70%로 설정하였다. 이는 저항성 훈련 시 근 비대 및 근 지구력 향상을 목적으로 주로 수행되는 운동 강도이며(NSCA-National Strength & Conditioning Association, 2021), 연구참여자들의 부상 예방 및 근 피로도 등을 고려하여 해당 운동 강도로 설정하였다. SOHP는 조건별 총 5회 수행했으며, 근 피로도를 고려하여 바벨과 머신 조건 간에 10분 이상의 충분한 휴식 시간을 제공하였다. SOHP 수행 시 바벨과 머신 조건의 진행 순서는 연구참여자의 학습효과 등을 통제하기 위해 무작위 순서로 진행하였다.

3. 자료처리

본 실험에서 수집한 자료는 Vicon Nexus 2.15 (Vicon, Denver, USA)과 Visual 3D (C-Motion, USA)를 사용하여 데이터 처리 및 분석을 실시하였다. 신체와 바벨, 머신에 부착된 반사마커의 위치 데이터는 6 Hz로 버터워스 2차 저역 통과 필터(butterworth second-order low pass filter)를 사용하여 필터링(filtering)하였다. 근 활성도 데이터는 대역 통과 필터(band pass filter)를 이용하여 50-450 Hz로 필터링한 뒤, 전파정류(full-wave rectified)하였으며, 이동 평균(moving average, window length: 100 ms)과 적분 근전도(integrated electromyography, iEMG)로 평활화(smoothing)하였다.

SOHP 수행 시 바벨과 머신 조건 간 어깨, 팔꿈치 관절, 몸통, 중량 부하의 운동학적 자료와 근 활성도를 비교하기 위해 3개의 이벤트와 분석 구간을 정의하였다. Start 이벤트는 동작의 시작 지점, MVPL (maximum vertical point of load) 이벤트는 SOHP에서 바벨과 머신의 중량 부하가 가장 높은 지점, Finish 이벤트는 동작이 끝나는 시점으로 정의하였다. 이러한 이벤트를 기준으로 Start 이벤트부터 MVPL 이벤트까지 상승 구간(ascending phase), MVPL 이벤트부터 Finish 이벤트까지 하강 구간(descending phase)으로 정의하였다.

SOHP 수행 시 바벨과 머신 조건 간 신체의 운동학적 자료를 비교하기 위해 어깨, 팔꿈치 관절의 방향별 가동범위를 계산하였고, 몸통은 SOHP 동작 특성상 몸통의 측면 굴신(lateral flexion-extension) 및 회전 운동이 크게 발생하기 않기에 몸통의 굴신 가동범위만 계산하였다. 신체 관절의 가동범위 변인은 설정된 지역좌표계(local reference)를 기준으로 산출했으며, 각 구간의 전후, 좌우, 수직 축을 기준으로 관절별 최대 및 최소 상대 각도를 산출하였고, 산출된 값을 이용하여 구간별 관절 가동범위를 계산하였다. SOHP 수행 시 어깨, 팔꿈치 관절 및 몸통의 방향별 각도는 좌우축(medial-lateral axis)을 기준으로 양(+)의 값은 굴곡(flexion), 음(−)의 값은 신전(extension), 전후축(anterior-posterior axis)을 기준으로 양

(+)의 값은 내전(adduction), 음(–)의 값은 외전(abduction), 수직 축(vertical axis)을 기준으로 양(+)의 값은 내회전(internal rotation) 또는 회내(pronation), 음(–)의 값은 외회전(external rotation) 또는 회외(supination)로 정의하였다.

SOHP 수행 시 바벨과 머신 조건이 지닌 특성을 비교하기 위해 시상면 상에서 중량 부하의 운동 궤적 변인을 산출하였다. 우선, 바벨과 머신 조건의 구간별 중량 부하의 상하 방향 이동 평균 속도를 산출한 뒤, 두 조건 간의 급내 상관계수(intraclass correlation coefficient)를 이용하여 신뢰도 분석을 실시하였다. 이를 통해 SOHP 수행 시 바벨과 머신 조건 간 동작의 일관성을 확인하였다. 이후 SOHP 수행 시 중량 부하의 전후 및 상하 방향의 위치 데이터를 이용하여, 우측 어깨 관절 중심으로부터 중량 부하까지의 전후, 수직 방향의 최소 및 최대 거리(distance)와 이동거리의 최솟값과 최댓값을 뺀 이동범위(moving range)를 계산하였다.

근 활성도 변인은 수집된 근 활성도 원자료를 상승 구간(ascending phase)과 하강 구간(descending phase)으로 구분하여 적분 근전도로 계산하였다. 일반적으로 근 활성도 분석은 최대 수의적 등척성 근수축(maximum voluntary isometric contraction: MVIC)을 측정한 뒤, 해당 근육의 MVIC 값으로 근 활성도 데이터를 표준화하는 것이 일반적이다. 그러나 본 연구는 동일한 연구참여자를 대상으로 일정한 시간 간격을 두고 바벨과 머신 조건의 스탠딩 오버헤드 프레스를 실시한 뒤, 분석 변인을 비교하고, 실험 과정 중에 무선 근전도 부착 위치 및 실험실 내부 환경의 변화가 없었기 때문에 MVIC 값으로 표준화하지 않았다(Halaki & Ginn, 2012).

4. 통계 분석

본 연구는 스탠딩 오버헤드 프레스 시 바벨과 머신 간의 동작 일관성을 확인하고, 바벨과 머신 간의 신체 및 중량 부하의 운동학적 변인과 근 활성도를 비교하기 위해 SPSS 27 (Armonk, New York, USA)을 이용하여 통계 분석을 실시하였다.

스탠딩 오버헤드 프레스 시 바벨과 머신 간의 동작 일치도를 검증하기 위해 급내 상관계수(intraclass correlation; ICC)를 이용하여 측정자 내 신뢰도(intra-rater reliability)를 확인하였고, 바벨과 머신 간의 어깨, 팔꿈치 관절의 방향별 가동범위, 몸통의 굴신 가동범위, 중량 부하의 운동 궤적과 근 활성도 변인을 비교하기 위해 대응 t 검정(paired t-test)을 실시하였다. 통계적 유의수준은 .05로 설정하였다.

RESULTS

1. 스탠딩 오버헤드 프레스 시 구간별 중량 부하의 상하 방향 평균 속도 비교

본 연구는 스탠딩 오버헤드 프레스(standing overhead press, SOHP) 수행 시 바벨과 머신 조건의 중량 부하의 상하 방향 평균 속도를 구간별로 산출하여, 바벨과 머신 조건 간의 신뢰도 분석을 실시하였다(Table 2). SOHP 수행 시 상승 구간에서 바벨 조건은 37.12 cm/s, 머신 조건은 35.56 cm/s로 산출되었고, 두 조건 간에 .798 수준의 신뢰도를 보였다(p<.05). 하강 구간에서 바벨 조건은 -23.39 cm/s, 머신 조건은 -21.68 cm/s의 평균 속도가 산출되었고, 두 조건 간에 .773 수준의 신뢰도를 보였다(p<.05).

2. 스탠딩 오버헤드 프레스 시 구간별 어깨, 팔꿈치 관절 및 몸통 가동범위 변인

SOHP 수행 시 상승 구간에서 바벨과 머신 조건 간 어깨, 팔꿈치 관절과 몸통의 가동범위를 비교한 결과는 <Table 3>에 제시하였다. SOHP 수행 시 상승 구간에서 어깨 관절의 굴곡(t= 2.287, p= .040), 외전(t= -7.769, p= .000)과 외회전 가동범위(t= -5.717, p= .000)는 머신보다 바벨 조건에서 높게 나타났으며, 유의한 차이를 보였다. 팔꿈치 관절의 신전 가동범위는 머신보다 바벨 조건에서 높게 나타났으며, 유의한 차이를 보였다(t= -4.726, p= .000). 팔꿈치 관절의 회내 가동범위(t= 1.306, p= .214)는 두 조건 간 유의한 차이가 나타나지 않았다(p>.05). 몸통의 굴곡 가동범위는 머신보다 바벨 조

Table 2. Reliability of the superior-inferior average velocity of the weight load between barbell and machine conditions in each phase during the standing overhead press unit: cm/s

Variables	Mean ± *SD*		ICC (2,1)	95%CI	*p*
	Barbell	Machine			
Ascending phase	37.12±6.79	35.56±3.95	.798	.401-.934	.003*
Descending phase	-23.39±6.02	-21.68±4.28	.773	.333-.926	.004*

Note. Statistically significant difference at *p<.05

Table 3. Comparison of shoulder, elbow joints, and trunk range of motion variables between barbell and machine conditions in the ascending phase of the standing overhead press unit: degree

Joint & Segment	Variables	Mean ± *SD*		*t*	*p*
		Barbell	Machine		
Shoulder	Flexion (+)/Extension (–)	23.93±5.11	18.64±7.23	2.287	.040*
	Adduction (+)/Abduction (–)	-95.39±10.19	-79.44±11.07	-7.769	.000*
	IR (+)/ER (–)	-29.64±9.54	-16.80±7.79	-5.717	.000*
Elbow	Flexion (+)/Extension (–)	-102.30±9.88	-94.91±9.76	-4.726	.000*
	Pronation (+)/Supination (–)	9.28±3.50	8.05±4.90	1.306	.214
Trunk	Flexion (+)/Extension (–)	9.16±3.71	6.73±4.22	2.349	.035*

Note. Abbreviation. internal rotation (IR), external rotation (ER), Statistically significant difference at *p<.05

Table 4. Comparison of shoulder, elbow joints, and trunk range of motion variables between barbell and machine conditions in the descending phase of the standing overhead press unit: degree

Joint & Segment	Variables	Mean ± *SD*		*t*	*p*
		Barbell	Machine		
Shoulder	Flexion (+)/Extension (–)	-22.54±4.91	-16.95±6.74	-2.849	.014*
	Adduction (+)/Abduction (–)	92.78±11.21	77.78±10.33	7.589	.000*
	IR (+)/ER (–)	28.82±12.42	17.77±8.93	4.750	.000*
Elbow	Flexion (+)/Extension (–)	101.34±9.71	94.59±9.34	4.499	.001*
	Pronation (+)/Supination (–)	-10.11±3.72	-8.44±4.85	-2.035	.063
Trunk	Flexion (+)/Extension (–)	-6.26±3.53	-6.03±4.08	-.525	.608

Note. Abbreviation. internal rotation (IR), external rotation (ER), Statistically significant difference at *p<.05

Table 5. Comparison of weight load trajectory variables between barbell and machine conditions in the ascending phase of the standing overhead press unit: cm

Direction	Variables	Mean ± *SD*		*t*	*p*
		Barbell	Machine		
AP	Max. Moving distance	13.99±3.39	15.83±2.74	-2.759	.016*
	Min. Moving distance	4.72±4.19	10.65±1.46	-5.524	.000*
	Moving range	9.28±3.44	5.18±2.57	4.100	.001*
SI	Max. Moving distance	55.16±3.71	48.44±2.83	12.205	.000*
	Min. Moving distance	10.83±2.50	11.16±3.53	-.348	.733
	Moving range	44.33±4.88	37.28±5.81	6.341	.000*

Note. Abbreviation. anterior-posterior (AP), superior-inferior (SI), Maximum (Max.), Minimum (Min.), Statistically significant difference at *p<.05

건에서 높게 나타났으며, 유의한 차이가 나타났다(t= 2.349, p= .035).

SOHP 수행 시 하강 구간에서 바벨과 머신 조건 간 어깨, 팔꿈치 관절과 몸통의 가동범위를 비교한 결과는 <Table 4>에 제시하였다. SOHP 수행 시 하강 구간에서 어깨 관절의 신전(t= -2.849, p= .014), 내전(t= -7.589, p= .000)과 내회전 가동범위(t= 4.750, p= .000)는 머신보다 바벨 조건에서 높게 나타났으며, 유의한 차이를 보였다. 팔꿈치 관절의 굴곡(t= 4.499, p= .001) 가동범위는 머신보다 바벨 조건에서 높게 나타났으며, 유의한 차이를 보였다. 팔꿈치 관절의 회내(t= 1.306, p= .214)와 몸통의 신전 가동범위(t= -.525, p= .608)는 두 조건 간 유의한 차이가 나타나지 않았다(p>.05).

3. 스탠딩 오버헤드 프레스 시 구간별 중량 부하의 운동 궤적 변인 비교

SOHP 수행 시 상승 구간에서 바벨과 머신 조건 간에 중량 부하의 운동 궤적을 비교한 결과는 <Table 5>에 제시하였다. SOHP 수행 시 상승 구간에서 전후 방향의 중량 부하 운동 궤적을 비교한 결과, 최대 이동거리(t= -2.759, p= .016)와 최소 이동거리(t= -5.524, p= .000)는 바벨보다 머신 조건에서 크게 나타났으며, 유의한 차이를 보였다. 반면, 이동범위는 머신보다 바벨 조건에서 크게 나타났으며, 유의한 차이를 보였다(t= 4.100, p= .001).

SOHP 수행 시 상승 구간에서 상하 방향의 중량 부하 운동

Table 6. Comparison of weight load trajectory variables between barbell and machine conditions in the descending phase of the standing overhead press unit: cm

Direction	Variables	Mean ± *SD*		*t*	*p*
		Barbell	Machine		
AP	Max. Moving distance	14.06±2.53	15.81±2.49	-2.920	.012*
	Min. Moving distance	4.52±4.50	10.67±1.45	-5.269	.000*
	Moving range	9.54±3.62	5.14±2.16	3.649	.003*
SI	Max. Moving distance	55.27±3.70	48.46±2.84	12.189	.000*
	Min. Moving distance	11.86±3.03	11.89±2.74	-.059	.954
	Moving range	43.41±5.33	36.57±5.17	6.538	.000*

Note. Abbreviation. anterior-posterior (AP), superior-inferior (SI), Maximum (Max.), Minimum (Min.), Statistically significant difference at *p<.05

Table 7. Comparison of muscle activity between barbell and weight machine in the ascending phase of the standing overhead press unit: mV

Variables		Mean ± *SD*		*t*	*p*
		Barbell	Machine		
Muscle activity	AD	1.123±.269	1.269±.352	-2.471	.028*
	LD	.627±.333	.587±.210	.718	.486
	PD	.200±.141	.188±.088	.513	.617
	TL	.079±.047	.050±.028	3.917	.002*
	RA	.027±.015	.050±.037	-2.882	.013*
	ES	.039±.022	.014±.008	3.540	.004*
	LT	.079±.047	.050±.028	3.917	.002*
	UT	.710±.218	.661±.224	1.760	.102

Note. Abbreviation. anterior deltoid (AD), lateral deltoid (LD), posterior deltoid (PD), triceps long head (TL), rectus abdominis (RA), erector spinae (ES), lower trapezius (LT), upper trapezius (UT), Statistically significant difference at *p<.05

궤적을 비교한 결과, 최대 이동거리(t= 12.205, p= .000)와 이동범위(t= 6.341, p= .000)는 머신보다 바벨 조건에서 크게 나타났으며, 유의한 차이를 보였다(p<.05). 반면, 최소 이동거리는 바벨보다 머신 조건에서 크게 나타났으나, 유의한 차이는 없었다(t= -.348, p= .733).

SOHP 수행 시 하강 구간에서 바벨과 머신 조건 간 중량 부하의 운동 궤적을 비교한 결과는 <Table 6>에 제시하였다. SOHP 수행 시 하강 구간에서 전후 방향의 중량 부하 운동 궤적을 비교한 결과, 최대 이동거리(t= -2.920, p=. 012)와 최소 이동거리(t= -5.269, p=. 000)는 바벨보다 머신 조건에서 크게 나타났으며, 유의한 차이를 보였다. 반면, 이동범위는 머신보다 바벨 조건에서 크게 나타났으며, 유의한 차이를 보였다(t= 3.649, p= .003).

SOHP 수행 시 하강 구간의 상하 방향의 중량 부하 운동 궤적을 비교한 결과, 최대 이동거리(t= 12.189, p= .000)와 이동범위(t= 6.538, p= .000)는 머신보다 바벨 조건에서 높게 나타났으며, 유의한 차이를 보였다. 최소 이동거리는 바벨보다 머신 조건에서 높게 나타났으나, 유의한 차이는 없었다(t= -.059, p= .954).

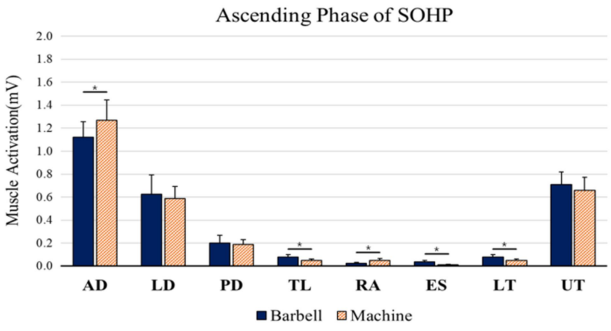

Figure 3. Comparison of muscle activation between barbell and machine conditions in ascending phase of standing overhead press (SOHP). Abbreviation. anterior deltoid (AD), lateral deltoid (LD), posterior deltoid (PD), triceps long head (TL), rectus abdominis (RA), erector spinae (ES), lower trapezius (LT), upper trapezius (UT), Statistically significant difference at *p<.05.

4. 스탠딩 오버헤드 프레스 시 구간별 근 활성도 비교

SOHP 수행 시 상승 구간에서 바벨과 머신 조건 간 근 활성도를 비교한 결과는 <Table 7>와 <Figure 3>에 제시하였다. SOHP 수행 시 상승 구간에서 전면 삼각근(t= -2.471 p= .028)과 복직근(t= -2.882, p= .013)의 근 활성도는 바벨보다 머신 조건에서 높게 나타났으며, 유의한 차이를 보였다. 반면, 상완삼두근 장두(t= 3.917, p= .002), 척추기립근(t= 3.540, p= .004), 하부 승모근(t= 3.917, p= .002)의 근 활성도는 머신보다 바벨 조건에서 더 높게 나타났으며, 유의한 차이를 보였다. 측면 삼각근(t= .718, p= .486), 후면 삼각근(t= .513, p= .617)과 상부 승모근(t= 1.760, p= .102)은 바벨과 머신 조건 간의 유의한 차이가 없었다(p>.05).

SOHP 수행 시 하강 구간에서 바벨과 머신 조건 간 근 활성도를 비교한 결과는 <Table 8>과 <Figure 4>에 제시하였다. SOHP 수행 시 하강 구간에서 전면 삼각근(t= -2.790, p= .015)과 복직근(t= -2.446, p= .029)의 근 활성도는 바벨보다 머신 조건에서 더 높게 나타났으며, 유의한 차이를 보였

Table 8. Comparison of muscle activity between barbell and weight machine in the dscending phase of the standing overhead press unit: mV

Variables		Mean ± *SD*		*t*	*p*
		Barbell	Machine		
Muscle activity	AD	1.173±.696	1.393±.724	-2.790	.015*
	LD	.585±.341	.678±.320	-1.428	.177
	PD	.219±.168	.258±.155	-1.067	.305
	TL	.114±.075	.068±.043	4.103	.001*
	RA	.038±.019	.060±.042	-2.446	.029*
	ES	.072±.050	.023±.008	4.130	.001*
	LT	.111±.064	.068±.043	4.118	.001*
	UT	.780±.043	.767±.461	.303	.767

Note. Abbreviation. anterior deltoid (AD), lateral deltoid (LD), posterior deltoid (PD), triceps long head (TL), rectus abdominis (RA), erector spinae (ES), lower trapezius (LT), upper trapezius (UT), Statistically significant difference at *p<.05

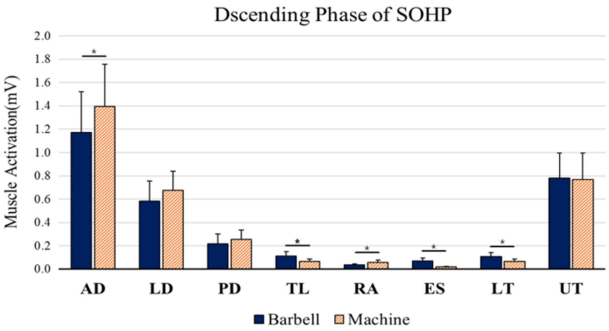

Figure 4. Comparison of muscle activation between barbell and machine in descending phase of standing overhead press (SOHP). Abbreviation. anterior deltoid (AD), lateral deltoid (LD), posterior deltoid (PD), triceps long head (TL), rectus abdominis (RA), erector spinae (ES), lower trapezius (LT), upper trapezius (UT), Statistically significant difference at *p<.05.

다. 반면, 상완삼두근 장두(t= 4.103, p= .001), 척추기립근(t= 4.130, p= .001), 하부 승모근(t= 4.118, p= .001)의 근 활성도는 머신보다 바벨 조건에서 더 높게 나타났으며, 유의한 차이를 보였다. 측면 삼각근(t= -1.428, p= .177), 후면 삼각근(t= -1.067, p= .305)과 상부 승모근(t= .303, p= .767)은 바벨과 머신 조건 간에 유의한 차이가 없었다(p>.05).

DISCUSSION

본 연구는 웨이트 트레이닝 숙련자인 성인 남성 14명을 대상으로 스탠딩 오버헤드 프레스(standing overhead press, SOHP) 시 바벨과 머신 조건 간 신체 및 중량 부하의 운동학적 변인과 주요 근육의 활성도를 비교 분석하였다. 이를 통해 SOHP 수행 시 바벨과 머신 조건의 특성을 규명하고, 주요 관절의 가동범위 및 근 활성도 측면에서 보다 효율적인 운동 방법을 제시하고자 하였다.

SOHP 수행 시 측정한 근 활성도는 동작 속도의 변화에 영향을 받기에(Merletti & Farina, 2016), 두 조건 간 동작 속도를 일정하게 유지하는 것이 중요하다. 이를 위해 SOHP 수행 시 메트로놈을 활용하여 바벨과 머신 조건 간의 동작 속도를 최대한 동일하게 조절했으며, 이를 확인하기 위해 중량 부하를 기준으로 상하 방향의 평균 속도를 산출한 뒤, 두 조건 간 급내 상관계수를 분석하였다. 그 결과, 바벨과 머신 간 급내 상관계수는 상승 구간에서 .798, 하강 구간에서 .773으로 나타났으며<Table 2>, '좋은(good)' 수준의 일치도를 보이는 것으로 확인되었다(Cicchetti & Sparrow, 1981). 이는 SOHP 수행 시 바벨과 머신 조건 간 동작 속도가 일정하게 유지되었음을 나타낸다.

SOHP는 어깨 관절의 굴신 및 내외전 운동과 팔꿈치 관절의 굴신 운동을 포함하는 복합 관절 운동이며, 위아래 방향으로 중량 부하를 이동시키기 위해 상지의 주요 근육은 주동근 및 협력근으로 작용한다. 특히, 몸통 근육은 선 자세에서 중량 부하를 머리 위까지 밀어 올리는 과정에서 자세를 안정적으로 유지하고, 원활한 중량 부하의 이동을 위해 중요한 역할을 한다. 이러한 SOHP 동작에서 바벨과 머신 조건 간 가시적인 차이는 중량 부하의 자유도이다. 바벨 조건은 머신과 달리 바벨의 움직임을 제어하는 고정된 축이 없기에 바벨의 운동범위가 동작마다 상이하고, 변동성이 크다. 반면, 머신 조건은 고정된 축을 기준으로 정해진 운동 궤적에서 중량 부하가 이동하기 때문에 보다 안정적인 동작이 가능하다. 이러한 차이는 SOHP 수행 시 두 조건 간 신체 관절의 가동범위, 주요 근 활성도의 변화를 발생시킬 것으로 예상하였다.

이에 본 연구는 SOHP 수행 시 바벨과 머신 조건 간에 어깨와 팔꿈치 관절의 가동범위 및 몸통의 가동범위, 주요 근육의 활성도를 구간별로 비교하였다. 우선, SOHP는 어깨 관절의 굴신 및 내외전이 주요 관절 운동으로 알려져 있으나, 본 연구에서 도출된 결과는 SOHP 수행 시 어깨 관절의 내전, 외전 운동범위가 비교적 크게 나타났다. 이를 통해 중량 부하를 밀어 올리고 내리는 과정에서 굴신 운동보다 외전 및 내전이 주요 운동임을 일차적으로 확인하였다. SOHP 수행 시 바벨과 머신 조건 간에 어깨 및 팔꿈치 관절의 가동범위를 비교한 결과, 어깨 관절(굴신, 내외전, 내외회전)과 팔꿈치 관절(굴신)의 가동범위가 모든 구간에서 머신보다 바벨 조건이 크게 나타났다(Table 3 & Table 4). 이는 바벨 조건의 SOHP 수행 시 중량 부하(바벨)가 고정되지 않는 큰 폭의 운동범위에 따라 관절의 가동범위가 증가된 것으로 보인다. 일반적으로 저항성 운동 시 관절 가동범위가 증가하면 해당 관절의 주동근 활성도가 증가하는 경향을 나타낸다(Bloomquist et al., 2013; Signorile et al., 2014). 그러나 본 연구의 근 활성도 분석 결과에서는 상승 및 하강 구간에서 전면 삼각근의 활성도가 바벨보다 머신 조건에서 높게 나타났다. 이는 머신의 구조적 특성으로 인해 SOHP 수행 시 전면 삼각근에 저항 부하가 비교적 크게 작용한 결과로 보이며, 이에 대해 바벨과 머신 조건 간 중량 부하의 운동 궤적 차이를 통해 근거를 제시할 수 있다.

SOHP 수행 시 시상면에서 중량 부하의 운동 궤적을 비교한 <Figure 5>를 살펴보면, 머신 조건은 중량 부하가 어깨 중심으로부터 전방으로 이동하는 패턴을 볼 수 있다. 반면, 바벨 조건은 초기에 어깨 중심으로부터 전방으로 이동한 뒤, 일정 시점에서 후방으로 이동하여, 어깨 중심으로 가까워지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 두 조건 간에 운동 궤적의 차이는 어깨 중심으로부터 중량 부하까지의 직교 거리인 저항 모멘트 암의 차이를 발생시킨다. 이는 본 연구 결과인 시상면에

서 중량 부하의 운동 궤적에 대한 수치적 결과인 <Table 5>와 <Table 6>를 근거로 제시할 수 있다. 해당 결과를 살펴보면, SOHP 수행 시 모든 구간에서 어깨 중심과 중량 부하 간의 전후 방향 최대 및 최소 거리가 바벨보다 머신 조건에서 크게 나타났다. 따라서 SOHP 수행 시 바벨보다 머신 조건에서 어깨 관절의 굴신 및 내외전 가동범위가 작게 나타났지만, 머신 조건에서 중량 부하의 저항 모멘트암이 더 크게 작용하고, 이에 상응하여 전면 삼각근의 활성도가 높게 발생된 것으로 판단된다.

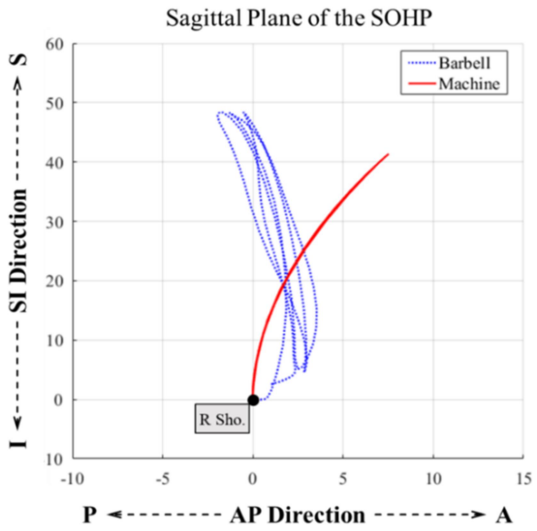

Figure 5. Normalized time-series graph of weight load trajectory relative to the R Sho. (right shoulder) on the sagittal plane during the standing overhead press (SOHP). Abbreviation. anterior (A), posterior (P), superior (S), inferior (I).

본 연구에서 SOHP 수행 시 상완삼두근 장두의 활성도는 머신보다 바벨 조건에서 더 높게 나타났다. 상완삼두근 장두는 팔꿈치 관절의 신전 운동을 담당하며, 동시에 팔꿈치 관절의 안정성을 유지하는 중요한 역할을 한다(Landin, Thompson & Jackson, 2018). 중량 부하가 자유로운 프리 웨이트 상지 운동에서 상완삼두근 장두는 중량 부하를 제어하기 때문에 머신보다 근 활성도가 높아지는 것으로 보고된다(de Araújo Farias, Willardson, Paz, Bezerra & Miranda, 2017). 본 연구 결과에서 SOHP 수행 시 바벨 조건에서 상완삼두근 장두의 활성도가 더 높게 나타난 것은 바벨 조건에서 중량 부하가 고정되지 않기 때문에 팔꿈치 관절의 가동범위가 증가하고, 이에 따라 팔꿈치 관절의 안정성을 유지하고 원활한 중량 부하의 이동을 위해 상완삼두근의 활성도가 더 크게 기여한 것으로 보인다.

SOHP 수행 시 몸통 근육은 자세를 안정적으로 유지하고, 중량 부하를 머리 위까지 효율적으로 이동시키는 데 중요한 역할을 한다. 특히 복직근은 자세 안정화를 위한 대표적인 몸통 근육으로서 프리 웨이트 운동 조건에서 자세 안정성 유지에 크게 기여한다(Nuzzo, McCaulley, Cormie, Cavill & McBride, 2008; Park, Lim & Oh, 2020). 그러나 본 연구는 머신 조건에서 복직근의 활성도가 더 높게 나타났다. 복직근은 척추기립근과 동시 수축(co-contraction)을 통해 몸통의 굴곡 및 신전 움직임을 조절하여 정적인 자세를 유지한다(Arokoski, Valta, Airaksinen & Kankaanpää, 2001; Park et al., 2020). 본 연구에서 SOHP 수행 시 중량 부하의 운동 궤적을 분석한 결과, 바벨보다 머신 조건에서 중량 부하의 궤적이 어깨로부터 멀어지는 경향을 보였다. 일반적으로 중량 부하가 신체에서 멀어질수록 몸통 근육은 자세 안정성을 유지하기 위한 저항성 활동이 증가되며, 이러한 저항에 대응하기 위해 복직근의 활성도가 상대적으로 높아진 것으로 판단된다.

바벨 조건의 SOHP는 머신과 달리 바벨이 신체에서 멀어질 경우 상지 관절의 부하가 증가하고, 신체 안정성이 저하되어 안정적인 동작이 어려워진다. 본 연구의 결과에서 바벨 조건의 SOHP 수행 시 몸통의 굴곡 가동범위가 머신 조건에 비해 크게 나타난 것을 확인할 수 있다. 이는 SOHP 수행 과정에서 바벨의 전후 방향으로 자유로운 운동 범위를 가지며, 이에 따라 몸통의 굴신 운동이 증가함에 따라 굴곡 가동범위가 높게 나타난 것으로 보인다. 이 때문에 바벨 조건의 SOHP 수행 시 견갑의 후인(retraction) 및 하강(depression), 흉추 신전(thoracic extension)을 통해 몸통을 안정적으로 고정한 뒤, 동작을 수행하도록 권장된다(Kroell & Mike, 2017). 이 과정에서 하부 승모근과 척추기립근은 몸통을 안정적으로 고정하는 주요 근육으로 작용한다(Arlotta, LoVasco & McLean, 2011; Padovan et al., 2024; Waller, Piper & Miller, 2009). 본 연구에서 바벨 조건의 SOHP를 수행할 때, 몸통의 증가된 굴곡 가동범위를 제한하고 몸통의 안정성을 유지하기 위해 하부 승모근과 척추기립근의 활성도가 상대적으로 높게 나타난 것으로 생각되며, 이를 통해 보다 효율적인 동작을 수행할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구의 결과를 종합하면, SOHP 수행 시 바벨 조건이 머신보다 어깨 및 팔꿈치 관절의 가동범위가 크게 나타났다. 일반적으로 신체 관절의 가동범위가 증가에 따라 관련 주동근의 활성도가 높아지는 경향을 보이나, 머신의 구조적 특성으로 인해 전면 삼각근과 복직근의 활성도가 머신 조건에서 높게 나타났다. SOHP 수행 시 머신 조건은 비교적 안정성이 확보된 운동 환경과 증가된 저항 부하의 작용에 따라 전면 삼각근의 활성도가 높아지고, 중량 부하의 운동 궤적이 신체로부터 멀어지는 이유로 인해 복직근의 활성도가 높아지는 것을 확인하였다. 반면에 바벨 조건은 중량 부하가 축에 의

해 고정되지 않는 자유로운 환경에서 수행되기 때문에 상지 관절 및 자세를 안정적으로 유지하기 위한 상완삼두근, 척추기립근, 하부 승모근의 활성도가 증가하는 것을 확인하였다.

CONCLUSION

본 연구는 스탠딩 오버헤드 프레스(standing overhead press, SOHP) 수행 시 바벨과 머신 조건 간 어깨, 팔꿈치 관절과 몸통의 가동범위, 중량 부하의 운동 궤적과 주요 근 활성도를 비교 분석하였다. 그 결과, 어깨 및 팔꿈치 관절과 몸통의 가동범위가 머신보다 바벨 조건에서 높게 나타났다. 근활성도 분석에서 전면 삼각근과 복직근의 활성도는 머신 조건에서 더 높았으며, 상완삼두근, 척추기립근, 하부 승모근의 활성도는 바벨 조건에서 더 높게 나타났다. 이와 같이 두 조건 간 근 활성도의 차이는 바벨과 머신 조건 간 운동 궤적의 차이로 인해 상지 관절 및 신체 안정성 요구도가 상이하기 때문인 것으로 해석된다. 따라서 SOHP는 운동참여자의 신체적 특성 및 훈련 상태와 목적에 따라 바벨과 머신 중에서 선택하여 수행하는 것이 중요하며, 어깨 관절의 작은 운동범위를 통해 전면 삼각근을 집중적으로 자극하여 저항 훈련의 효과성을 극대화하기 위해서는 머신을 활용하는 것이 적절하고, 상지 및 몸통 근육의 전반적인 근 기능 향상을 목표로 한다면 바벨을 이용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

REFERENCES

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

Arokoski, J. P., Valta, T., Airaksinen, O. & Kankaanpää, M. (2001). Back and abdominal muscle function during stabilization exercises. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *82*(8), 1089-1098.

Błażkiewicz, M. & Hadamus, A. (2022). The effect of the weight and type of equipment on shoulder and back muscle activity in surface electromyography during the overhead press—preliminary report. *Sensors*, *22*(24), 9762.

Bloomquist, K., Langberg, H., Karlsen, S., Madsgaard, S., Boesen, M. & Raastad, T. (2013). Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations. *European Journal of Applied Physiology*, *113*, 2133-2142.

Cicchetti, D. V. & Sparrow, S. A. (1981). Developing criteria for establishing interrater reliability of specific items: applications to assessment of adaptive behavior. *American Journal of Mental Deficiency*, *86*(2), 127-137.

Coratella, G., Tornatore, G., Longo, S., Esposito, F. & Cè, E. (2020). Specific prime movers' excitation during free-weight bench press variations and chest press machine in competitive bodybuilders. *European Journal of Sport Science*, *20*(5), 571-579.

Coratella, G., Tornatore, G., Longo, S., Esposito, F. & Cè, E. (2022). Front vs back and barbell vs machine overhead press: an electromyographic analysis and implications for resistance training. *Frontiers in Physiology*, *13*, 825880.

Cotterman, M. L., Darby, L. A. & Skelly, W. A. (2005). Comparison of muscle force production using the Smith machine and free weights for bench press and squat exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *19*(1), 169-176.

de Araújo Farias, D., Willardson, J. M., Paz, G. A., Bezerra, E. D. S. & Miranda, H. (2017). Maximal strength performance and muscle activation for the bench press and triceps extension exercises adopting dumbbell, barbell, and machine modalities over multiple sets. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *31*(7), 1879-1887.

Halaki, M. & Ginn, K. (2012). Normalization of EMG signals: to normalize or not to normalize and what to normalize to. *Computational Intelligence in Electromyography Analysis-a Perspective on Current Applications and Future Challenges*, *10*, 49957.

Haugen, M. E., Vårvik, F. T., Larsen, S., Haugen, A. S., van den Tillaar, R. & Bjørnsen, T. (2023). Effect of free-weight vs. machine-based strength training on maximal strength, hypertrophy and jump performance–a systematic review and meta-analysis. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *15*(1), 103.

Kaardal, T. (2019). Comparing the effects of different variants of the free weight barbell squat to machine-based squatting exercises: A systematic litterature review.

Kim, H., Ko, S., Choi, J., Jeong, H., Kim, B. & Kim, K. (2021). The effects of differences between exercise intensity and knee bounce angle on repetition and electromyogram during barbell shoulder press. *The Korean Journal of Sport*, *19*(1), 1079-1090.

Kraemer, W. J. & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *36*(4), 674-688.

Kroell, J. & Mike, J. (2017). Exploring the standing barbell overhead press. *Strength & Conditioning Journal*, *39*(6), 70-75.

Landin, D., Thompson, M. & Jackson, M. (2018). Functions of the triceps brachii in humans: a review. *Journal of Clinical Medicine Research*, *10*(4), 290.

Lee, J., Lim, S., Jeong, J. & Nam, K. (2018). Comparison between the muscle activity of the anterior and the middle deltoid-depending on the angle of humerus and the trunk during military press. *The Korea Journal of Sports Science*, *27*(6), 1103-1111.

Merletti, R. & Farina, D. (2016). *Surface electromyography: physiology, engineering, and applications*. John Wiley & Sons.

Michael, J. & Andre, N. P. (2000). The Great Body Ball Handbook productive fitness products. *The Body Ball Handbook*, 4-11.

NSCA-National Strength & Conditioning Association. (2021). *Essentials of strength training and conditioning*. Human kinetics.

Nuzzo, J. L., McCaulley, G. O., Cormie, P., Cavill, M. J. & McBride, J. M. (2008). Trunk muscle activity during stability ball and free weight exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *22*(1), 95-102.

Padovan, R., Marcolin, G., Longo, S., Toninelli, N., Tornatore, G., Esposito, F., Cè, E., Paoli, A. & Coratella, G. (2024). Surface electromyography excitation in barbell vs. kettlebell overhead press prime movers and stabilizer muscles. *Sport Sciences for Health*, 1-10.

Park, H., Lim, W. & Oh, D. (2020). Effects of upper-extremity movements on electromyographic activities of selected trunk muscles during leaning forward. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, *33*(4), 669-675.

Rippetoe, M. & Kilgore, L. (2017). Starting strength. *Wichita Falls, TX: The Aasgaard Company.*

Schick, E. E., Coburn, J. W., Brown, L. E., Judelson, D. A., Khamoui, A. V., Tran, T. T. & Uribe, B. P. (2010). A comparison of muscle activation between a Smith machine and free weight bench press. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *24*(3), 779-784.

Schwanbeck, S., Chilibeck, P. D. & Binsted, G. (2009). A comparison of free weight squat to Smith machine squat using electromyography. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *23*(9), 2588-2591.

Signorile, J. F., Lew, K. M., Stoutenberg, M., Pluchino, A., Lewis, J. E. & Gao, J. (2014). Range of motion and leg rotation affect electromyography activation levels of the superficial quadriceps muscles during leg extension. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *28*(9), 2536-2545.

Waller, M., Piper, T. & Miller, J. (2009). Overhead pressing power /strength movements. *Strength & Conditioning Journal*, *31*(5), 39-49.