KJAB

Korean Journal of Applied Biomechanics 2024; 34(1): 25-33
http://dx.doi.org/10.5103/KJAB.2024.34.1.25
http://e-kjab.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

# Comparison of Lower Extremity Muscle Activity and Knee Joint Load according to Movement Speed Conditions during the Barbell Back Squat

# 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건에 따른 하지 근 활성도 및 무릎 관절의 부하량 비교

**Moon-Seok Kwon, Jae-Woo Lee**

Sports Convergence Institute, Konkuk University, Chungju, South Korea

**Received : 24 January 2024**
**Revised : 14 February 2024**
**Accepted : 14 February 2024**

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

**Objective:** The purpose of this study was to compare the lower extremity muscle activity and knee joint load according to movement speed conditions during the barbell back squat.

**Method:** Nine males with resistance training experience participated in this study. Participants performed the barbell back squat in three conditions (Standard, Fast, and Slow) differing movement speed. During the barbell back squat, muscle activity of the rectus femoris (RF), vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM), biceps femoris long head (BFL), semitendinosus (ST), gluteus maximus (GM), gastrocnemius (GCN), and tibialis anterior (TA) was collected using an 8 channel wireless EMG system. The peak flexion angle of the lower extremity joints and the peak resultant joint force in each direction of the knee joint were calculated using eight motion capture cameras and ground reaction force plates. This study was to used the Friedman test and the Wilcoxon signed rank test, to compare lower extremity muscle activity and peak resultant joint force at knee joint according to movement speed conditions during the barbell back squat, and the statistical significance level was set at .01.

**Results:** In the downward phase of the barbell back squat, the RF and TA showed the higher muscle activity in the fast condition, and in the upward phase, RF, VL, VM, BFL, ST, GM, and TA showed the higher muscle activity in the fast condition. As a results, analyzing of the load on the knee joint, in the downward phase, and in the upward phase, the higher peak compressive force of the knee joint was showed in the fast condition.

**Conclusion:** The barbell back squat with fast movement speed was more effective due to increased muscle activity of lower extremity, but one must be careful of knee joint injuries because the load on the knee joint may increase during the barbell back squat with fast movement speed.

**Keywords:** Barbell back squat, Movement speed, Electromyography, Knee joint

Copyright © 2024 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

스쿼트(squat)는 체중 및 중량 부하를 이용하여 하지 및 코어(core) 근육의 기능을 향상시키기 위한 대표적인 저항성 운동이며, 운동수행능력 증진, 근골격계 손상의 예방 및 재활을 목적으로 주로 수행된다(Clark, Lambert & Hunter, 2012; Schoenfeld, 2010; Slater & Hart, 2017). 스쿼트 운동은 중량 부하물(e.g. 바벨, 덤벨, 케틀벨 등)의 종류와 적용 위치, 동작 수행 시 양 발의 너비, 스쿼팅 깊이 등 운동 환경과 조건을 변화시켜 다양한 방법으로 수행되며, 이 중 바벨을 상부 승모근에 위치시킨 뒤, 최대 깊이까지 앉는 바벨 백 스쿼트가 일반적으로 수행하는 스쿼트 운동 방법이다.

바벨 백 스쿼트(barbell back squat)는 양 발을 지면에 고정한 뒤, 하지 관절의 굴곡과 신전 운동을 통해 바벨을 상·하 방향으로 반복적으로 이동시키며, 이때 하지 관절의 주변 근육은 단축성(concentric) 및 신장성 수축(eccentric contraction)의 상호작용이 동반된다(Luera, Stock & Chappell, 2014). 이러한 바벨 백 스쿼트 수행 시 하지 근육에 높은 운동 부하를 적용시키기 위해 중량물의 무게, 반복횟수, 세트 수를 늘리는 방법을 이용하여 운동강도를 조절하고, 훈련 목표에 따라 운동 속도를 조절하여 근 기능 및 운동수행능력 향상의 효과성을 보고자 한다.

바벨 백 스쿼트 시 운동 속도는 효과적인 훈련과 그 목표 달성을 위한 중요한 요소로(Pereira et al., 2016), 근력(strength) 및 순발력(power) 향상, 근 비대(hypertrophy) 등의 훈련 지향점에 따라 운동 속도가 다르게 나타난다(Haff & Triplett, 2015; Young & Bilby, 1993). 근력 및 순발력 향상을 위한 스쿼트 방법은 단시간에 높은 힘의 발현을 위해 빠른 운동 속도로 수행한다(Hackett, Davies, Orr, Kuang & Halaki, 2018; Pereira et al., 2016). 반면, 근 비대를 목표로 하는 스쿼트 운동에서는 앉는 구간에서 천천히 동작을 수행하여 주동근의 신장성 수축시간을 높이고, 일어서는 구간에서는 주동근의 빠른 단축성 수축과 높은 근 동원력을 유발하도록 한다(Mario et al., 2022). 또한 바벨 백 스쿼트 운동 참여자들 사이에서도 운동 속도에 대해 다양한 양상이 나타나는 것을 쉽게 관찰할 수 있다. 이처럼 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도는 훈련 목표 및 운동 참여자에 따라 다르게 나타나기 때문에 바벨 백 스쿼트 시 근 동원 및 근골격계 손상을 고려한 가장 효과적인 운동 속도를 탐색할 필요성이 있다.

스쿼트 운동에 대한 하지 근 활성도 분석은 스쿼트 유형(Aspe & Swinton, 2014; Nishiwaki, Urabe & Tanaka, 2006), 양 발의 위치(Boyden, Kingman & Dyson, 2000; Kim & Song, 2010), 스쿼팅 깊이(Caterisano et al., 2002), 중량 부하물의 종류와 위치(Murawa et al., 2020) 등 다양한 조건 간의 비교 분석을 통해 검증된 바 있으나, 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도에 따라 하지 근 활성도를 비교하는 연구는 부족한 실정이다. 아울러, 바벨 백 스쿼트 운동은 하지 관절의 반복적인 굴신 운동으로 이루어지며, 특히 무릎 관절은 비교적 큰 가동범위와 주변 근육의 높은 동원력, 관절에 작용하는 체중 및 중량 부하로 인해 무릎 관절 내 높은 부하가 발생되는 것으로 알려져 있다(Escamilla, 2001; Hartmann, Wirth & Klusemann, 2013; Schoenfeld, 2010; Slater & Hart, 2016). 더욱이 바벨 백 스쿼트 시 중량 부하를 적용한 상태에서 운동 속도가 증가될 경우 운동학적 사슬(kinematic chain)에 의해 무릎 관절의 보상 작용으로 운동학적 가변성이 커질 것으로 예상되며, 결과적으로 무릎 관절에 작용하는 부하량에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

그러므로 본 연구는 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건에 따른 하지 근 활성도와 무릎 관절에 작용하는 부하량을 비교하고자 하였으며, 운동 속도 조건인 Standard, Fast, Slow 조건의 바벨 백 스쿼트 수행 시 주요 하지 근육의 활성도와 무릎 관절의 전후, 좌우 방향 전단력 및 압축력을 산출하여 운동 속도 조건 간에 비교 분석하였다. 이를 통해 바벨 백 스쿼트 시 하지 근 기능 향상 및 무릎 관절의 손상 위험성을 고려한 운동 속도를 제안하여 효율적인 바벨 백 스쿼트 훈련을 위한 근거자료를 제공하고자 한다.

## METHOD

### 1. 연구참여자

본 연구는 최근 12개월 내에 근골격계 부상 이력과 신체

**Table 1.** Physical characteristic of participants

| Variables (unit) | Participants (*n*=9) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Age (yrs) | Height (cm) | Weight (kg) | Skeletal muscle mass (kg) | Body fat (%) | BBS 1-RM (kg) |
| Mean ± *SD* | 23.78±.67 | 174.89±5.30 | 71.79±6.98 | 36.02±3.81 | 13.33±3.67 | 128.89±12.94 |

*Note*. Abbreviation. barbell back squat (BBS)

불균형이 없고 저항성 트레이닝 숙련자인 성인 남성 9명이 참여하였다(Table 1). 연구참여자 선정 기준은 웨이트 트레이닝을 1년 이상 지속하였고, 바벨 백 스쿼트 동작을 최대 스쿼팅 깊이까지 안정적으로 수행하며, 바벨 백 스쿼트의 최대 근력 측정치(1 RM, 1 repetition maximum)가 100 kg 이상인 자로 선정하였다.

## 2. 실험 방법 및 절차

본 연구참여자는 실험절차 및 주의사항을 안내 받은 뒤, 실험참여에 동의한 인원에 한해서 본 연구에 참여하였다. 연구참여자는 스판덱스(spandex) 소재의 실험복으로 환복한 뒤, 실험 중에 부상을 예방하기 위해 약 10분간 충분한 스트레칭과 바벨 백 스쿼트의 예비 동작을 통해 준비 운동을 실시하였다. 이 후 Vicon사에서 제공하는 Plug-In-Gait Model을 기반으로 신체 주요 관절 및 분절에 총 28개의 15 mm 반사마커(reflective marker)를 부착하였으며, 무선 근전도 센서를 부착하기 위해 부착 부위를 제모 및 알코올 솜으로 소독한 뒤, 총 8채널의 표면 전극을 오른 다리의 주요 근육군에 부착하였다. 무선 근전도 센서의 부착 위치는 바벨 백 스쿼트 시 하지의 주동 근육군인 대퇴직근(rectus femoris, RF), 외측광근(vastus lateralis, VL), 내측광근(vastus medialis), 대퇴이두 장두(biceps femoris long head, BFL), 반건양근(semitendinous, ST), 대둔근(gluteus maximus), 비복근 외측두(gastrocnemius, GCN), 전경골근(tibialis anterior, TA)에 부착하였다(Caterisano et al., 2002; Paoli, Marcolin & Petrone, 2009; Slater & Hart, 2017).

이후, Vicon사에서 제공하는 Active Wand를 이용하여 캘리브레이션(calibration)을 실시했으며, X 축은 전후(anterior-posterior, AP) 방향, Y 축은 좌우(medial-lateral, ML) 방향, Z 축은 수직(vertical, VT) 방향으로 전역좌표계(global reference)를 설정하였다. 바벨 백 스쿼트 시 신체에 부착된 반사마커의 위치 데이터는 8대의 적외선 모션 캡쳐 카메라(MX-T10S, Vicon, USA)를 이용하여 수집하였고(sampling rate: 250 Hz), 지면반력 데이터는 2대의 지면반력기(OR6-7-1000, AMTI, USA)를 이용하여 수집하였다(sampling rate: 2,000 Hz). 하지 근 활성도는 주요 하지 근육군에 부착된 총 8채널의 무선 근전도 센서(wireless surface EMG system, Delsys, USA)를 이용하여 측정하였다(sampling rate: 2,000 Hz).

본 연구는 중량 부하인 바벨(Barbell)을 상부 승모근(upper trapezius)에 고정한 뒤, 최대 깊이까지 앉았다 일어서는 동작인 바벨 백 스쿼트(barbell back squat)를 수행했으며, 연구참여자는 지면반력기 위에 올라가 평소에 수행하던 바벨 백 스쿼트 동작의 양 발의 너비 및 각도로 준비 자세를 취한 뒤, 시작 신호에 맞춰 동작을 수행하였다.

본 연구의 목적인 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건에 따른 분석 변인을 비교하기 위해, 연구참여자가 평소에 수행하던 바벨 백 스쿼트의 운동 속도를 Standard 조건으로 정하고, Standard 조건의 동작 소요시간을 기준으로 Fast 조건은 Standard 조건 대비 약 50%의 소요시간, Slow 조건은 약 200%의 소요시간으로 정의하였다. 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도에 대한 명확한 기준치를 찾을 수 없었기 때문에, 본 연구는 예비 실험(pilot test)을 실시하여 연구참여자가 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도의 변화에 충분히 적응하고 수행이 가능한 운동 속도 기준치를 확인하였으며, 이를 본 연구에 반영하였다.

연구참여자가 바벨 백 스쿼트 시 동일한 스쿼팅 깊이로 정의된 운동 속도 조건을 원활히 수행할 수 있도록 사전 교육 및 예비 연습을 충분히 실시한 뒤, 실험에 참여하였다. 바벨 백 스쿼트 시 중량 부하인 바벨의 무게는 사전에 측정된 연구참여자 별 스쿼트 1-RM (1 Repetition Maximum)의 약 60%로 설정하였다. 이는 저항성 훈련 시 근 비대 및 근 지구력 향상을 목적으로 주로 수행되는 운동강도이며(Ratamess, 2021), 본 실험에서 연구참여자들이 운동 속도 변화에 따른 바벨 백 스쿼트 수행 시 부상을 예방하기 위해 해당 중량 부하로 설정하였다. 바벨 백 스쿼트의 반복횟수는 운동 속도 조건별 3회씩 수행했으며, 근 피로도를 고려하여 운동 속도 조건 사이에 10분 이상의 충분한 휴식시간을 제공하였다. 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건의 순서는 연구참여자의 학습효과를 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. 신체에 부착된 반사마커의 위치 데이터는 6 Hz, 지면반력 데이터는 50 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, 전파 정류(full-wave rectified)하였으며, 이동 평균(moving average, window length: 100 ms)과 제곱 평균 제곱근(root mean square: RMS)로 평활화(smoothing)하였다.

바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건에 따른 하지 근 활성도 및 무릎 관절의 부하량을 비교하기 위해서 3개의 이벤트와 분석 구간을 정의하였다. Start 이벤트는 준비 자세, MKF (maximum knee flexion) 이벤트는 바벨 백 스쿼트 시 무릎 관절의 최대 굴곡 각도가 발생하는 시점으로 정의하였다. Finish 이벤트는 동작이 끝나는 시점으로 정의하였다. 이러한 이벤트를 기준으로 Start 이벤트부터 MKF 이벤트까지 앉는 구간(downward phase), MKF 이벤트부터 Finish 이벤트까지 일어

서는 구간(upward phase)으로 정의하였다. 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건별 소요시간은 정의된 분석 이벤트 및 구간을 기준으로 측정하였다.

하지 관절의 지역 좌표계는 x 축은 전후 축, y 축은 좌우 축, z 축은 수직 축으로 정의하였다. 본 연구참여자는 신체의 불균형이 없는 인원이고, 바벨 백 스쿼트 동작이 양측성 운동인 점을 고려하여 오른 다리를 기준으로 분석 변인을 산출하였다. 하지 관절별 최대 굴곡 각도는 좌우 축을 기준으로 산출하였으며, 발목 관절에서 양(+)의 값은 저측 굴곡(plantar flexion), 음(–)의 값은 배측 굴곡(dorsi flexion)이고 무릎 관절에서 양(+)의 값은 굴곡(flexion), 음(–)의 값은 신전(extension), 엉덩 관절에서 양(+)의 값은 신전, 음(–)의 값은 굴곡으로 정의하였다. 산출된 하지 관절의 최대 굴곡 각도는 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건 간에 동작 일관성을 확인하기 위해 활용하였다.

근 활성도는 근육군별 수집된 근 활성도 원자료를 앉는 구간과 일어서는 구간으로 구분하여 제곱 평균 제곱근(root mean square, RMS)으로 계산하였다. 일반적으로 근 활성도 분석은 최대 수의적 등척성 근 수축(Maximum Voluntary Isometric Contraction: MVIC)을 측정하여 해당 근육의 MVIC 값으로 근 활성도 데이터를 표준화(normalization)를 수행하나, 본 연구는 동일한 연구참여자를 대상으로 운동 속도 조건에 따라 일정한 시간 간격을 두고 바벨 백 스쿼트를 실시하였고, 무선 근전도 부착 위치 및 실험실 내부 환경의 변화가 없었기 때문에 MVIC로 표준화하지 않았다(Halaki & Ginn, 2012).

바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건에 따른 무릎 관절의 부하 변인은 무릎 관절에서 산출되는 최대 관절 합력(peak resultant joint force)을 통해 확인하였다. 무릎 관절의 방향별 최대 관절 합력은 지역좌표계를 기준으로 전후 방향에서 양(+)의 값은 전방 전단력(anterior shear force), 음(–)의 값은 후방 전단력(posterior shear force), 좌우 방향에서 양(+)의 값은 내측 전단력(medial shear force), 음(–)의 값은 외측 전단력(lateral shear force), 수직 방향에서 음(–)의 값은 압축력(compressive force)으로 정의하였으며, 구간별 최대값을 산출하였다. 산출된 무릎 관절의 방향별 최대 관절 합력은 연구참여자별 체중으로 표준화하였다(N/BW).

### 4. 통계 분석

본 연구는 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건인 Standard 조건, Fast 조건, Slow 조건에 따른 하지 근 활성도 및 무릎 관절의 부하량을 비교하기 위해 SPSS 27 (Armonk, New York, USA)을 이용하여 통계 분석을 실시하였다. 본 연구의 분석 변인별 수집된 자료가 정규성을 만족하지 못하여 비모수 검정(non-parametric test)을 실시하였다.

바벨 백 스쿼트 시 세 가지의 운동 속도 조건에 따른 하지 관절의 최대 굴곡 각도, 구간별 하지 근 활성도, 구간별 무릎 관절의 최대 전단력 및 압축력을 비교하기 위해 프리드먼 검정(Friedman test)를 실시하였고, 통계적 유의성이 나타난 변인은 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon signed rank test)를 통해 운동 속도 조건 간의 사후 비교를 실시하였다. 통계적 유의수준은 .01로 설정하였다.

## RESULTS

### 1. 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건별 소요시간

바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건에 따른 구간별 소요시간을 측정한 결과는 <Figure 1>에 제시하였다. 바벨 백 스쿼트 시 앉은 구간(downward phase)에서 Standard 조건은 1.467초, Fast 조건 0.738초, Slow 조건 2.637초이며, 모든 운동 속도 조건 간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다($\chi^2$=18.00, $p$<.01) 일어서는 구간(upward phase)에서 Standard 조건은 1.101초, Fast 조건 0.741초, Slow 조건은 2.134초이며, 모든 운동 속도 조건 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($\chi^2$=18.00, $p$<.01).

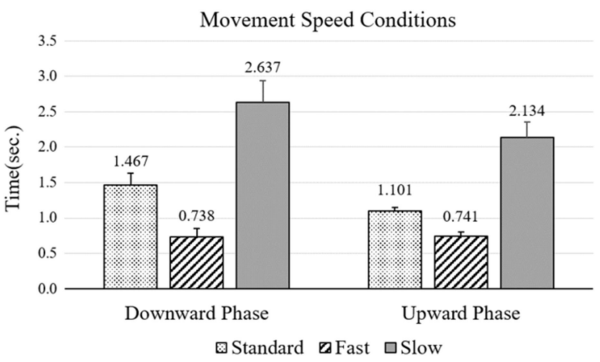


**Figure 1.** Comparison of Phases Time (Mean ± *SD*) according to movement speed conditions during the barbell back squat.

### 2. 하지 관절별 최대 굴곡 각도

바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건에 따른 하지 관절의 최대 굴곡 각도를 비교한 결과는 <Table 2>와 같다. 바벨 백 스쿼트 시 발목 관절($\chi^2$=.889, $p$=.685), 무릎 관절($\chi^2$=2.889, $p$=.278), 엉덩 관절($\chi^2$=3.556, $p$=.187)의 최대 굴곡 각도는 운동 속도 조건 간에 통계적으로 유의미한 차이가 없었다($p$>.01).

**Table 2.** Comparison of peak flexion angle (Mean ± *SD*) of lower extremity according to movement speed conditions during the barbell back squat (unit: deg.)

| Variables | | Movement speed conditions | | | $\chi^2$ | *p* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Standard | Fast | Slow | | |
| Joint peak angle | Ankle | -16.50±7.15 | -16.20±6.98 | -16.07±7.13 | .889 | .685 |
| | Knee | 122.04±9.20 | 123.84±11.02 | 120.70±12.11 | 2.889 | .278 |
| | Hip | -104.46±8.91 | -106.96±10.38 | -105.26±10.50 | 3.556 | .187 |

*Note.* ankle joint (+: plantar flexion / – : dorsi flexion), knee joint (+: flexion / –: extension), hip joint (+: extension / –: flexion)
[a,b,c] Statistically significant difference at $p < .01$, [a] = Standard vs. Fast, [b] = Fast vs. Slow, [c] = Standard vs. Slow, **p*<.01, ***p*<.001

**Table 3.** Comparison of lower extremity muscle activity (Mean ± *SD*) according to movement speed conditions in the downward phase during the barbell back squat (unit: mV)

| Variables | | Movement speed conditions | | | $\chi^2$ | *p* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Standard | Fast | Slow | | |
| Muscle activity | RF | .181±.097 | .215±.096[b] | .166±.094[b] | 9.556 | .006* |
| | VL | .188±.085 | .200±.078 | .190±.089 | 1.543 | .484 |
| | VM | .227±.142 | .256±.146 | .230±.149 | 5.879 | .050 |
| | BFL | .032±.028 | .035±.026 | .032±.030 | 2.114 | .397 |
| | ST | .017±.007 | .018±.008 | .014±.005 | 5.515 | .068 |
| | GM | .019±.009 | .025±.013 | .019±.009 | 3.706 | .168 |
| | GCN | .050±.022 | .075±.098 | .069±.129 | 6.222 | .048 |
| | TA | .329±.103[a] | .418±.098[a,b] | .261±.091[b] | 14.222 | .000** |

*Note.* Abbreviation. rectus femoris (RF), vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM), biceps femoris long head (BFL), semitendinosus (ST), gluteus maximus (GM), gastrocnemius (GCN), tibialis anterior (TA)
[a,b,c] Statistically significant difference at *p*<.01, [a] = Standard vs. Fast, [b] = Fast vs. Slow, [c] = Standard vs. Slow, **p*<.01, ***p*<.001

### 3. 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건에 따른 구간별 하지 근 활성도 비교

바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건인 Standard, Fast, Slow 조건에 따른 앉은 구간과 일어서는 구간의 하지 근 활성도를 비교하였다. 바벨 백 스쿼트 시 앉은 구간에서 대퇴직근($\chi^2$=9.556, *p*=.006)과 전경골근($\chi^2$=14.222, *p*=.000)이 운동 속도 조건 간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 3). 대퇴직근은 Fast 조건에서 가장 높은 근 활성도가 나타났고, Slow 조건과 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(*Z*=-2.547, *p*=.008). 전경골근은 Fast 조건에서 가장 높은 근 활성도가 나타났고, Standard 조건(*Z*=-2.547, *p*=.008), Slow 조건(*Z*=-2.668, *p*=.004)과 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

바벨 백 스쿼트 시 일어서는 구간에서 대퇴직근($\chi^2$=16.222, *p*=.000), 외측광근($\chi^2$=18.000, *p*=.000), 내측광근($\chi^2$=18.000, *p*=.000), 대퇴이두 장두($\chi^2$=14.222, *p*=.000), 반건양근($\chi^2$=15.600, *p*=.000)과 전경골근($\chi^2$=16.222, *p*=.000)이 운동 속도 조건 간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 4). 대퇴직근은 Fast 조건에서 가장 높은 근 활성도가 나타났고, Standard 조건(*Z*=-2.547, *p*=.008), Slow 조건과 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(*Z*=-2.666, *p*=.004). 외측광근은 Fast 조건에서 가장 높은 근 활성도가 나타났고, Standard 조건(*Z*=-2.547, *p*=.008), Slow 조건과 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며(*Z*=-2.547, *p*=.008), 내측광근은 Fast 조건에서 가장 높은 근 활성도가 나타났고, Standard 조건(*Z*=-2.547, *p*=.008), Slow 조건과 통계적으로 유의한 차이를 보였다(*Z*=-2.547, *p*=.008).

대퇴이두 장두는 Fast 조건에서 가장 높은 근 활성도가 나

**Table 4.** Comparison of lower extremity muscle activity (Mean ± *SD*) according to movement speed conditions in the upward phase during the barbell back squat (unit: mV)

| Variables | | Movement speed conditions | | | $\chi^2$ | *p* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Standard | Fast | Slow | | |
| Muscle activity | RF | .242±.111[a,c] | .317±.146[a,b] | .173±.085[b,c] | 16.222 | .000** |
| | VL | .341±.154[a,c] | .421±.174[a,b] | .262±.086[b,c] | 18.000 | .000** |
| | VM | .407±.256[a,c] | .533±.354[a,b] | .311±.146[b,c] | 18.000 | .000** |
| | BFL | .071±.045 | .086±.045[b] | .057±.036[b] | 14.222 | .000** |
| | ST | .040±.019[c] | .058±.032[b] | .029±.012[b,c] | 15.600 | .000** |
| | GM | .055±.026[a,c] | .074±.038[a,b] | .043±.017[b,c] | 16.222 | .000** |
| | GCN | .048±.045 | .110±.204 | .073±.138 | 4.667 | .107 |
| | TA | .178±.058[c] | .253±.126[b] | .129±.046[b,c] | 16.222 | .000** |

*Note*. Abbreviation. rectus femoris (RF), vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM), biceps femoris long head (BFL), semitendinosus (ST), gluteus maximus (GM), gastrocnemius (GCN), tibialis anterior (TA)
[a,b,c] Statistically significant difference at *p*<.01, [a] = Standard vs. Fast, [b] = Fast vs. Slow, [c] = Standard vs. Slow, **p*<.01, ***p*<.001

**Table 5.** Comparison of knee joint load (Mean ± *SD*) according to movement speed conditions in the downward phase during the barbell back squat (unit: N/BW)

| Variables | Movement Speed Conditions | | | $\chi^2$ | *p* |
|---|---|---|---|---|---|
| | Standard | Fast | Slow | | |
| Anterior(+)/Posterior(−) Peak shear force | -.322±.168 | -.423±.172 | -.386±.522 | 5.556 | .069 |
| Medial(+)/Lateral(−) Peak shear force | -1.378±.343 | -1.436±.398 | -1.665±.451 | 2.889 | .278 |
| Peak compressive force | -10.307±1.975[a] | -14.499±2.086[a,b] | -9.447±.961[b] | 16.222 | .000** |

*Note*. [a,b,c] Statistically significant difference at *p*<.01, [a] = Standard vs. Fast, [b] = Fast vs. Slow, [c] = Standard vs. Slow
**p*<.01, ***p*<.001

타났고, Slow 조건(*Z*=-2.668, *p*=.004)과 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 반막양근은 Fast 조건에서 가장 높은 근 활성도를 보였고, Slow 조건과 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(*Z*=-2.666, *p*=.004). 대둔근은 Fast 조건에서 가장 높은 근 활성도가 나타났으며, Standard 조건(*Z*=-2.547, *p*=.008), Slow 조건과 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

비복근 외측두는 Fast 조건에서 가장 높은 근 활성도를 보였으나, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 전경골근은 Fast 조건에서 가장 높은 근 활성도가 나타났고, Slow 조건과 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(*Z*=-2.666, *p*=.004).

### 4. 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건에 따른 구간별 무릎 관절의 부하량 비교

바벨 백 스쿼트 시 Standard, Fast, Slow 조건 간에 무릎 관절의 전후, 좌우 방향의 최대 전단력과 최대 압축력을 구간별로 비교하였다. 바벨 백 스쿼트 시 앉은 구간에서 Fast 조건이 가장 높은 무릎 관절의 최대 압축력이 발생하였으며 <Table 5>, Standard 조건(*Z*=-2.666, *p*=.004)과 Slow 조건(*Z*=-2.666, *p*=.004) 간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 전후 방향, 좌우 방향의 최대 전단력은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(*p*>.01).

바벨 백 스쿼트 시 일어서는 구간에서 Fast 조건이 가장 높은 최대 압축력이 발생하였으며<Table 6>, Fast 조건과

**Table 6.** Comparison of knee joint load (Mean ± *SD*) according to movement speed conditions in the upward phase during the barbell back squat (unit: N/BW)

| Variables | Movement Speed Conditions | | | $\chi^2$ | *p* |
|---|---|---|---|---|---|
| | Standard | Fast | Slow | | |
| Anterior(+)/Posterior(−) Peak shear force | .235±.094 | .422±.257 | .406±.658 | 8.667 | .010 |
| Medial(+)/Lateral(−) Peak shear force | -1.402±.466 | -1.719±.557 | -1.538±.314 | 4.667 | .107 |
| Peak compressive force | -10.462±1.996[a] | -14.458±2.155[a,b] | -9.492±.855[b] | 16.222 | .000** |

*Note*. [a,b,c] Statistically significant difference at $p < .01$, [a] = Standard vs. Fast, [b] = Fast vs. Slow, [c] = Standard vs. Slow
*$p$<.01, **$p$<.001

Standard 조건($Z$=-2.666, $p$=.004), Fast 조건과 Slow 조건 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($Z$=-2.666, $p$=.004). 바벨 백 스쿼트 시 전후 방향, 좌우 방향의 최대 전단력은 운동 속도 조건 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($p$>.01).

## DISCUSSION

본 연구는 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건에 따른 하지 근 활성도와 무릎 관절의 부하량을 비교하기 위해 저항성 트레이닝 숙련자인 성인 남성 총 9명이 참여하였다. 연구참여자는 운동 속도 조건인 Standard, Fast, Slow 조건의 바벨 백 스쿼트를 수행했으며, 하지의 근 활성도 데이터와 하지 관절의 운동학적 자료 및 무릎 관절의 방향별 최대 관절 합력을 산출 및 수집하여 비교 분석하였다.

바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건 간에 소요시간의 차이를 확인하기 위해 앉는 구간과 일어서는 구간의 소요시간을 측정하였다. 바벨 백 스쿼트 시 앉는 구간의 소요시간은 Standard 조건이 1.467초, Fast 조건 0.738초(Standard 조건 대비 50.7%), Slow 조건 2.637초(Standard 조건 대비 179.8%)로 측정되었으며, 운동 속도 조건 간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 일어서는 구간의 소요시간은 Standard 조건이 1.101초, Fast 조건 0.741초(Standard 조건의 67.3%), Slow 조건 2.134초(Standard 조건의 193.9%)로 측정되었고, 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 이 같이 사전에 정의한 운동 속도 조건과 유사한 소요시간을 확인하였고, 운동 속도 조건 간에 소요시간을 비교하여 세 가지 조건의 바벨 백 스쿼트의 운동 속도가 통계적으로 상이한 것을 확인하였다.

바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건에 따른 발목, 무릎, 엉덩 관절의 최대 굴곡 각도를 산출하였으며, 이는 각 조건의 바벨 백 스쿼트 시 최대 깊이까지 앉는 풀 스쿼트 수행 여부와 각 조건 간의 동작 일관성을 확인하기 위해 이용하였다. 일반적으로 풀 스쿼트는 무릎 관절의 100° 이상의 굴곡 운동으로 정의하고 있다(Escamilla, 2001; Schoenfeld, 2010). 본 연구에서 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건별 무릎 관절의 최대 굴곡 각도는 Standard 조건 122.04°, Fast 조건 123.84°, Slow 조건 120.70°이며, 모든 운동 속도 조건의 무릎 관절 최대 굴곡 각도가 100° 이상이므로 풀 스쿼트를 수행하였음을 확인하였다. 아울러 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건 간의 하지 관절의 최대 굴곡 각도가 통계적으로 유의한 차이가 없었으므로 운동 속도 조건 간의 동작이 일관되게 수행하였음을 확인하였다.

본 연구는 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건 간의 하지 근 활성도를 측정하였고, 앉는 구간과 일어서는 구간으로 구분하여 비교하였다. 바벨 백 스쿼트 시 앉는 구간에서 운동 속도 조건 간의 하지 근 활성도를 비교한 결과, Fast 조건에서 대퇴직근(rectus femoris, RF)과 전경골근(tibialis anterior, TA)이 가장 높은 근 활성도를 보였으며, 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 바벨 백 스쿼트 시 앉는 구간에서 신체 및 중량 부하물은 지면을 향해 가속 운동을 하며, 최저점에 도달하기 직전에 일어서는 구간으로 전환하기 위한 감속 운동이 발생한다(Dionisio, Almeida, Duarte & Hirata, 2008). 이때 발목, 무릎, 엉덩 관절은 굴곡 운동을 수행하며, 체중 및 중량 부하물의 가속 및 감속 운동을 제어하기 위한 근력이 동원된다(Gray, Ivanova & Garland, 2012; Robertson, Wilson & Pierre, 2008). 대퇴직근은 엉덩 관절의 굴곡과 무릎 관절의 신전 기능을 하며, 바벨 백 스쿼트 시 앉는 구간에서 대퇴직근은 Fast 조건의 빠른 동작 수행을 위한 엉덩관 절의 굴곡근(단축성 수축) 역할과 동시에 빨라진 신체 운동의 감속 및 제어를 위한 무릎 관절의 신전근(신장성 수축) 역할을 위해 높은 근 활성도가 나타난 것으로 판단된다. 바벨 백 스쿼트 운동에서 전경골근은 비복근과의 동시 수축(co-contraction)을 통해 발목 관절의 안정화 및 동적인 자세 안정성을 유지하기 위한 역할을 한다(Dan et al., 1999; Dionisio et al., 2008). Fast 조건의 바벨

백 스쿼트는 비교적 운동 속도가 빠르기 때문에 발목 관절의 안정성과 자세 조절을 위한 근력 동원이 요구되며, 전경골근이 Fast 조건의 빠른 동작에 대한 근력 동원, 발목 관절의 안정성 유지, 자세 조절을 위해 높은 근 활성도가 나타난 것으로 보인다.

바벨 백 스쿼트 시 일어서는 구간에서 운동 속도 조건 간의 하지 근 활성도를 비교한 결과, Fast 조건에서 대퇴직근, 외측광근, 내측광근, 대퇴이두 장두, 반막건근, 대둔근, 전경골근이 가장 높은 근 활성도를 보였으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 바벨 백 스쿼트 시 일어서는 구간에서 대퇴직근, 외측광근, 내측광근은 무릎 관절의 신전, 대둔근은 엉덩 관절의 신전 기능으로써 공통적으로 단축성 수축이 발생한다. Fast 조건의 빠른 운동 속도를 위해서는 무릎, 엉덩 관절 신전근의 높은 근력이 요구되기 때문에 다른 운동 속도 조건에 비해 높은 근 활성도가 나타난 것으로 보인다. 아울러 바벨 백 스쿼트 시 일어서는 구간에서 대퇴이두 장두, 반막건근, 전경골근은 하지 관절 신전근의 길항근으로 동시 수축(co-contraction) 작용을 하며, 발현된 신장성 수축력을 통해 관절의 안정성 및 자세 조절, 신체 운동의 감속에 기여한다(Gray et al., 2012; Robertson et al., 2008; Yoo, 2016). 본 연구의 Fast 조건은 비교적 빠른 동작이기에 신체 관절 및 자세 조절력이 더 요구될 것으로 판단되며, 이에 따라 Fast 조건의 바벨 백 스쿼트 시 일어서는 구간에서 주동근의 활성도가 증가에 따른 길항근의 동시 수축 작용으로 신장성 수축력이 증가된 것으로 생각된다.

바벨 백 스쿼트 시 무릎 관절은 큰 가동범위와 반복적인 굴신 운동으로 다른 하지 관절에 비해 무릎 관절 손상 위험이 높다. 본 연구와 같이 바벨 백 스쿼트 운동의 속도가 변화에 따라 무릎 관절에 작용하는 부하량에 영향을 줄 것으로 생각되며, 이를 확인하기 위해 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건 간에 무릎 관절의 방향별 최대 관절 합력을 산출하여 비교하였다. 그 결과, 바벨 백 스쿼트 시 앉는 구간과 일어서는 구간에서 Fast 조건이 가장 높은 무릎 관절의 최대 압축력(peak compressive force)이 발생하였다. 바벨 백 스쿼트 시 무릎 관절의 최대 압축력의 증가는 무릎 관절 손상의 위험성을 증가시키는 것으로 보고된다(Escamilla, 2001; Hartmann et al., 2013; Schoenfeld, 2010). 본 연구의 Fast 조건은 다른 운동 속도 조건에 비해 무릎 관절의 빠른 굴신 운동이 발생하고, 신체 운동의 가속과 감속이 크기 때문에 무릎 관절에 작용하는 압축력이 증가된 것으로 판단된다.

그러므로 바벨 백 스쿼트 시 빠른 운동 속도는 높은 하지 근 활성도로 인해 하지 근 기능 개선에 도움을 줄 것으로 판단되나, 무릎 관절에 작용하는 부하량은 증가될 수 있으므로 무릎 관절 손상에 유의할 필요가 있다. 다만 본 연구에서 바벨 백 스쿼트 시 적용한 중량 부하는 1-RM의 약 60%이며, 이는 근 비대 및 근 지구력 향상을 목적으로 하는 운동강도이다. 따라서 본 연구에서 도출된 결과는 근 비대 및 근 지구력 향상을 목표로 하는 저항성 훈련에 한해서 적용되며, 고중량 부하를 다루는 근력 및 근 파워 향상을 위한 훈련에서는 상이한 결과가 도출될 수 있다. 이 때문에 추후 연구에서는 저항성 훈련 시 운동 속도와 중량 부하량에 따른 상호작용 효과를 규명하여 관련 현장에 효과적인 저항성 훈련 방법을 제시할 필요가 있다.

## CONCLUSION

본 연구는 바벨 백 스쿼트 시 운동 속도 조건인 Standard, Fast, Slow 조건 간에 하지 근 활성도 및 무릎 관절의 부하량을 비교하였다. 그 결과, 바벨 백 스쿼트 시 앉는 구간에서는 Fast 조건에서 대퇴직근, 전경골근이 가장 높은 근 활성도를 보였고, 일어서는 구간은 Fast 조건에서 대퇴직근, 외측광근, 내측광근, 대퇴이두 장두, 반막건근, 대둔근, 전경골근이 가장 높은 근 활성도가 나타났다. 바벨 백 스쿼트 시 무릎 관절의 부하량은 모든 구간에서 Fast 조건이 가장 높은 최대 압축력이 발생하는 것을 확인하였다.

종합하면, 바벨 백 스쿼트 시 빠른 운동 속도로 수행할 경우 높은 근 동원력이 발생하여 그 효과성을 기대할 수 있으나, 동시에 무릎 관절의 작용하는 부하량이 증가될 수 있다. 따라서 바벨 백 스쿼트의 훈련 목표 및 운동 참여자의 체력 수준을 고려하여 운동 속도를 조절할 필요가 있으며, 특히 무릎 관절의 손상 위험에 유의하여 동작을 수행해야 한다.

## REFERENCES

Aspe, R. R. & Swinton, P. A. (2014). Electromyographic and kinetic comparison of the back squat and overhead squat. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *28*(10), 2827-2836.

Boyden, G., Kingman, J. & Dyson, R. (2000). A comparison of quadriceps electromyographic activity with the position of the foot during the parallel squat. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *14*(4), 379-382.

Caterisano, A., Moss, R. E., Pellinger, T. K., Woodruff, K., Lewis, V. C., Booth, W. & Khadra, T. (2002). The effect of back squat depth on the EMG activity of 4 superficial hip and thigh muscles. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *16*(3), 428-432.

Clark, D. R., Lambert, M. I. & Hunter, A. M. (2012). Muscle activation in the loaded free barbell squat: A brief review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *26*(4),

1169-1178.

Dan, B., Bouillot, E., Bengoetxea, A., Nöel, P., Kahn, A. & Cheron, G. (1999). Adaptive motor strategy for squatting in spastic diplegia. *European Journal of Paediatric Neurology*, *3*(4), 159-165.

Dionisio, V. C., Almeida, G. L., Duarte, M. & Hirata, R. P. (2008). Kinematic, kinetic and EMG patterns during downward squatting. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *18*(1), 134-143.

Escamilla, R. F. (2001). Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *33*(1), 127-141.

Gray, V. L., Ivanova, T. D. & Garland, S. J. (2012). Control of fast squatting movements after stroke. *Clinical Neurophysiology*, *123*(2), 344-350.

Hackett, D. A., Davies, T. B., Orr, R., Kuang, K. & Halaki, M. (2018). Effect of movement velocity during resistance training on muscle-specific hypertrophy: A systematic review. *European Journal of Sport Science*, *18*(4), 473-482.

Haff, G. G. & Triplett, N. T. (2015). *Essentials of strength training and conditioning 4th edition* Human kinetics.

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.

Hartmann, H., Wirth, K. & Klusemann, M. (2013). Analysis of the load on the knee joint and vertebral column with changes in squatting depth and weight load. *Sports Medicine*, *43*, 993-1008.

Kim, H. & Song, C. (2010). Effects of knee and foot position on EMG activity and ratio of the vastus medialis oblique and vastus lateralis during squat exercise. *Journal of Muscle and Joint Health*, *17*(2), 142-150.

Luera, M. J., Stock, M. S. & Chappell, A. D. (2014). Electromyographic amplitude vs. concentric and eccentric squat force relationships for monoarticular and biarticular thigh muscles. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *28*(2), 328-338.

Mario, D. T., Komaini, A., Welis, W., Rifki, M. S., Ihsan, N., Syafrianto, D. & Okilanda, A. (2022). Slow-motion in weight training: How does it affect muscle hypertrophy in untrained young men? *Journal of Physical Education & Sport*, *22*(10).

Murawa, M., Fryzowicz, A., Kabacinski, J., Jurga, J., Gorwa, J., Galli, M. & Zago, M. (2020). Muscle activation varies between high-bar and low-bar back squat. *PeerJ*, *8*, e9256.

Nishiwaki, G. A., Urabe, Y. & Tanaka, K. (2006). EMG analysis of lower extremity muscles in three different squat exercises. *Journal of the Japanese Physical Therapy Association*, *9*(1), 21-26.

Paoli, A., Marcolin, G. & Petrone, N. (2009). The effect of stance width on the electromyographical activity of eight superficial thigh muscles during back squat with different bar loads. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *23*(1), 246-250.

Pereira, P. E. A., Motoyama, Y. L., Esteves, G. J., Quinelato, W. C., Botter, L., Tanaka, K. H. & Azevedo, P. (2016). Resistance training with slow speed of movement is better for hypertrophy and muscle strength gains than fast speed of movement. *International Journal of Applied Exercise Physiology*, *5*(2).

Ratamess, N. (2021). *ACSM's foundations of strength training and conditioning* Lippincott Williams & Wilkins.

Robertson, D., Wilson, J. J. & Pierre, T. A. S. (2008). Lower extremity muscle functions during full squats. *Journal of Applied Biomechanics*, *24*(4), 333-339.

Schoenfeld, B. J. (2010). Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *24*(12), 3497-3506.

Slater, L. V. & Hart, J. M. (2016). The influence of knee alignment on lower extremity kinetics during squats. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *31*, 96-103.

Slater, L. V. & Hart, J. M. (2017). Muscle activation patterns during different squat techniques. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(3), 667-676.

Yoo, W. (2016). Comparison of hamstring-to-quadriceps ratio between accelerating and decelerating sections during squat exercise. *Journal of Physical Therapy Science*, *28*(9), 2468-2469.

Young, W. B. & Bilby, G. E. (1993). The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power, and hypertrophy development. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *7*(3), 172-178.