

한다리 스쿼트 시 중간볼기근의 생체되먹임 훈련이 동적 균형에 미치는 즉각적인 효과

양경혜¹ · 정종철² · 박두진^{3†}

¹부산가톨릭대학교 물리치료학과 대학원, ²양산부산대학교병원 물리치료실, ³부산가톨릭대학교 물리치료학과

Immediate Effect of Biofeedback Training of Gluteus Medius on Dynamic Balance during Single Leg Squat

Kyung-Hye Yang, P.T., M.S.¹ · Jong-Chul Jung, M.S.² · Du-Jin Park, P.T., Ph.D.³

¹Department of Physical Therapy, Graduate School, Catholic University of Pusan

²Department of Physical Therapy, Pusan National University Yangsan Hospital

³Department of Physical Therapy, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan

Received: July 14, 2023 / Revised: July 31, 2023 / Accepted: August 4, 2023

© 2023 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: This study aims to investigate the immediate effects of electromyography (EMG) biofeedback training of the gluteus medius on dynamic balance during single leg squats in healthy individuals.

Methods: The sample size in this study was estimated using the G-power program at an effect size of 0.4, a significance level (α) of 0.05, and a testing power of 0.90. In addition, as a result of considering the 10% dropout rate, this study recruited 21 healthy individuals (8 males and 13 females). All subjects measured the Y-balance test-lower quarter (YBT-LQ) and limits of stability (LOS) before and after a single leg squat (SLS) and SLS with EMG biofeedback training of the gluteus medius (SLSEB). They were trained for 10 minutes for each exercise, and two dynamic balance tests were performed three times.

Results: There was a significant difference in the YBT-LQ score between the two exercises ($p < 0.05$). In the YBT-LQ score, there was a significant difference before and after SLS and SLSEB ($p < 0.05$). SLSEB showed a significantly higher YBT-LQ score than SLS ($p < 0.05$). There was a significant difference in LOM between the two exercises ($p < 0.05$). However, there was no significant difference between the two exercises.

Conclusion: A single-leg squat with EMG biofeedback exercises is an effective method to improve dynamic balance, such as the YBT-LQ.

Key Words: Gluteus medius, Biofeedback, Single leg squat, Balance

†Corresponding Author : Du-Jin Park (djpark@cup.ac.kr)

I. 서론

중간볼기근은 엉덩관절의 일차적인 벌림근이며 (Conneely & O'Sullivan, 2008), 해당 근육에 의해 생산된 벌림 토크는 보행 동안 넓다리뼈에 대한 골반의 움직임을 조절하는데 중요하다(Neumann, 2010). 이 근육은 골반과 하지의 정상적인 움직임 패턴을 유지하고, 이마면에서 한쪽 다리로 서 있을 때나 디딤기(stance phase) 동안 상대적으로 고정되어 있는 골반과 엉덩관절에 안정성을 제공한다(Krause et al., 2009). 더하여 중간볼기근의 약증은 손상측의 디딤기 동안 골반의 경사(obliquity) 혹은 하강을 초래한다(Warshaw et al., 2022). 중간볼기근의 약증이 있는 대부분의 환자는 보행 동안 안정성을 유지하기 위하여 보상적인 몸통 기울임이 발생한다(Krautwurst et al., 2013). 몸통 기울임은 머리, 위팔, 몸통의 무게 중심점을 지지하고 있는 엉덩관절의 바깥쪽으로 옮기게 된다(Oatis, 2008). 그리하여 중간볼기근을 강화시키는 것은 기능적인 활동을 위해서 중요하다.

중간볼기근을 강화시킬 수 있는 운동으로 사이드 스텝(side-step), 사이드 스텝 스쿼트(side-step squat), 월 스쿼트(wall squat), 가쪽 스텝다운(lateral step down), 한다리 스쿼트(single leg squat) 등 다양한 방법들이 제시되고 있다(Moore et al., 2020). 이 중에서 한다리 스쿼트(single leg squat)를 수행하는 동안 중간볼기근은 무릎을 바깥쪽으로 굽히는 움직임에 대해 편심성 저항을 제공하고, 엉덩관절의 벌림 모멘트를 생산한다(Homan et al., 2013). 선행 연구에서 다양한 하지 운동 중 한다리 스쿼트가 중간볼기근의 근활성도를 증가시킬 수 있는 운동으로 제안되었다(Distefano et al., 2009; Han et al., 2018). 한다리 스쿼트를 실시하는 동안 과도한 무릎 박급이가 형성될 수 있으며(Ferber et al., 2002), 무릎 박급이는 중간볼기근 근활성도와 양의 상관성이 있음을 보고하였다(Neamatallah et al., 2020). 따라서 한다리 스쿼트를 실시하는 동안 선택적으로 중간볼기근의 근활성도를 증가시켜 무릎 박급이를 감소시킬 수 있는 방법이 필요하다.

운동을 수행하는 동안 선택적으로 근활성도를 증가시킬 수 있는 방법으로 근전도를 이용한 생체되먹임이 사용되고 있다. 근전도를 이용한 생체되먹임은 전기 기구를 이용하여 생리학적 신호를 지속적으로 보여주는 기술이며, 시각적 신호를 통하여 불수의적인 활동을 조절하도록 훈련하는 장치로 사용된다(Hagen et al., 2020; Holtermann et al., 2010; Jung et al., 2020). 이외에도 운동 조절과 운동 학습의 원리를 연구하는데 적합하다(Holtermann et al., 2009). Holtermann 등(2010)의 선행 연구에서 근전도를 이용한 생체되먹임을 통해 앞뿔근의 상부와 하부 중 하나를 선택적으로 활성화할 수 있다고 보고하였고, Jung 등(2020)은 근전도를 이용한 생체되먹임은 아래 등세모근과 중간등세모근의 근활성도를 선택적으로 촉진시킬 수 있다고 보고하였다. 반면에 Hagen 등(2020)은 24개월 동안 요실금 환자를 위한 근전도 생체되먹임을 이용한 골반저근 훈련이 일반적인 골반저근 훈련에 비해 유의미한 효과가 없음을 보고하였다.

일반적으로 근전도를 이용한 생체되먹임 운동은 선택적으로 근활성도를 증가시키는데 효과적이지만(Holtermann et al., 2009, 2010; Huang et al., 2013; Jung et al., 2020; Lim et al., 2014), 최근에는 상반되는 연구도 존재한다. 더하여, 한다리 스쿼트 훈련 중 근전도 생체되먹임을 이용한 중간볼기근의 활성화를 연구한 사례는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 한다리 스쿼트를 수행하는 동안 중간볼기근의 근전도 생체되먹임 훈련 유무에 따른 동적 균형에 미치는 즉각적인 효과를 규명하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

연구 대상자는 G-power (3.1.9.6, Düsseldorf University, Germany)를 이용하여 반복측정 일원배치분산분석 설계에 따라 효과 크기(effect size)=0.4, 검정력(power)=

0.9, 유의수준(α)=0.05로 설정한 결과, 연구 대상자는 최소 19명으로 산출되었다. 연구는 실험 중 대상자의 탈락율 10%로 설정하여 총 21명을 모집하여 진행하였다. 본 연구는 연구의 목적과 방법을 이해하고 실험에 자발적으로 동의한 자들로 실시하였다. 대상자 선정 조건은 지난 6개월 동안 골절, 근육 및 인대 손상과 같은 정형외과적 질환이 없는 자, 시야 결손이 없는 자, 전정 기관에 이상이 없는 자, 관절 움직임 범위에 제한이 없는 자들로 선정하였다(Park et al., 2021; Song & Park, 2016). 연구에 참여하기 전, 모든 대상자들은 연구 목적에 대한 내용과 함께 실험 방법에 대한 설명을 제공받았고, 헬싱키 선언에 입각하여 연구에 참여하겠다고 동의서를 작성 후 실험에 참여하였다. 본 연구에 참가한 대상자들의 평균 연령은 28.91 ± 10.5 세, 평균 키는 167.02 ± 7.13 cm, 평균 몸무게는 67.92 ± 8.94 kg이었다.

2. 측정방법 및 도구

1) 하부 사분의 일 균형 능력 검사(Y-balance test-lower quarter)

동적인 균형 능력을 측정하기 위하여 YBT 키트(Y Balance Test Kit, Functional Movement System, USA)를 사용하였으며, 하부 사분의 일 균형 능력 검사(Y-balance test-lower quarter, YBT-LQ)를 시행하였다. 평가 전, 대상자의 하지 길이를 측정하였다. 대상자는 편안하게 누운 상태에서 검사자가 대상자의 위앞엉덩뼈가시에서부터 안쪽복사뼈까지의 길이를 측정하였다. 이후 검사자는 대상자들에게 검사에 대한 설명과 검사 방법에 대한 시범을 보이며, 검사에 대한 교육을 실시하였다. 대상자들은 자신의 우세발을 YBT 키트의 중간 발판 위에 올려놓고, 한다리로 서있는 자세를 유지하며 자유로운 다리로 앞, 옆, 뒤로 표적을 최대한 멀리 밀도록 뻗었다. 총 3회 측정하였고, 측정할 도달 거리 중 가장 멀리 뻗은 값을 기록하였다. 3가지 방향으로 뻗어 도달한 거리의 값을 합산하였고, 앞서 측정

한 하지 길이에 대한 비율로 값을 산출하였다. 검사 중 선 자세를 유지하지 못하거나, 뻗기 판을 걷어차거나, 뻗기 판을 이용하여 서게 되었을 경우에는 실패한 것으로 간주하고 다시 검사를 시행하였다(Fig. 1). 선행 연구에서 YBT-LQ의 검사자 간, 검사자 내 신뢰도는 높게 나타났다(Ameida et al., 2017).

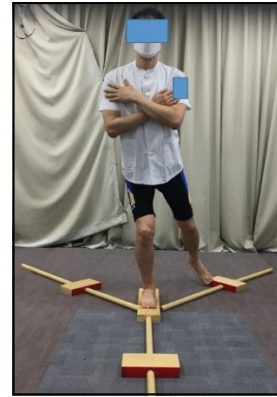


Fig. 1. Y-balance test lower-quarter.

2) 안정성 한계(Limits of stability)

안정성 한계를 측정하기 위하여 바이오레스큐(BIORescue, RM INGENIERIE, France) 시스템의 감압 플랫폼을 사용하였다. 610×580 mm의 판에 1cm^2 당 1개씩 총 1,600개의 압력센서가 선 자세나 움직임 동안 발생하는 발의 정적, 동적인 압력을 측정하고, 이를 면적(mm^2), 길이(cm), 평균속도(cm/s), 안정성 한계의 최대 범위 등으로 나타낸다(Lee et al., 2012). 실제 측정에 앞서 검사자가 시범을 보여주었고, 대상자에게 1회 연습할 수 있는 기회를 주었다. 발판 위에 양 발을 15도 정도 벌린 상태로 모니터를 바라보고 편안하게 서고, 실험 대상자와 모니터 간 거리는 1m를 유지시켰다. 화면에 나타나는 무게 중심을 뜻하는 빨간색 점을 총 8개의 방향(전, 후, 좌, 우, 좌측 전방, 우측 전방, 좌측 후방, 우측 후방)으로 움직이게 하여 모니터 속 화살표로 지시하였고, 각 방향으로 압력 중심을 이동시켜 10초간 유지하게 하였다. 측정값은 앞, 뒤, 좌,

우로 이동한 면적과 전체 이동 면적을 측정하였다. 모든 측정은 3회 실시하였고, 각 측정이 끝난 후에는 30초의 휴식시간을 부여하였다(Park et al., 2021). 이 검사는 이동한 면적의 값이 클수록 동적 균형 능력이 우수함을 의미한다. 이 검사-재검사 방법에서 급내 상관 계수는 0.84이상으로 높은 신뢰도가 입증되었다(Song & Park, 2016).

3) 근전도 생체피드백 장치

한다리 스쿼트 시 중간볼기근의 활성도에 대한 생체피드백을 위해 표면 근전도 측정 장비(2EM, Relive, Korea)을 사용하였다. 표면 근전도 전극은 전극간의 거리를 2 cm로 유지하며 근섬유 방향에 평행하게 부착하였다. 근전도 신호의 표본 추출률(sampling rate)은 1,000Hz로 설정하였으며, 주파수 대역폭(bandpass)은 0~500Hz를 사용하였다.

중간볼기근에 대한 전극은 엉덩뼈능선(ilic crest)와 큰돌기(greater trochanter) 사이 중간 지점에 근섬유에 방향으로 부착하였다(Muyor et al., 2020). 근활성도에 대한 정보는 2EM과 블루투스로 연결된 안드로이드 태블릿PC를 통해 중간볼기근의 근활성도를 실시간으로 제공한다. 근전도 생체피드백을 제공하기 위한 임계값 설정은 Jung 등(2020)의 방법을 참고하였다. 본 실험 전 임계값 설정을 위해서 한다리 스쿼트를 3회 실시하여 중간볼기근의 근활성도 평균값을 측정하였고, 평균값의 50% 되는 값을 임계값으로 설정하였다. 모든 대상자들은 한다리 스쿼트를 시행하는 동안 빨간색 막대가 임계값이 표시된 선을 계속 넘어간 상태로 유지할 수 있게 운동을 시행하였다.

3. 연구 방법

1) 한다리 스쿼트(Single leg squat)

실험을 시작하기 30분 전, 실험 대상자들은 검사자의 지도 아래 10분 간 한다리 스쿼트를 연습하였다.

우세측 다리는 본인이 공을 찰 때 사용하는 다리가 어딘지를 물어보고 결정하였다(Krause et al., 2009). 한다리 스쿼트 방법은 Mauntel 등(2014)의 방법을 사용하였다. 체중을 지지하지 않는 다리를 들고 무릎은 90도, 엉덩이는 45도 굽힌 상태에서 양손은 골반 위에 얹고, 머리와 눈은 정면을 향하게 하였다. 신발이 발의 내면 및 외면 동작을 일으킬 수 있기 때문에 맨발인 상태에서 검사를 실시하였다. 우세측 다리를 굽힐 때 각도기를 이용하여 60도 무릎 굽힘 깊이를 알려주었고, 무릎이 60도로 굽혀질 때의 엉덩이 높이에 봉을 설치하였다. 분 당 60박자의 속도로 메트로놈을 설정하였고, 무릎을 60도 굽히는데 2초, 한다리 스쿼트를 유지하는데 10초, 다시 무릎을 펴는데 2초의 시간을 부여하였다. 한다리 스쿼트를 실시한 후 10초간 휴식을 실시하였고, 총 3회 시행하였다(Fig. 2).



Fig. 2. Single leg squat.

2) 중간볼기근의 생체피드백을 이용한 한다리 스쿼트(Single leg squat with EMG biofeedback training of gluteus medius)

모든 대상자들은 기본적인 한다리 스쿼트 훈련과 동일한 방법으로 실시하면서 태블릿 PC 화면에 출력되는 4D-MT 프로그램을 사용하여 중간볼기근의 근활성도 변화를 실시간으로 확인하였다. 태블릿PC 화면 속 파란색 막대에서 임계값의 위치는 붉은색 선으로 표시가 되고, 근활성의 수준에 따라 파란색 막대 속에서 붉은색 표시가 상하로 움직이게 된다(Fig. 3). 대상



Fig. 3. EMG biofeedback of gluteus medius during single leg squat.

자들은 한다리 스쿼트를 시행하는 동안 빨간색 막대가 임계값이 표시된 선을 계속 넘어간 상태로 유지할 수 있게 운동을 시행하였다(Fig. 3). 분 당 60박자의 속도로 메트로놈을 설정하였고, 무릎을 60도 굽히는 데 2초, 한다리 스쿼트를 10초 간 유지할 수 있도록 하였고, 다시 무릎을 펴는데 2초의 시간을 부여하였다. 한다리 스쿼트를 실시한 후 10초간 휴식을 실시하였고, 총 3회 시행하였다.

3) 실험 절차

연구 대상자는 한다리 스쿼트 훈련 전을 Baseline으로 설정하고 YBT-LQ와 안정성 한계를 측정하였다. 그 다음, 한다리 스쿼트 후 YBT-LQ와 안정성 한계를 측정하였고, 30분간 휴식시간을 제공하였다. 근전도 생체피먹임을 이용한 한다리 스쿼트를 실시하였고, YBT-LQ와 안정성 한계를 측정하였다.

4. 자료 분석

본 연구에서는 콜모고로프-스미르노프 검정(Kolmogorov-Smirnov test)을 통한 분석으로 자료들의 정규 분포를 확인하였다. 한다리 스쿼트 방법에 따른 YBT-LQ와 안정성 한계를 비교하기 위해 반복측정 일원배치분산분석(repeated one way ANOVA)을 실시하였으며, 사후검정은 본페로니 교정(Bonferroni

correction)을 사용하였다. 통계분석 프로그램은 SPSS version 18.0을 사용하였으며, 통계적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. YBT-LQ

한다리 스쿼트를 실시하기 전, 한다리 스쿼트 실시 후, 그리고 근전도 생체피먹임을 이용한 한다리 스쿼트 실시 후 YBT-LQ 점수는 Table 1에 제시하였다. 한다리 스쿼트 조건에 따라 YBT-LQ 점수에서 유의한 차이가 있었다($p<0.05$)(Table 1). YBT-LQ 점수는 한다리 스쿼트를 실시한 경우(2.87 ± 0.18)가 실시하지 않은 경우(2.91 ± 0.12)보다 유의하게 감소하였으며, 근전도 생체피먹임을 적용한 경우(2.93 ± 0.18)가 적용하지 않은 경우(2.87 ± 0.18)보다 유의하게 증가하였다($p<0.05$)(Table 1).

2. 안정성 한계

한다리 스쿼트를 실시하기 전, 한다리 스쿼트 실시 후, 그리고 근전도 생체피먹임을 이용한 한다리 스쿼트 실시 후 안정성 한계의 이동 범위는 표1과 같다. 한다리 스쿼트 조건에 따라 안정성 한계의 좌측, 우측,

Table 1. Comparison of YBT-LQ and limits of stability within three conditions (N=21)

Variables	Baseline	SLS	SLSEB	F	p
YBT-LQ(% LL)	2.91 ± 0.12 ^a	2.87 ± 0.18 ^b	2.93± 0.18 ^c	14.12	<0.01
Left(mm)	9264.43 ± 2319.52 ^a	10771.92 ± 2230.36 ^b	10994.46 ± 1739.62 ^b	9.52	<0.01
Right(mm)	9483.52 ± 2080.49 ^a	10148.09 ± 2195.88 ^b	10397.19 ± 1900.37 ^b	3.68	0.03
Forward(mm)	11559.57 ± 3143.85	12756.57 ± 3853.28	12563.52 ± 2370.99	2.35	0.11
Backward(mm)	7188.47 ± 2577.25 ^a	8162.25 ± 2551.47 ^b	8823.19 ± 2963.66 ^{ab}	4.90	0.01
Total(mm)	18748.09 ± 4028.81 ^a	20919.47 ± 4230.73 ^b	21391.47 ± 3326.10 ^b	8.21	<0.001

YBT-LQ: Y-balance test-lower quarter, LL: leg length, SLS: single leg squat, SLSEB: single leg squat with electromyography biofeedback, Different superscript letters indicate significant difference ($p < 0.05$)

후방, 전체 이동 범위 넓이에서 유의한 차이가 있었다 ($p < 0.05$)(Table 1). 안정성 한계 범위는 한 다리 스쿼트 전 좌측(9264.43±2319.52), 우측(9483.52±2080.49), 후방(7188.47±2577.25), 전체(18748.09±4028.81)로의 이동 범위보다 한 다리 스쿼트 후 좌측(10771.92±2230.36), 우측(10148.09±2195.88), 후방(8162.25±2551.47), 전체(20919.47±4230.73)로의 이동 범위와 근전도 생체피드백을 이용한 한 다리 스쿼트 후 좌측(10994.46±1739.62), 우측(10397.19±1900.37), 후방(8823.19±2963.66), 전체(21391.47±3326.10)로의 이동 범위가 통계적으로 유의하게 더 컸으며($p > 0.05$), 한다리 스쿼트를 실시하는 동안 근전도 생체피드백 적용 유무에 따른 유의한 차이는 없었다(Table 1).

IV. 고찰

본 연구는 중간볼기근의 근전도 생체피드백을 이용한 한다리 스쿼트 운동이 동적 균형에 미치는 즉각적인 효과에 대해 알아보았다. 본 연구의 결과를 통하여 근전도 생체피드백을 이용한 한다리 스쿼트가 YBT-LQ 점수를 향상시키고, 한다리 스쿼트와 근전도 생체피드백을 이용한 한다리 스쿼트가 안정성 한계 범위를 넓힌다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서 한다리 스쿼트 적용 전보다 후에 YBT-LQ 점수가 낮았으나, 근전도 생체피드백을 이용한 한다리 스쿼트를 실시하였을 때에는 YBT-LQ 점수

가 가장 컸다. 한다리 스쿼트는 중간볼기근의 근활성도를 증가시킬 수 있는 운동 중에 활성도가 가장 높게 나타났으며(Distefano et al., 2009), 이를 바탕으로 Han 등(2018) 역시 일상에서 기능적인 활동을 촉진할 수 있는 달린사슬운동 중 한다리 스쿼트 운동을 선택하여 중간볼기근에 대한 근활성도를 규명하였다. 더하여, 12가지 재활 운동을 비교한 선행 연구에서도 한다리 스쿼트는 2번째로 높은 중간볼기근의 활동과 더불어 달린사슬운동에서는 가장 높은 중간볼기근의 활동을 보였다(Boren et al., 2011). 본 연구에서는 근전도 생체피드백을 이용한 한다리 스쿼트 훈련만이 훈련 전에 비해 YBT-LQ 점수가 높게 나타났다. 이는 근전도 생체피드백을 이용한 한다리 스쿼트 훈련이 선택적인 중간볼기근의 근활성도를 증가시키고, 지지측 다리가 한다리 서기를 하는 동안 골반과 엉덩관절에 안정성을 제공하여 반대측 다리가 더 멀리 뻗을 수 있도록 해준 것이라 사료된다.

최근 연구에서는 발목불안정성 유무와 상관없이 YBT를 수행하는 동안 중간볼기근의 두께가 일정하게 증가함을 보였다(DeJong et al., 2020). 뇌졸중 환자들을 대상으로 한 선행 연구에서도 중간볼기근 강화 훈련을 실시한 결과, 균형 능력이 향상되었다고 보고하였다(Park et al., 2015; Park, 2016). 이외에도 발목불안정성 대상자는 정상인에 비해 YBT 시 중간볼기근의 활동이 유의하게 감소되어 발목불안정성 재활에서 해당 근육의 강화가 필요함을 언급하였다(Fatima et al., 2020). 비록 중간볼기근의 근활성도를 측정하지 않았

지만, 근전도 생체피막임을 이용한 한다리 스쿼트를 하는 동안 실시간으로 중간볼기근의 수축을 확인하였기 때문에 선택적으로 중간볼기근의 활성도를 증가시켰을 것이라 예상된다. 따라서 한다리 스쿼트는 균형을 향상시키는 좋은 운동 방법이지만, 특히 중간볼기근에 근전도 생체피막임을 적용하는 것은 더 효과적인 방법이라 할 수 있다.

본 연구에서 근전도 생체피막임을 이용한 한다리 스쿼트와 한다리 스쿼트만 수행하였을 때 모두 안정성 한계의 이동 범위가 유의하게 향상되었다. Kim과 Lee(2021)의 연구에서 한다리 스쿼트를 적용한 결과 안정성 한계의 최대 이동거리가 증가하였다고 보고하였고, 이는 본 연구의 결과를 뒷받침해준다. 두 운동간을 비교하였을 때 YBT-LQ 점수 변화는 근전도 생체피막임을 이용한 한다리 스쿼트가 유의하게 증가하였지만, 안정성 한계 이동 범위에서는 두 운동 간에 유의한 차이가 없었다. 이는 즉각적인 효과를 연구하였기 때문에 검사 시 우세측 다리 뿐만 아니라 비우세측 다리도 동적 균형 유지에 영향을 줄 수 있게 개입이 되었을 것이라 생각된다.

한다리 스쿼트는 중간볼기근의 근활성도를 증가시킬 수 있는 좋은 운동이지만 과도한 무릎 박급이가 보상작용으로 나타날 수 있고, 이로 인해 중간볼기근의 근활성도가 감소할 수 있다. 그래서 본 연구에서는 한다리 스쿼트를 실시하는 동안 중간볼기근에 근전도 생체피막임을 적용하여 동적 균형의 변화에 대해 조사하였다. 2가지 형태의 한다리 스쿼트를 적용한 경우가 적용하지 않은 경우보다 동적 균형이 더 향상되었으며, 동적 균형의 난이도가 높을수록 한다리 스쿼트를 실시하는 동안 근전도 생체피막임을 적용한 경우가 적용하지 않은 경우보다 동적 균형 점수가 더 좋았다. 따라서 동적 균형을 향상시킬 수 있는 방법으로 한다리 스쿼트는 유용한 방법이라 할 수 있으며, 특히 한다리로 균형을 유지해야 하는 경우와 같이 난이도가 높은 동적 균형일수록 중간볼기근의 근활성도를 높일 수 있는 근전도 생체피막임을 적용한 한다리 스쿼트를 적용하는 것을 제안한다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫 번째, 본 연구는 20~30대 21명의 일반인을 대상으로 진행되었기 때문에 모든 연령층에 일반화하기에 어려움이 있다. 추후 연구에서는 다양한 연령층에서 근전도 생체피막임을 이용한 한다리 스쿼트가 균형에 미치는 효과에 대한 조사가 필요해 보인다. 두 번째, 본 연구는 즉각적인 효과만을 조사하였기 때문에 차후에는 장기적인 중재 후 효과에 대한 연구가 필요하다. 마지막으로 DeJong 등(2020)은 큰볼기근 두께 변화/중간볼기근 두께 변화를 나타낸 선택적 활동 비율에서 YBT 3방향 모두에서 1.10~1.19로 큰볼기근의 활동이 더 많음을 보여주었다. 그리하여 향후에는 큰볼기근과 중간볼기근의 동시 근전도 생체피막임 훈련과 단일 근육의 생체피막임 훈련의 효과를 규명하는 연구가 이루어지길 희망한다.

V. 결론

중간볼기근의 생체피막임 적용 유무와 상관없이 한다리 스쿼트 운동은 동적 균형 능력을 개선하는데 효과적이었다. 더하여 중간볼기근의 근전도 생체피막임을 이용한 한다리 스쿼트 운동은 일반적인 한다리 스쿼트 운동에 비해 YBT 같은 동적 균형 능력을 향상시키는데 보다 효과적인 방법이라 생각된다.

Acknowledgments

이 논문은 2023년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

References

Almeida GPL, Monteiro IO, Marizeiro DF, et al. Y balance test has no correlation with the stability index of

- the Biodex balance system. *Musculoskeletal Science and Practice*. 2017;27:1-6.
- Boren K, Conrey C, Le Coguic J, et al. Electromyographic analysis of gluteus medius and gluteus maximus during rehabilitation exercises. *International Journal of Sports Physical Therapy*. 2011;6(3):206-223.
- Conneely M, O'Sullivan K. Gluteus maximus and gluteus medius in pelvic and hip stability: isolation or synergistic activation? *Physiotherapy Ireland*. 2008;29(1):6-10.
- DeJong AF, Mangum LC, Hertel J. Ultrasound imaging of the gluteal muscles during the Y-balance test in individuals with or without chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*. 2020;55(1):49-57.
- Distefano LJ, Blackburn JT, Marshall SW, et al. Gluteal muscle activation during common therapeutic exercises. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2009;39(7):532-540.
- Fatima S, Bhati P, Singla D, et al. Electromyographic activity of hip musculature during functional exercises in participants with and without chronic ankle instability. *Journal of Chiropractic Medicine*. 2020;19(1):82-90.
- Ferber R, Davis IM, Hamill J, et al. Kinetic variables in subjects with previous lower extremity stress fractures. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2002;34(5):S5.
- Hagen S, Elders A, Stratton S, et al. Effectiveness of pelvic floor muscle training with and without electromyographic biofeedback for urinary incontinence in women: multicentre randomised controlled trial. *British Medical Journal*. 2020;371:m3719.
- Han HR, Yi CH, You SH, et al. Comparative effects of 4 single-leg squat exercises in subjects with gluteus medius weakness. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2018;27(6):513-519.
- Holtermann A, Mork PJ, Anderson LL, et al. The use of EMG biofeedback for learning of selective activation of infra-muscular parts within the serratus anterior muscle a novel approach for rehabilitation of scapular muscle imbalance. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2010;20(2):359-365.
- Holtermann A, Roelvelde K, Mork PJ, et al. Selective activation of neuromuscular compartments within the human trapezius muscle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2009;19(5):896-902.
- Homan KJ, Norcross MF, Goerger BM, et al. The influence of hip strength on gluteal activity and lower extremity kinematics. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2013;23(2):411-415.
- Huang HY, Lin JJ, Guo YL, et al. EMG biofeedback effectiveness to alter muscle activity pattern and scapular kinematics in subjects with and without shoulder impingement. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2013;23(1):267-274.
- Jung JC, An DI, Yoon SH, et al. The immediate effects of electromyographic biofeedback training on muscle activity of trapezius in patients with subacromial impingement syndrome. *PNF and Movement*. 2020;18(1):107-116.
- Kim HS, Lee KC. Effects of single leg jumping and squat training in various directions on balance ability in healthy individuals. *Archives of Orthopedic and Sports Physical Therapy*. 2021;17(2):7-15.
- Krause DA, Jacobs RS, Pilger KE, et al. Electromyographic analysis of the gluteus medius in five weight-bearing exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2009;23(9):2689-2694.
- Krautwurst BK, Wolf SI, Heitzmann DW, et al. The influence of hip abductor weakness on frontal plane motion of the trunk and pelvis in patients with cerebral palsy. *Research in Developmental Disabilities*. 2013;34(4):1198-1203.
- Lee KJ, Kim SJ, Song CH. Effects of cognitive task balance

- training using BIORescue program on static balance, dynamic balance and visual perception in elderly. *Journal of Special Education & Rehabilitation Science*. 2012;51(1):211-229.
- Lim OB, Kim JA, Song SJ, et al. Effect of selective muscle training using visual EMG biofeedback on infraspinatus and posterior deltoid. *Journal of Human Kinetics*. 2014;44:83-90.
- Mauntel CM, Frank BS, Begalle RL, et al. Kinematic differences between those with and without medial knee displacement during a single-leg squat. *Journal of Applied Biomechanics*. 2014;30(6):707-712.
- Moore D, Semciw AI, Pizzari T. A systematic review and meta-analysis of common therapeutic exercise that generate highest muscle activity in the gluteus medius and gluteus minimus segments. *International Journal of Sports Physical Therapy*. 2020;15(6):856-881.
- 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.
- Neumann DA. Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for rehabilitation., 2nd ed. St. Louis. Mosby, Livingstone. 2010.
- Oatis CA. Kinesiology: the mechanics and pathomechanics of human movement., 2nd ed. Philadelphia. Lippincott Williams & Wilkins. 2008.
- Park HK, Lee KS, Park J. A comparative study on the immediate effect of single limb stance exercise according to the supporting surface on the dynamic balance ability and abdominal muscle thickness of college students in their twenties. *Journal of The Korean Society of Integrative Medicine*. 2021;9(1):1-11.
- Park JJ, So HJ, Shin WS. Effects of gluteus medius strengthening training using pressure biofeedback unit for muscle function and balance in stroke patients. *Journal of Korean Physical Therapy*. 2015;27(4):221-227.
- Park JS. A study on the gluteus medius intensifying exercise using the sling's effect on chronic stroke patient's muscle strength and balance ability. Daegu University. Dissertation of Master's Degree. 2016.
- Song GB, Park EC. The effects of balance training on balance pad and sand on balance and gait ability in stroke patients. *Journal of The Korean Society of Physical Medicine*. 2016;11(1):45-52.
- Warshaw ME, Baltz MJ, Hollman JH. Gait synchronized neuromuscular electrical stimulation to the gluteus medius on a patient with right hemiparesis: a case report. *Physiotherapy Theory and Practice*. 2022;38(13):3180-3186.