

Original Article

Open Access

다양한 유형의 불안정한 하중이 젊은 성인 여성의 스쿼트 시 코어와 하지 근활성도에 미치는 영향

서가은¹ · 하대운¹ · 유일영¹ · 김수용² · 김태규[†]

¹국립부경대학교 스마트헬스케어학부 해양스포츠전공, ²양산부산대학교병원 물리치료실

Effects of Different Types of Unstable Loads on Core and Lower Extremity Muscle Activity During Squatting in Young Adult Women

Ga-Eun Seo, M.Sc.¹ · Dae-Woon Ha, M.Sc.¹ · Il-Young Yu, P.T., Ph.D.¹ ·
Soo-Yong Kim, P.T., Ph.D.² · Tae-Gyu Kim, P.T., Ph.D.[†]

¹*Department of Marine-Sports, Division of Smart Healthcare, Pukyong National University*

²*Department of Physical Therapy, Pusan National University Yangsan Hospital*

Received: June 28, 2024 / Accepted: July 24, 2024

© 2024 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association

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 non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

| Abstract |

Purpose: The aim of this study was to investigate the effects of different types of unstable loads on core and lower limb muscle activity during squatting.

Methods: Nineteen subjects (all females) with resistance experience but no unstable resistance experience participated in the study. Subjects performed squats under three load conditions, and core and lower limb muscle activity was measured during eccentric and concentric contractions.

Results: During the eccentric contraction, core and hip flexor activity was significantly higher with the aqua bag than with the barbell or resistance band, and for the quadriceps, the resistance band was significantly higher than the barbell. During the concentric contraction phase, core and hamstring muscle activity was significantly higher with the aqua bag than with the barbell and elastic band ($p < 0.05$).

Conclusion: Squats with an aqua bag increase core and biceps brachii activation and can be recommended as a training method to improve trunk stability.

Key Words: Core stability, Lower extremity, Electromyography, Resistance training

†Corresponding Author : Tae-Gyu Kim (ktk7718@hanmail.net)

I. 서론

코어 근육(Core muscle)은 척추 정렬을 유지하고, 기능적 활동을 위한 적절한 움직임 제어를 제공하여 척추 안정성(Spinal stability)에 기여한다(Lehman et al., 2005). 코어 근육은 심부 근육과 표층 근육으로 구분된다. 심부 근육은 배가로근, 못갈래근, 배속빋근 등을 포함하며, 척추 본질의 안정성을 제공하고 척추를 중립 위치로 유지하도록 한다(Bergmark et al., 1989; Chang WD et al., 2015). 표층 근육은 배곧은근, 척추세움근 등을 포함하며, 몸통에 가해지는 내부 및 외부 하중에 반응하고 가슴우리 또는 다리 관절에 연결되어 추가적인 척추 제어를 가능하게 한다(Ezechieli et al., 2013; Hodges, 1999). 이러한 코어 근육들을 강화하기 위한 운동으로 플랭크(Plank), 스쿼트(Squat), 케틀벨 스윙(Kettlebell Swing) 등이 있다(Kim et al., 2016; McGill et al., 2012; Schwanbeck et al., 2009).

그중 스쿼트는 코어 근육뿐만 아니라 하지 근육(lower limb muscle)을 함께 강화시킬 수 있는 운동이다(Ditroilo et al., 2018; Escamilla et al., 2001). 다양한 스쿼트 방법 중 이전 연구에서는 한 다리 스쿼트(Single Leg Squat) 시 큰볼기근의 활성도가 증가한 것을 확인하였으며(Knoll et al., 2019), 불가리안 스쿼트(Bulgarian squats) 시 넙다리두갈래근, 배바깥근의 활성도가 유의하게 증가한 것을 확인하였다(Andersen et al., 2014). 이외에 스쿼트 훈련에서 코어 근육을 더 활성화시키기 위한 방법으로 불안정한 훈련(Unstable training)이 많이 사용되고 있다(Bressel et al., 2009; Nairn et al., 2015).

불안정한 훈련은 저항 운동에 불안정한 조건이 결합된 훈련으로 크게 불안정한 지면 훈련과 불안정한 하중 훈련으로 구분된다(Lawrence & Carlson LA, 2015). 그중 불안정한 하중 훈련은 바벨에 탄성 밴드로 하중을 매달거나, 물이 채워진 튜브 형태의 파이프인 아쿠아 백(Aqua bag)을 사용하여 상체에 불안정성을 생성한다(Rodríguez-Sanz et al., 2023; Williams et al., 2020). 이전 연구에서 탄성 밴드를 매단 바벨로 스쿼트

를 수행했을 때 배곧은근, 배바깥근, 넙치근의 활성도가 유의하게 증가하였으며(Lawrence & Carlson LA, 2015), 아쿠아 백을 사용해 스쿼트를 수행하는 동안 배바깥근과 못갈래근의 활성도가 증가하는 것이 확인되었다(Ditroilo et al., 2018).

이전 연구들을 통해 불안정한 하중이 스쿼트를 수행하는 동안 코어 및 하지의 근활성도를 증가시키는 것이 확인되었다. 하지만 여러 유형 간 불안정한 하중의 차이를 알아본 연구는 부족한 실정이다. 이전 연구에서는 고정되어 있는 스미스머신(smith machine)과 기본 바벨, 바의 양 끝에 원판을 스프링으로 매달아 불안정성을 생성하는 바벨(Tendo-destabilizing bar)에 대해 비교하였으나 척추세움근에 대한 활성도만 측정하였다(Fletcher & Bagley A, 2014). 이를 바탕으로 다양한 유형 간의 불안정한 하중에 따른 코어와 하지 근육을 비교함으로써 보다 효과적으로 몸통 안정성(Trunk stability)을 강화시킬 수 있는 방법을 알아보는 연구가 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 다양한 유형의 불안정한 하중이 스쿼트를 수행하는 동안 코어와 하지 근육의 활성도에 미치는 영향을 확인하여 몸통 안정성을 향상시킬 수 있는 더욱 효과적인 운동 방법을 제시하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

본 연구에서는 G-Power 3.1.9.7(Universitat Kiel, Germany)를 사용하여 연구에 필요한 최소 표본 수를 결정하였다. 표본 크기를 계산하기 위해 예비 실험을 기반으로 표면 근전도 검사를 실시하여 코어 근육들의 활성도를 주요 변수로 사용하였다. 효과 크기 0.41, 80% 검정력, 유의 수준 $\alpha=0.05$ 를 적용하여 최소 표본 수를 산정한 결과 12명으로 나타났다. 본 연구는 체육대학의 여자 대학생(연령: 22.53±2.48세, 키: 163.38±3.96cm,

몸무게: 55.52±5.51kg) 19명이 참여하였으며, 참여 기준은 스쿼트 훈련 경험은 있었으나, 불안정한 조건에서의 저항 훈련 경험은 없는 경우이며, 하지에 부상을 가진 대상자 또는 6개월 이내에 하지 부상 또는 수술을 받은 대상자들은 제외하였다(Lawrence & Carlson LA, 2015 ; Li et al., 2013). 본 연구 절차는 부경대학교의 생명윤리 위원회로부터 승인을 얻었고(1041386-2024 05-HR-62-02), 본 연구의 목적과 절차에 대해 자세한 설명을 들은 후 참여동의서를 작성한 19명이 자발적으로 참여하였다.

2. 측정방법 및 도구

1) 세 가지 하중 조건별 스쿼트 운동

기본 바벨, 탄성 밴드를 매단 바벨, 아쿠아 백을 사용하여 스쿼트를 실시하였다. 대상자의 발은 어깨 너비로 벌리고 발가락이 정면을 향하도록 하여 발뒤꿈치는 바닥에서 최대한 떨어지지 않도록 실시하였다. 시선은 정면을 향한 채로 무릎 굽힘 각도가 90°가 되는 지점까지 쪼그려 앉는 자세를 취하였다. 무릎 굽힘 각도가 90°가 되는 지점에 얇은 막대를 놔두고 엉덩이가 닿으면 처음 자세로 돌아오도록 하였다

(Dimis et al., 2021; Zemková et al., 2012). 모든 측정에서 발 너비는 어깨너비 폭으로 맞추어 바닥에 미리 표시해 둔 동일한 위치에서 진행하였다(Li et al., 2013). 동심성, 편심성 수축 구간별로 근활성도를 측정하기 위해 분당 60회 속도의 메트로놈에 맞춰 편심성 수축 2초, 동심성 수축 2초에 따라 스쿼트를 수행하였다(Dimis et al., 2021). 스쿼트 사이에는 2~3분 간의 휴식 시간을 제공하였으며, 안전을 고려하여 대상자가 스쿼트를 실시할 때마다 보조자 2명이 배치되었다(Li et al., 2013).

2) 불안정한 하중

물이 채워진 아쿠아 백과 탄성 밴드를 바벨에 매달아 불안정한 장치의 조건을 생성하였다(Glass & Albert RW, 2016; Lawrence & Carlson LA, 2015). 아쿠아 백의 특성을 고려하여 세 가지 조건에 대해 동일한 하중을 적용하기 위해 하중의 무게는 20kg으로 동일하게 진행되었다. Thomas 등(2007)은 최대 파워 출력을 생성하기 위한 시작으로 1RM의 30% 하중이 적합하다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 1RM의 30~40%가 20kg인 대상자를 선정하였다. 동일한 무게의 하중에 대해 불안정성 정도는 50%로 동일하게 맞추었다. 기



Fig. 1. Basic barbell (A) Barbell with elastic bands (B) Aqua bag (C).

본 바벨의 경우 10kg 바벨과 5kg 원판 두 개를 결합하였으며(Fig. 1A), 탄성밴드의 경우 10kg 바벨의 양쪽에 탄성밴드(폴업밴드 3단계, 고무나라, 대한민국)과 5kg 원판 두 개를 결합하여 불안정한 하중을 설정하였다(Lawrence & Carlson LA, 2015)(Fig. 1B). 아쿠아 백의 경우 가로 85cm, 세로 25m의 최대 무게가 40kg인 아쿠아 백(STC, 대한민국)을 사용하여 최대 무게의 50%로 물을 20kg 주입하여 하중을 설정하였다(Fig. 1C).

3) 근활성도 측정

스쿼트를 수행하는 동안 넙다리곧은근(Rectus femoris, RM), 안쪽넓은근(Vastus medialis, VM), 가쪽넓은근(Vastus lateralis, VL), 넙다리두갈래근(Biceps femoris, BF), 반힘줄근(Semitendinosus, ST), 배곧은근(Rectus abdominis, RA), 뭇갈래근(Multifidus, MF), 배바깥빗근(External oblique, EO), 배속빗근(Internal oblique, IO), 척추세움근(Erector spinae, ES)의 활성도를 표면 근전도 장비(Ultium, Noraxon, Inc., USA)를 사용하여 수집하고, Noraxon MR3 3.2 소프트웨어를 이용하여 수집한 자료를 처리하였다. 표면 전극을 피부에 부착하기 전에 일회용 면도기를 사용하여 전극 부착 부위를 면도하고 알코올 솜으로 닦아내었다. 이후 Ag/AgCl 재질 1회용 표면 전극을 전극을 피부에 2cm 간격으로 부착하였다. 각 근육들의 근전도 부착부위는 SENIAM (Surface Electromyography for Non-Invasive Assessment of Muscle)과 이전 연구를 참고하여 부착하였다(Freriks B & Hermens, 1999; McGill et al., 1996)(Table 1). 측정된 근활성도 자료는 총 5회의 수행 중 더 안정적인 중간 3회의 데이터를 분석에 사용하였으며, 3회 측정 평균값을 산출하여 자료 분석에 사용하였다(Collins et al., 2021). 이후에 각 하지와 코어 근육에 대한 최대 자발적 등척성 근수축(Maximal voluntary isometric contraction, MVIC)를 측정하였다. 넙다리곧은근과 가쪽넓은근은 대상자에게 앉은 자세에서 척추를 정렬하고 45°에서 무릎 펴기 운동(Knee extension)을 수행하며 최대 수축할 수 있도록 하였으며, 안쪽넓은근은 앉은 자세에서

척추를 정렬하고 75°에서 무릎 펴기 운동을 수행하며 최대 수축할 수 있도록 하였다. 넙다리곧은근, 가쪽넓은근, 안쪽넓은근 세 가지 경우 모두 실험자는 운동 방향의 반대 방향으로 최대 수동 저항을 가하도록 하였다(Muyor et al., 2020). 넙다리두갈래근과 반힘줄근의 경우 대상자에게 다리를 뻗은 상태로 엎드린 자세를 취하게 하였으며, 저항은 다리 후면의 발목 바로 위에서 수동으로 적용되었다. 대상자는 무릎을 완전히 펴는 자세에서 저항에 대항하여 최대 수축할 수 있도록 하였다(Schoenfeld et al., 2015). 배곧은근과 배속빗근의 경우 대상자는 안정되고 평평한 표면에 반듯하게 누워 무릎을 구부리고 보조자가 양발을 고정하고 대상자는 가슴 위로 팔짱을 끼고 “시작”이라는 신호에 따라 손의 저항에 맞서 최대한 몸을 구부려 수축할 수 있도록 하였다. 배바깥빗근의 경우 배곧은근과 배속빗근과 같은 절차를 따랐으나 측면으로 몸통을 비틀어 구부리며 최대 수축할 수 있도록 하였다. 뭇갈래근과 척추세움근은 대상자를 엎드려 누운 자세에서 다리가 움직이지 않도록 고정하고 어깨뼈 후면에 저항을 가한 후 등허리 펴기(Throacolumbar extension) 방향으로 최대 수축할 수 있도록 하였다(Bressel et al., 2009; Danneels et al., 2001). MVIC는 각 근육마다 5초간 3회 수행되었으며, 각 측정 사이에는 3분의 휴식 시간을 제공하였다. 측정된 자료는 처음 1초와 마지막 1초를 제외하고 3초간의 데이터 평균값을 사용하였으며, 3회 측정이 된 값은 평균값을 산출하여 분석에 사용하였다. 수집이 완료된 근활성도 자료는 대역 통과 필터(band pass filter)를 20-450Hz를 사용하여 필터링하였으며, 제곱평균제곱근(Root Mean Square, RMS)를 통하여 정량화하였다. 수집된 자료를 표준화 하기 위하여 최대 수의적 등척성 근수축(MVIC)에 대한 백분율(%MVIC)을 산출하였다(Kim et al., 2016; Schoenfeld et al., 2015).

3. 실험 절차

측정은 모두 동일한 실험실에서 진행되었으며, 대

Table 1. Placement of the EMG electrodes

Muscle	Electrode placement location
Rectus Femoris	The electrodes need to be placed at 50% on the line from the anterior spina iliaca superior to the superior part of the patella.
Vastus Medialis	Electrodes need to be placed at 80% on the line between the anterior spina iliaca superior and the joint space in front of the anterior border of the medial ligament.
Vastus Lateralis	lectrodes need to be placed at 2/3 on the line from the anterior spina iliaca superior to the lateral side of the patella.
Biceps Femoris	The electrodes need to be placed at 50% on the line between the ischial tuberosity and the lateral epicondyle of the tibia.
Semitendinosus	Electrodes need to be placed at 50% on the line between the ischial tuberosity and the medial epycondyle of the tibia.
Rectus Abdominis	Electrodes need to be placed at 3 cm lateral to the umbilicus.
External Oblique	Electrodes need to be placed at 15 cm lateral to the umbilicus.
Internal Oblique	Electrodes need to be placed midway between the anterior iliac crest and pubis, above the inguinal ligament.
Multifidus	Electrodes need to be placed on and aligned with a line from caudal tip posterior spina iliaca superior to the interspace between L1 and L2 interspace at the level of L5 spinous process (i.e. about 2 - 3 cm from the midline).
Erector Spinae (Longissimus)	Electrodes need to be placed at 2cm to the side of L3.

상자는 기본 바벨과 두 가지의 불안정한 하중(탄성 밴드를 매단 바벨, 아쿠아 백)의 총 세 가지 조건에 따른 스쿼트를 실시하였다. 대상자는 몸에 붙는 반바지를 착용하고 맨발로 실험에 참여하였다. 측정은 우세측(dominant) 다리로 진행하였으며, 우세측 다리는 축구공을 찰 때 사용하는 다리를 질문하여 결정하였다(Slater & Hart JM, 2017). 이후 넓다리곧은근, 가쪽넓은근, 안쪽넓은근, 넓다리두갈래근, 반힘줄근, 배곧은근, 배속빗근, 배바깥빗근, 못갈래근, 척추세움근의 활성도 자료를 수집하기 위하여 동일한 검사자가 대상자의 우세측 다리와 복부에 전극을 부착하였다. 피로와 학습 효과를 제거하기 위해 세 가지 조건의 순서를 제비뽑기를 통해 무작위로 정하였다(Li et al., 2013). 스쿼트를 수행하기 전 대상자들은 불안정한 하중에 익숙해지기 위해서 연습 시간을 1분간 가졌다(Ditroilo et al., 2018). 이후 각 조건에서 대상자들은 총 5회의 스쿼트를 수행하였으며, 각 조건 사이에 2~3분의 휴식 시간을 제공하였다(Li et al., 2013). 세 가지

하중 조건에서 스쿼트 운동을 수행하는 동안 동심성, 편심성 구간별로 근활성도를 측정하여 차이를 비교하였다.

4. 자료 분석

본 연구에서 수집된 자료는 IBM SPSS Statistics version 29 for Windows를 이용하여 기술통계량을 산출하였고, 수집된 자료에 대한 Shapiro-Wilk의 정규성 검정을 실시한 결과에 따라 모수검정 방법과 비모수검정 방법을 사용하였다. 불안정한 유형에 따른 하지 및 코어의 근활성도를 비교하기 위해 정규성을 만족하는 변인은 반복 측정 분산 분석(One-way Repeated Measure ANOVA, RMANOVA)을 실시하였고, 각 그룹 간의 비교를 위해 Bonferroni 사후 분석을 실시하였다. 정규성을 만족하지 않는 변인에 대해서는 k-대응표본(Friedman's Test)을 실시하였으며, 각 그룹 간의 비교를 위해 Wilcoxon의 부호순위 검정(signed rank test)을

실시하였다. 모든 통계적 유의 수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. 편심성 수축 구간에서의 코어 및 하지 근활성도

다양한 유형의 하중 스퀴트 시 코어 및 하지의 편심성 수축 구간의 근활성도를 비교한 결과, 배곧은근, 배바깥근, 배속빗근, 못갈래근, 척추세움근, 반힘줄근, 넙다리두갈래근의 활성도는 아쿠아 백(각각 8.90±6.00%, 18.56±7.31%, 7.82±5.98%, 29.67±12.44%, 32.65±14.27%, 12.71±6.54%, 9.41±4.32%)가 기본 바벨(각각 5.76±3.31%, 8.55±3.75%, 5.80±4.53%, 24.50±11.11%, 26.50±10.75%, 9.82±4.58%, 7.00±2.86%)와 탄성밴드(각각 6.09±4.85%, 8.35±4.37%, 6.12±4.88%, 25.66±10.87%, 26.77±10.51%, 9.54±4.8%, 7.52±2.43%) 보다 통계적으로 크게 나타났다. 또 넙다리곧은근, 안쪽넓은근의 활성도는 탄성밴드(각각 34.75±11.24%, 47.00±11.90%)

가 기본 바벨(각각 29.13±9.51%, 42.56±11.12%) 보다 통계적으로 크게 나타났으며, 가쪽넓은근의 경우 탄성밴드(40.72±9.42%)와 아쿠아 백(40.25±8.68%)가 기본 바벨(29.13±9.51%)보다 통계적으로 크게 나타났다 ($p<0.05$)(Table 2).

2. 동심성 수축 구간에서의 하지 및 코어 근활성도

동심성 수축 구간에서는 배곧은근, 배바깥근, 배속빗근, 못갈래근, 척추세움근, 반힘줄근, 넙다리두갈래근의 활성도는 아쿠아 백(각각 11.05±7.90%, 22.33±8.14%, 10.17±7.63%, 35.16±12.88%, 37.16±13.71%, 17.58±7.85%, 15.42±6.83%)가 기본 바벨(각각 7.59±5.17%, 10.22±3.92%, 7.17±4.69%, 29.02±11.21%, 29.48±11.39%, 13.12±7.18%, 12.00±4.26%)와 탄성밴드(각각 7.55±4.86%, 10.17±4.62%, 7.95±6.76%, 28.78±10.70%, 31.02±11.86%, 13.26±5.43%, 12.03±3.66%) 보다 통계적으로 크게 나타났다($p<0.05$). 하지만 넙다리곧은근, 가쪽넓은근, 안쪽넓은근에서는 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다($p>0.05$)(Table 3).

Table 2. Muscle activation during eccentric contractions in three types of unstable loaded squats

(%MVIC)

	BB ^a (N=19)	BAND ^b (N=19)	AQUA ^c (N=19)	$F(p)/X^2(p)$	post-hoc
RF	29.13±9.51	34.75±11.24	32.83±11.59	5.684(.007)*	a<b
VL	36.95±9.48	40.72±9.42	40.25±8.68	8.316(.016)**	a<b,c
VM	42.56±11.12	47.00±11.90	45.46±11.63	3.479(.042)*	a<b
ST	9.82±4.58	9.54±4.8	12.71±6.54	13.579(.001)**	a,b<c
BF	7.00±2.86	7.52±2.43	9.41±4.32	17.158(<.001)**	a,b<c
RA	5.76±3.31	6.09±4.85	8.90±6.00	23.474(<.001)**	a,b<c
EO	8.55±3.75	8.35±4.37	18.56±7.31	28.737(<.001)**	a,b<c
IO	5.80±4.53	6.12±4.88	7.82±5.98	15.895(<.001)**	a,b<c
MF	24.50±11.11	25.66±10.87	29.67±12.44	7.551(.002)*	a,b<c
ES	26.50±10.75	26.77±10.51	32.65±14.27	11.446(.001)*	a,b<c

Values are presented as mean ± standard deviation. *: $p<0.05$ †: non-parametric statistics,

BB:barbell BAND:barbell with resistance bands attached AQUA:aqua bag

RF : Rectus femoris VM : Vastus medialis VL : Vastus lateralis ST : Semitendinosus

BF : Biceps femoris RA : Rectus abdominis EO : External oblique

IO : Internal oblique MF : Multifidus ES : Erector spinae

Table 3. Muscle activation during concentric contractions in three types of unstable loaded squats (unit : %MVIC)

	BB ^a (N=19)	BAND ^b (N=19)	AQUA ^c (N=19)	F(p)/X ² (p)	post-hoc
RF	41.19±15.21	40.82±12.55	38.88±14.05	.939(.400)	
VL	49.57±12.33	52.25±11.01	50.20±12.19	1.586(.220)	
VM	58.16±15.93	58.56±15.22	56.67±16.01	.342(.713)	
ST	13.12±7.18	13.26±5.43	17.58±7.85	14.740(<.001)*	a,b<c
BF	12.00±4.26	12.03±3.66	15.42±6.83	9.304(.002)*	a,b<c
RA	7.59±5.17	7.55±4.86	11.05±7.90	20.632(<.001)* [†]	a,b<c
EO	10.22±3.92	10.17±4.62	22.33±8.14	77.275(<.001)*	a,b<c
IO	7.17±4.69	7.95±6.76	10.17±7.63	17.789(<.001)* [†]	a,b<c
MF	29.02±11.21	28.78±10.70	35.16±12.88	15.549(<.001)*	a,b<c
ES	29.48±11.39	31.02±11.86	37.16±13.71	15.604(<.001)*	a,b<c

Values are presented as mean ± standard deviation. *: p<0.05 †: non-parametric statistics, BB:barbell BAND:barbell with resistance bands attached AQUA:aqua bag
 RF : Rectus femoris VM : Vastus medialis VL : Vastus lateralis ST : Semitendinosus
 BF : Biceps femoris RA : Rectus abdominis EO : External oblique
 IO : Internal oblique MF : Multifidus ES : Erector spinae

IV. 고찰

본 연구에서는 건강한 성인 여성을 대상으로 다양한 유형의 불안정한 하중이 스쿼트 수행 시 코어 및 하지의 근활성도에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 연구 결과, 편심성, 동심성 수축 구간에서 코어 근육과 뒤넙다리근의 활성도가 기본 바벨과 탄성 밴드보다 아쿠아 백에서 유의하게 증가하였으며, 편심성 수축 구간에서 넙다리내갈래근의 활성도가 기본 바벨보다 탄성 밴드에서 유의하게 증가한 것으로 나타났다. 동심성 수축 구간에서 넙다리내갈래근의 활성도는 유의미한 차이가 없었다.

코어 근육의 편심성 수축 구간에서 기본 바벨과 탄성 밴드보다 아쿠아 백이 평균적으로 각각 50.14%, 46.75% 크게 나타났으며, 동심성 수축 구간에서는 50.62%, 47.15% 크게 나타났다. 이는 아쿠아 백이 기본 바벨과 탄성 밴드보다 불안정성을 더 제공했기 때문이라고 판단된다. 아쿠아 백으로 스쿼트를 수행하는 동안 물의 움직임으로 인한 가쪽 굽힘(lateral flexion)과 몸통 돌림(trunk rotation)의 가변성이 증가하고 아쿠아 백의 주요 축을 따라 흐르는 물의 흐름 방향이 지속

적으로 아쿠아 백의 무게 분포를 변화시키기 때문이다(Naim et al., 2015). 또한 불안정한 하중 조건이 균형 유지를 어렵게 만들어 지지 기반 내에서 무게 중심을 유지할 수 있게 코어 근육의 활성화를 증가시켰을 것으로 생각된다. 선행 연구에서 기본 바벨과 아쿠아 백을 사용해 스쿼트를 하는 동안 코어와 하지의 근활성도와 압력 중심(Center Of Pressure, COP)를 측정 한 결과, 기본 바벨보다 아쿠아 백에서 배바깥근과 못갈래근의 활성도가 크게 증가하는 것을 확인하였다. 또, 아쿠아 백 사용으로 내-외측 방향에서 더 많은 COP의 이동 속도와 이동 범위가 나타났다고 보고하였으며(Ditroilo et al., 2018), 이러한 결과는 우리 연구의 결과를 지지해 준다. 따라서, 아쿠아 백을 사용한 스쿼트가 코어 근육의 활성화를 증가시킬 수 있는 효과적인 훈련 방법이라 할 수 있다.

뒤넙다리근의 경우 편심성 수축 구간에서 기본 바벨과 탄성 밴드보다 아쿠아 백이 평균적으로 각각 31.91%, 27.28% 크게 나타났으며, 동심성 수축 구간에서는 31.25%, 30.37% 크게 나타났다. 이는 두 가지 이유로 설명될 수 있다. 스쿼트의 동심성 수축 구간에서 뒤넙다리근은 엉덩 관절을 펴 시키는 작용을 한다.

아쿠아 백의 불안정성이 스쿼트의 동심성 수축 동안 더 큰 몸통 굽힘을 유발했을 가능성이 있으며, 불안정한 하중으로 인해 뒤넙다리근 근육에 더 큰 수동 긴장을 가하게 되면 뒤넙다리근 근육은 긴장 상태에 놓이게 되어 근육의 활성도를 증가시킬 수 있다(Youdas et al., 2007). 또 뒤넙다리근의 활성화 증가는 등허리근막의 장력 증가와도 관련이 있다. 등허리근막은 엉치 결절인대를 통해 반대쪽 볼기 부위 및 뒤넙다리근에 연결되어 있어 등허리근막의 장력이 증가하면 반대측 큰볼기근과 중간볼기근 및 뒤넙다리근의 활성화가 증가한다. Lee 등(2015)은 코어 훈련으로 증가된 배가로근과 배바깥빗근의 뒤쪽 섬유 활성화가 등허리근막의 장력을 증가시키고 복강 내 압력을 생성하여 복부를 견고하게 만들어 허리뼈의 안정성을 증가시킨다고 보고하였다. 이는 아쿠아 백의 불안정성이 코어 근육의 활성도를 증가시키기에 따라 등허리근막의 장력을 증가시켜 뒤넙다리근의 활성화가 증가한 것이라고 볼 수 있다. 따라서 아쿠아 백은 코어 근육뿐만 아니라 뒤넙다리근의 활성화를 증가시킬 수 있는 훈련 방법으로 제안될 수 있다.

본 연구에서 넙다리네갈래근의 경우 편심성 수축에서 기본 바벨과 아쿠아 백보다 탄성 밴드가 활성도를 유의하게 증가시켰으며, 동심성 수축 구간에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 이는 탄성 밴드의 늘어나는 길이 변화가 스쿼트를 수행할 때 넙다리네갈래근의 편심성 수축 요구도를 증가시킨 것으로 생각할 수 있다. 하지만 이전 연구에서는 탄성 밴드를 매단 바벨 스쿼트에서 편심성, 동심성 수축 구간 모두 넙다리네갈래근의 활성화에서 유의미한 차이가 나타나지 않았다(Lawrence & Carlson, 2015). 이를 통해 탄성 밴드를 사용한 스쿼트가 넙다리네갈래근의 편심성 수축을 유도할 수 있는 하나의 방법으로 고려될 수는 있으나, 탄성 밴드가 스쿼트 수행 시 넙다리네갈래근의 등장성 수축에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 탄성 밴드를 사용한 스쿼트 동작 시 넙다리네갈래근에 대한 근활성도 해석에 주의할 필요가 있다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 아쿠아 백에서 사용할 수 있는 제한된 용량과 안정상의 이유로 절대 하중이 사용되어 불안정한 조건을 생성하였다. 이에 따라 낮은 부하의 하중 무게가 사용되었으며, 추후에는 아쿠아 백의 더 높은 하중을 고려할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다. 둘째, 본 연구에서는 스쿼트 시의 운동학, 운동 역학적 데이터를 측정하지 않았다. 향후 연구에서 관절 각도와 지면 반력과 같은 운동학, 운동 역학적 데이터를 같이 측정한다면 불안정한 하중이 스쿼트 시에 미치는 운동역학적 효과도 확인할 수 있을 것으로 판단된다. 마지막으로, 본 연구에서는 여자 대학생들을 대상으로 실험이 진행되었기 때문에 남성이나 노인에게 일반화할 수 없다.

V. 결론

본 연구에서는 다양한 유형의 불안정한 하중이 스쿼트 수행 시 코어와 하지 근활성도에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 뒤넙다리근과 코어 근육은 편심성, 동심성 수축에서 기본 바벨과 탄성 밴드보다 아쿠아 백에서 유의하게 증가하였으며, 넙다리네갈래근은 편심성 수축 구간에서 탄성 밴드가 기본 바벨보다 통계적으로 유의하게 증가하였다. 따라서, 아쿠아 백을 사용한 스쿼트는 코어와 넙다리두갈래근의 활성화를 증가시켜, 몸통 안정성을 향상시킬 수 있는 훈련 방법으로 권장할 수 있다.

References

- Andersen V, Fimland MS, Brenset O, et al. Muscle activation and strength in squat and Bulgarian squat on stable and unstable surface. *International Journal of Sports Medicine*. 2014;35(14):1196-1202.
- Behm DG, Leonard AM, Young WB, et al. Trunk muscle electromyographic activity with unstable and unilateral

- exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2005;19(1):193-201.
- Bergmark A. Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthopaedica Scandinavica*. 1989; 60(230):1-54.
- Bressel E, Willardson JM, Thompson B, et al. Effect of instruction, surface stability, and load intensity on trunk muscle activity. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2009;19(6):e500-e504.
- Chang WD, Lin HY, Lai PT. Core strength training for patients with chronic low back pain. *Journal of Physical Therapy Science*. 2015;27(3):619-22.
- Collins KS, Klawitter LA, Waldera RW, et al. Differences in Muscle Activity and Kinetics Between the Goblet Squat and Landmine Squat in Men and Women. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2021;35(10):2661-2668.
- Danneels LA, Vanderstraeten GG, Cambier DC, et al. A functional subdivision of hip, abdominal, and back muscles during asymmetric lifting. *Spine*. 2001;26(6): E114-E121.
- Dinis R, Vaz JR, Silva L, et al. Electromyographic and kinematic analysis of females with excessive medial knee displacement in the overhead squat. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2021;57:102530.
- Ditroilo M, O'Sullivan R, Haman B, et al. Water-filled training tubes increase core muscle activation and somatosensory control of balance during squat. *Journal of Sports Sciences*. 2018;36(17):2002-2008.
- Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, et al. Effects of technique variations on knee biomechanics during the squat and leg press. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2001;33(9):1552-1566.
- Ezechieli M, Siebert CH, Ettinger M, et al. Muscle strength of the lumbar spine in different sports. *Technology and Health Care*. 2013;21(4):379-386.
- Fletcher IM, Bagley A. Changing the stability conditions in a back squat: the effect on maximum load lifted and erector spinae muscle activity. *Sports Biomechanics*. 2014;13(4):380-390.
- Freniks B, Hemmers HJ. SENIAM 9: European Recommendations for Surface ElectroMyoGraphy, Results of the SENIAM Project. Enschede, Netherlands. Roessingh Research and Development BV. 1999.
- Glass SC, Albert RW. Compensatory muscle activation during unstable overhead squat using a water-filled training tube. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2018;32(5):1230-1237.
- Hodges PW. Is there a role for transversus abdominis in lumbo-pelvic stability?. *Manual Therapy*. 1999;4(2): 74-86.
- Kim SY, Kang MH, Kim ER, et al. Comparison of EMG activity on abdominal muscles during plank exercise with unilateral and bilateral additional isometric hip adduction. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2016;30:9-14.
- Knoll MG, Davidge M, Wraspir C, et al. Comparisons of single leg squat variations on lower limb muscle activation and center of pressure alterations. *International Journal of Exercise Science*. 2019;12(1):950.
- Lawrence MA, Carlson LA. Effects of an unstable load on force and muscle activation during a parallel back squat. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2015;29(10):2949-2953.
- Lee NG, You JS, Kim TH, et al. Intensive abdominal drawing-in maneuver after unipedal postural stability in nonathletes with core instability. *Journal of Athletic Training*. 2015;50(2):147-155.
- Lehman GJ, Hoda W, Oliver S. Trunk muscle activity during bridging exercises on and off a swissball. *Chiropractic & Osteopathy*. 2005;13:1-8.
- Li Y, Cao C, Chen X. Similar electromyographic activities of lower limbs between squatting on a reebok core board and ground. *The Journal of Strength & Conditioning*

- Research*. 2013;27(5):1349-1353.
- McGill S, Juker D, Kropf P. Appropriately placed surface EMG electrodes reflect deep muscle activity (psoas, quadratus lumborum, abdominal wall) in the lumbar spine. *Journal of Biomechanics*. 1996;29(11): 1503-1507.
- McGill SM, Marshall LW. Kettlebell swing, snatch, and bottoms-up carry: back and hip muscle activation, motion, and low back loads. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2012;26(1):16-27.
- Muyor JM, Martín-Fuentes I, Rodríguez-Ridao D, et al. Electromyographic activity in the gluteus medius, gluteus maximus, biceps femoris, vastus lateralis, vastus medialis and rectus femoris during the Monopodal Squat, Forward Lunge and Lateral Step-Up exercises. *PLoS One*. 2020;15(4):e0230841.
- Naim BC, Sutherland CA, Drake JD. Motion and muscle activity are affected by instability location during a squat exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2017;31(3):677-685.
- Rodríguez-Sanz J, Llurda-Almuzara L, López-de-Celis C, et al. Peroneal muscle activity during stable and unstable load exercises. A cross-sectional study. *Physical Therapy in Sport*. 2023;60:84-90.
- Schoenfeld BJ, Contreras B, Tiryaki-Sonmez G, et al. Regional differences in muscle activation during hamstring exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2015;29(1):159-164.
- Schwanbeck S, Chilibeck PD, Binsted G. A comparison of free weight squat to Smith machine squat using electromyography. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2009;23(9):2588-2591.
- Slater LV, Hart JM. Muscle activation patterns during different squat techniques. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2017;31(3):667-676.
- Thomas GA, Kraemer WJ, Spiering BA, et al. Maximal power at different percentages of one repetition maximum: Influence of resistance and gender. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2007;21(2):336-342.
- Williams MR Jr, Hendricks DS, Dannen MJ, et al. Activity of shoulder stabilizers and prime movers during an unstable overhead press. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 200;34(1):73-78.
- Youdas JW, Hollman JH, Hitchcock JR, et al. Comparison of hamstring and quadriceps femoris electromyographic activity between men and women during a single-limb squat on both a stable and labile surface. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2007;21(1): 105-111.
- Zemková E, Jeleň M, Kováčiková Z, et al. Power outputs in the concentric phase of resistance exercises performed in the interval mode on stable and unstable surfaces. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2012;26(12):3230-3236.