

Original Article

Open Access

엎드려 무릎관절 굽힘 자세에서 엉덩관절 펴 동작 시 무게 부하 변화에 따른 큰볼기근과 넓다리두갈래근의 두께 비교

장은미¹ · 정다은^{2†}

¹인제대학교 물리치료학과, ²김해대학교 물리치료과

A Comparison of Gluteus Maximus Muscle and Biceps Femoris Muscle Thickness According to Weight Load during Prone Hip Extension with Knee Flexion Exercises

Eun-Mi Jang, P.T., Ph.D.¹ · Da-Eun Jung, P.T., Ph.D.^{2†}

¹Department of Physical Therapy, College of Healthcare Medical Science and Engineering, Inje University

²Department of Physical Therapy, Gimhae College

Received: October 12, 2023 / Revised: November 2, 2023 / Accepted: November 8, 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 set out to investigate the effects of prone hip extension with knee flexion (PHEKF) exercises according to external load on the thickness of the gluteus maximus (Gmax) and biceps femoris (BF).

Methods: Twenty-three healthy men participated in this study. All subjects randomly practiced PHEKF under the burden of external loads created by sandbags (0 kg, 1 kg, and 2 kg). Rehabilitative ultrasound imaging (RUSI) was used to measure the thickness of the Gmax and BF during the PHEKF with different external loads.

Results: The thickness of the Gmax was highest during the 2 kg resistance exercise and lowest at 0 kg. The thickness of the Gmax was significantly increased at 1 kg and 2 kg compared to 0 kg and significantly increased at from 1 kg to 2 kg ($p < 0.05$). The thickness of the biceps femoris was highest at 0 kg and lowest at 2 kg. The thickness of the biceps femoris muscle was significantly reduced at 1 kg and 2 kg compared to 0 kg ($p < 0.05$), but there was no significant difference between 1 kg and 2 kg ($p > 0.05$).

Conclusion: The thickness of the Gmax was increased by applying PHEKF with a higher external load, whereas the muscle thickness of the biceps femoris decreased. These results suggest that the application of external loads during PHEKF exercises may be an effective method for selective strengthening of the Gmax.

Key Words: Ultrasonography, External loads, Muscle thickness, Gluteus maximus and Biceps femoris

†Corresponding Author : Da-Eun Jung (daeun0122@naver.com)

I. 서론

큰볼기근은 걷기, 달리기, 리프팅과 같은 기능적인 활동을 수행할 때 엉치엉덩관절에 안정성을 제공하며, 하지에서 강력한 펌 및 바깥돌림근으로 작용한다. 큰볼기근의 약화는 엉덩관절 안쪽돌림과 모음을 초래하여 하지 움직임 조절뿐만 아니라 체중부하에도 영향을 미쳐 신체 정렬과 균형 조절 능력이 저하된다(Amabile et al., 2017). 또한, 큰볼기근의 약화 및 활성도의 감소는 넙다리 두갈래근의 과도한 활성화를 야기할 수 있으며, 허리의 통증을 유발할 뿐만 아니라 하지 관절의 운동 사슬에도 영향을 미친다(Janda, 1996; Sahrman, 2002; Vogt & Banzer, 1997). 그러므로, 큰볼기근의 강화는 서기 또는 보행을 하는 동안 하지의 안정적인 움직임과 골반의 조절 능력 향상을 위해 하지 손상으로 인한 재활운동 시 우선적으로 고려되어야 하는 부분이라고 할 수 있다(Day & Uhl, 2013; Lehman et al., 2004; Wilson et al., 2005).

큰볼기근 강화에 효과적인 운동 방법으로 엎드려 무릎 굽힘 상태에서 엉덩관절 펌(prone hip extension with knee flexion, PHEKF) 운동이 잘 알려져 있다. Sakamoto 등(2009)의 연구에서 엎드린 자세에서 무릎관절을 90도 굽힘 상태로 엉덩관절 펌 운동을 실시하는 것은 큰볼기근의 활성을 최대로 나타내는데 효과적인 방법이라고 하였다. Kang 등(2013)의 연구에서는 엎드린 자세에서 무릎관절 90도 굽힘과 동시에 엉덩관절 30도 벌림 조건에서 엉덩관절 펌 동작을 실시하였을 때 큰 볼기근의 활성도가 가장 높게 나타났다고 보고하였다.

운동 시 무게 부하의 적용은 하지의 근육 강화에 효과적인 방법으로 제시되고 있는데, 이는 근육과 신경의 협응력의 증가는 물론 근파워를 증가시킬 수 있는 요소가 된다고 보고되었다(Hansen & Cronin, 2009; Stone et al., 2003). 정상인의 발목에 무게 부하를 적용한 뒤, 안정성 한계를 측정한 이전의 연구에서 체중의 1% 무게 부하의 적용은 정적 균형을 향상시킴을 확인할 수 있었다(Jung et al., 2015). 근력의 향상은 근육 크기 증가에 따른 직접적인 결과로 간주되며, 근육

사용의 제한은 근육 크기를 감소시켜 근력도 함께 소실되므로 근육의 크기와 근력은 높은 상관관계를 가진다고 간주된다(Gollnick, 1983).

엎드려 무릎 굽힘 상태에서 엉덩관절 펌 운동의 적용에 대한 최근의 연구는 하지 근육의 활성화를 측정하기 위해 근전도(electromyography, EMG)를 사용한 연구가 많이 실시되었다(Kang et al., 2013; Jeon et al., 2016). 그러나, 표면 근전도의 경우 측정하고자 하는 근육에서 발생하는 활성도와 인접한 다른 근육들과의 활성도를 구분하는 데 어려움이 있어 측정 오차가 발생할 수 있다(Teyhen et al., 2005). 최근 임상에서 적용하고 있는 초음파 영상은 측정 과정이 비교적 간단하고, 대상 근육을 직접 실시간으로 관찰할 수 있으며, 관찰한 내용을 정량화할 수 있다는 장점이 있다(Chi-Fishman, 2004). Whittaker 등(2010)의 연구에서 초음파 측정 장비를 이용한 근육의 두께 측정은 근육의 비대와 위축을 평가하는데 사용되어 왔으며, Gloria 등(2004)은 초음파 영상을 이용하여 근력강화 프로그램에 의한 근력 향상을 평가할 수 있다고 보고하였다. 초음파를 이용한 연구로써 복부 근육의 근활성도와 근육의 두께를 측정한 연구는 다수 있었으나(Ha et al., 2013; Teyhen et al., 2008), 엎드려 무릎 굽힘 상태에서 엉덩관절 펌 동작 시 무게 부하의 적용과 관련하여 하지의 근육 두께를 직접 비교한 연구는 부족한 실정이다.

그러므로, 본 연구는 실시간 초음파 영상을 이용하여 엎드려 무릎 굽힘 상태에서 엉덩관절 펌 동작 시 무게 부하 변화가 큰볼기근과 넙다리 두갈래근의 두께 변화에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고 큰볼기근의 선택적인 강화를 위해 가장 적합한 운동 방법을 알아보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 경남 G시에 소재하는 G대학교에 재학

중인 건강한 성인 남자를 대상으로 하였으며, 교내에 모집 공고문을 게시하여 총 23명의 연구 대상자를 모집하였다. 경력 20년 이상의 물리치료사에 의해 엉덩관절 펴근에 대한 도수근력검사를 실시하여 4등급 이상인 자, 엎드린 자세에서 엉덩관절 펴 동작을 수행할 때 통증이나 관절 가동성에 제한이 없는 자를 대상으로 하였다. 허리나 골반의 관절 및 하지에 통증이 있는 경우, 과거 또는 현재에 근골격계와 심혈관계에 이상이 있는 경우와 엉덩관절 펴 운동 시 통증이 있는 경우는 제외하였다(Kang et al., 2013). 본 연구의 표본 크기는 G-Power 프로그램 3.1.0(버전 3.1, Heinrich Heine-University Düsseldorf, Germany)을 사용하여 계산하였다. 파일럿 연구를 실시하여 도출된 데이터를 기반으로 유의한 알파 수준 95%에서 최소 출력 80%를 얻기 위해 필요한 추정 표본 크기는 14였다. 연구 진행 전에 모든 연구 대상자에게 연구의 목적과 방법에 대하여 설명을 한 후, 자발적으로 참여에 동의한 경우에만 실험에 참여할 수 있도록 하였다.

2. 측정방법 및 도구

1) 측정도구

큰볼기근과 넙다리 두갈래근의 두께를 측정하기 위해 재활치료용 초음파 장치(Rehabilitative Ultrasound Imaging(RUSI), Medison Myosone U5; Samsung Medicine Co. Ltd., Korea)를 이용하였다. 12MHz 선형탐촉자(linear transducer)를 변환기로 사용하였고, 6-8.5 MHz의 주파수 변조 범위, gain의 범위는 20-80으로 하였다.

2) 측정부위

큰볼기근을 측정하기 위하여 검사자는 우세한 하지의 위뒤엉덩뼈가시(posterior-superior iliac spine)에서 궁둥뼈 가시(ischial tuberosity)까지 2개의 선과 궁둥뼈 가시에 직각인 가상의 선을 유성 마커로 표시하였고, 변환기는 두 선이 직각으로 교차하는 지점에 배치

하였다(Jeong et al., 2017). 넙다리 두갈래근의 두께를 측정하기 위하여 참가자들이 직립한 자세로 서 있는 동안 우세한 쪽 큰돌기와 무릎의 측면 관절선 사이의 거리의 50% 거리 지점을 유성 마커로 표시하였다(Magnusson et al., 1997; O'Sullivan et al., 2009). 두께 측정의 오차를 줄이기 위해 초음파 관련 연구를 5년 이상 실시한 연구자가 유성 마커로 표시한 측정 위치에 초음파 겔을 넉넉하게 도포한 후 변환기를 직각으로 배치하여 측정하였고, 초음파 장치에 내장된 캘리퍼를 이용하여 뼈와 근막 사이를 근육 두께로 측정하였다.

3. 실험 절차

1) 실험 전

모든 대상자에게는 엎드려 누워 엉덩관절 펴 동작 시 허리의 과도한 앞 굽음과 골반의 앞쪽 기울임의 발생으로 인한 통증 발생과 이차적인 손상을 방지하기 위하여 실험 전에 복부 드로우-인 기법을 적용하였다(McConnell, 2002). 복부 드로우-인 기법은 바로 누운 자세에서 엉덩관절 45도, 슬관절 90도 굽힘하고 어깨관절 약 30도 벌림, 손바닥은 지면으로 향하게 하였다. 검사자는 대상자에게 숨을 내실 때와 같이 복부가 약간 들어가도록 배꼽을 윗쪽과 뒷쪽으로 당기도록 지시하였다. 배꼽을 당긴 상태로 10초간 유지 후 10초간 휴식을 취하며, 반복적으로 10분간 실시하였다(Lee et al., 2011). 복부 드로우-인 기법 수행 후 10분간의 휴식을 제공하였다.

2) 실험

실험 대상자들은 침대에 엎드려 누운 자세로 우세측 하지의 무릎관절을 굽힘한 상태에서 엉덩관절 펴 동작을 실시하였다. Jeon 등(2016)의 연구에서 적용한 방법과 동일한 자세로 30° 엉덩관절 벌림, 90° 무릎 굽힘, 10° 엉덩관절 펴 동작을 수행하도록 지시하였다.

10° 엉덩관절 폼 각도를 일정하게 통제하기 위하여 각도계(Prstige medical, USA)를 이용하여 대상자들이 10° 엉덩관절 폼에 도달한 지점에 가로바를 설치하였다. 양팔은 편안한 상태로 엉덩이 옆에 위치시키도록 하였다. 대상자는 연구자의 “시작”이라는 구두지시에 따라 무릎관절을 90° 구부린 상태에서 뒤쪽 무릎이 가로바에 도달할 때까지 엉덩이를 폼하였다. 뒤쪽 무릎이 가로바에 도달한 후 5초간 엉덩관절 폼 자세를 유지하도록 하였다. 엉덩관절 폼 자세를 유지하는 동안 초음파로 우세측의 큰볼기근과 넓다리두갈래근의 두께를 각각 측정하였다. 발목에 0kg, 1kg, 2kg의 모래주머니를 착용하여 외부적인 저항을 제공하였고, 세 가지 무게 부하를 적용한 자세에서 큰볼기근과 넓다리두갈래근의 두께를 측정하였다. 측정 순서는 숫자가 적힌 종이를 뽑도록 하여 무작위로 실시하였다. 각 조건은 3번 반복하여 측정하였으며, 측정 사이마다 5초간 휴식을 제공하였다. 근피로 감소를 위해 저항 조건에 따른 각 순서 사이에는 5분간의 휴식을 제공하였다. 한 명의 측정자가 모든 대상자를 측정하였다.

4. 자료 분석

수집된 모든 데이터와 자료는 통계 프로그램 윈도 응용 PASW Ver 21.0(SPSS Inc., Chicago, USA)을 사용하여 통계 분석 처리하였다. 대상자의 일반적 특성은 기술통계를 사용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 데이터의 정규성 검증을 위해 Shapiro-Wilk test를 실시하였다. 엉덩관절 폼 운동 시 무게 부하의 정도에 따른 큰볼기근 과 넓다리 두갈래근의 두께 차이를 알아보기 위하여 반복측정 일요일 분산분석(repeated measures ANOVA)을 실시하였다. 사후검정은 본페로니 수정법(bonferroni's correction) 을 실시하였고, 모든

데이터에서 통계적 검정을 위한 유의수준은 .05로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. 연구 대상자의 일반적인 특성

본 연구에 참가한 대상자들은 23명의 남성으로 평균연령은 23.52 ± 4.76 세, 평균 신장은 174.43 ± 5.26 cm, 평균 체중은 70.09 ± 9.95 kg으로 나타났다(Table 1).

Table 1. General characteristics of subjects (n=23)

Characteristics	Mean±SD
Age (years)	23.52±4.76
Height (cm)	174.43±5.26
Weight (kg)	70.09±9.95

2. 큰볼기근과 넓다리 두갈래근의 두께 변화

큰볼기근의 두께는 0kg에서 44.09 ± 6.42 mm, 1kg에서 45.49 ± 6.16 mm, 2kg에서 46.55 ± 5.71 mm의 값을 보였다(Table 2). 1kg과 2kg의 부하 적용이 0kg에 비해 큰볼기근의 두께가 각각 유의하게 증가하였고($p < 0.05$), 2kg을 적용했을 때 1kg의 부하를 적용했을 때보다 큰볼기근의 두께가 증가하여 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$)(Fig. 1).

넓다리두갈래근의 두께는 0kg에서 29.52 ± 4.07 mm, 1kg에서 28.86 ± 4.03 mm, 2kg에서 28.58 ± 4.26 mm의 결과를 보였다(Table 2). 0kg 보다 1kg과 2kg의 부하를 적용하였을 때 각각 넓다리 두갈래근의 두께가 유의

Table 2. Comparison of the gluteus maximus muscle thickness according to external loads (N=23)

Muscle thickness	0kg	1kg	2kg	p
Gmax (mm)	44.09±6.42	45.49±6.16	46.55±5.71	0.05
Biceps femoris (mm)	29.52±4.07	28.86±4.03	28.58±4.26	0.05

Mean±standard deviation, Gmax: gluteus maximus muscle, BF: biceps femoris muscle

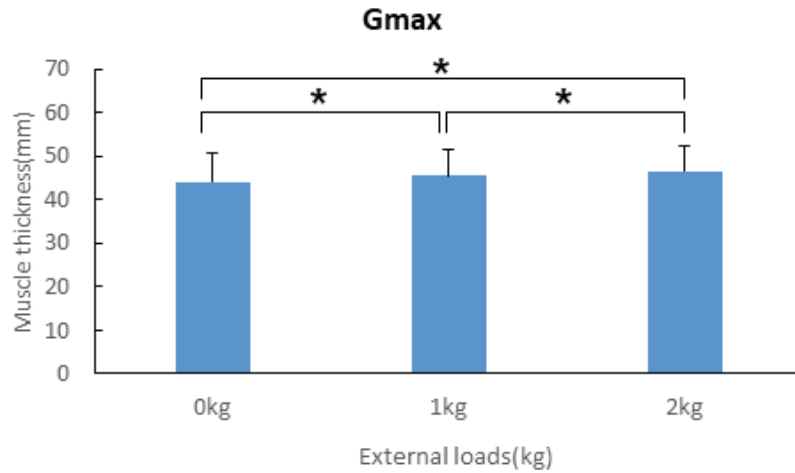


Fig. 1. Comparison of gluteusmaximus muscle(Gmax) thickness according to External Loads.

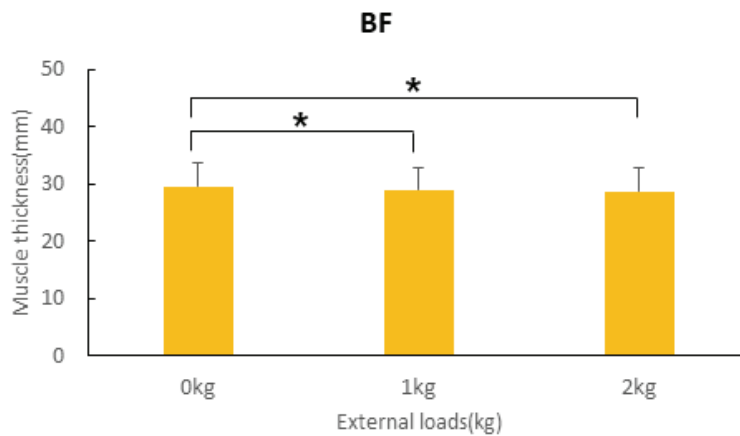


Fig. 2. Comparison of biceps femoris muscle(BF) thickness according to External Loads.

하게 감소하였고($p < 0.05$), 1kg과 2kg 사이에서는 유의한 결과가 나타나지 않았다($p > 0.05$)(Fig. 2).

IV. 고찰

본 연구에서는 초음파를 사용하여 앞드려 엉덩관절 폼 운동 시 0kg, 1kg, 2kg의 3가지 무게 부하 변화가 큰볼기근과 넓다리네갈래근의 두께 변화에 미치는 영

향을 조사하였다. 큰볼기근에서는 각 조건 사이에 근 두께의 변화가 모두 유의한 것으로 나타났는데, 부하의 정도에 대한 비교에서는 1kg보다 2kg에서 큰볼기근의 두께가 증가하여 무게 부하가 증가할수록 큰볼기근의 근두께가 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 외발스쿼트 하강 동작 시 부하가 없는 경우보다 부하가 있는 경우에 넓다리근의 근활성도가 유의하게 증가하였다는 선행연구의 결과와 일치한다(Suk et al., 2014). 또한, 무게 부하를 적용하기 위하여 우세

발에 추를 달고 천장을 향해 엉덩관절을 펴는 변형된 교각운동을 실시한 이전의 연구에서도 무게 부하의 제공이 큰볼기근과 안쪽넓은근의 선택적 강화를 유도하는데 효과적인 방법으로 제시되었다(Lee, 2017). 큰볼기근의 두께가 엷드린 자세에서 엉덩관절 펴 운동 수행 시 2kg의 무게 부하 조건에서 가장 큰 증가를 보였던 이유는 큰볼기근이 엉덩관절을 펴고 엉치엉덩관절에 압력을 가하여 안정성을 제공해 주어 골반을 안정화하는 데 중요한 역할을 하는 것과 관련이 있다(Wilson, 2005). 엷드린 자세에서 엉덩관절 펴 동작 시 외적 부하로 작용하는 무게가 증가할수록 하지에 가해지는 저항이 커지게 되고 보상 움직임 없이 다리를 들어 올리기 위해 더 많은 노력이 필요하게 되므로 무게가 증가할수록 엉치엉덩관절의 안정성을 유지하기 위해 큰볼기근의 사용을 증가시켰기 때문으로 생각된다. 이전의 연구에서는 근전도 장치를 사용하여 외적 부하의 적용에 따른 근활성도의 변화를 측정하였으나, 본 연구에서는 초음파 장비를 사용하여 외적인 무게 부하 변화에 따른 근육의 두께를 측정하여 큰볼기근의 선택적 강화가 가능한지를 알아보고자 하였다. 본 연구의 결과는 엷드려 무릎 굽힘 상태에서 엉덩관절 펴 동작 수행 시 무게 부하의 제공이 큰볼기근의 두께를 증가시키는 것과 더불어 무게가 1kg에서 2kg으로 증가함에 따라 큰볼기근의 두께가 유의하게 증가되는 것을 밝혀 내었다.

넙다리 두갈래근의 경우에는 0kg과 1kg, 0kg과 2kg의 부하 사이에서 무게 부하의 적용에 따라 근육의 두께가 감소하여 엷드려 누워 엉덩관절 펴 동작 수행 시 무게 부하의 적용이 넙다리두갈래근의 활성을 저하시키는 결과를 보였으나 1kg과 2kg 사이에는 유의한 차이가 보이지 않았다. 이는 넙다리 두갈래근의 경우에는 외적 부하의 적용 유무에 있어서는 외적 부하를 적용하는 것이 근두께를 유의하게 감소시킬 수 있는 방법이라고 제시할 수 있으나, 외적 부하의 무게 정도와 근두께 사이에는 유의한 관계가 나타나지 않는다는 것을 의미한다. 이러한 이유는 엉덩관절 펴 동작 시 무릎관절의 자세와도 관련이 있는데 넙다리

두갈래근의 경우에는 엉덩관절 펴와 동시에 무릎의 굽힘 동작을 수행하는데 있어서 중요한 역할을 담당한다(Neumann, 2016). 외적인 부하가 없는 0kg에 비하여 1kg과 2kg의 무게가 외적인 부하로 작용함에 따라 엉덩관절 펴 동작을 수행하는 동안 무릎관절을 90도 굽힘 자세로 유지하기 위해서 더 많은 넙다리두갈래근의 수축을 필요로 하였기 때문에 외적인 무게 부하를 적용한 경우에 넙다리두갈래근의 두께는 유의한 감소가 나타나지 않은 것으로 생각할 수 있다.

엷드린 자세에서 엉덩관절 펴 동작은 허리, 골반 및 엉덩관절에 통증이 있는 환자의 재활 운동에 널리 사용되는 방법으로 임상에서 큰볼기근의 선택적인 근력강화 운동을 위하여 추천되고 있다(Vogt & Banzer, 1997). 엷드린 자세에서 엉덩관절 펴 동작 시 큰볼기근의 활성화 감소와 넙다리두갈래근의 과활동은 근활성화 패턴의 변화로 인해 운동 기능 장애를 발생시킬 수 있으며, 큰볼기근의 활성화가 부족한 상태에서 주변 근육들이 수축될 경우 엉덩관절의 움직임뿐만 아니라 무릎관절에도 손상을 초래할 수 있다(Fisher et al., 2016; Janda, 1996; Sahrman, 2002). 초음파 영상은 많은 선행 연구에서 근육의 두께를 측정하는 방법으로 신뢰도가 높은 것으로 평가하고 있다. Freilich 등 (1995)의 연구에서 대퇴사두근의 두께와 근력은 높은 양의 상관성을 보인다고 보고하였으며, Jeong 등 (2004)의 연구에서도 성별에 따른 근두께와 최대 근수축력과의 관계를 조사한 결과 남녀 모두에게서 근두께와 최대 근수축력은 높은 상관성을 보인다고 보고하였다. 본 연구의 결과로 엷드려 누워 무릎 굽힘 상태에서 엉덩관절 펴 운동 시 무게 부하의 적용이 근두께의 변화에 유의한 영향을 미치는 것을 확인하여 큰볼기근에서는 외적 부하 정도가 증가할수록 두께가 증가하였고 넙다리 두갈래근의 두께가 감소하는 것을 밝혀 내었다. 따라서, 큰볼기근과 넙다리두갈래근 사이의 근육 불균형을 최소화하면서 큰볼기근을 효과적이고 선택적으로 활성화시키는 것은 엉덩관절 움직임 손상을 최소화하면서 정확한 움직임을 위해서 임상적으로 중요하다고 볼 수 있다. 본 연구는 건강한 성인

남성을 대상으로 하여 중재기간이 짧은 단면적인 연구를 수행하였기 때문에 즉각적인 효과에 대한 설명은 가능하지만 장기간의 효과에 대한 연구 결과를 반영하기가 어려운 제한점을 가진다. 대상자의 신체적 조건이나 체력적인 특성을 고려하지 않고 통일된 무게 부하를 적용하였기 때문에 추후 연구에서는 다양한 연구 대상자에 대하여 개인별 맞춤 부하를 적용하고 장기적인 무게 부하의 적용 효과에 대한 연구가 필요할 것이다.

V. 결론

본 연구는 초음파를 사용하여 엣드려 누워 무릎 굽힘 상태에서 엉덩관절 펴 운동 시 다양한 무게 부하의 적용이 큰볼기근과 넓다리두갈래근의 두께 변화에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 그 결과, 엣드려 누워 무릎 굽힘 상태에서 엉덩관절 펴 운동 시 무게 부하의 적용이 근두께의 변화에 유의한 영향을 미치는 것을 확인하여 큰볼기근에서는 외적 부하 정도가 증가할수록 두께가 증가하였고 넓다리 두갈래근의 두께가 감소하는 것을 밝혀 내었다. 본 연구의 결과를 바탕으로 추후 장기적인 재활 치료 및 운동을 실시할 때 외적 부하를 제공하는 것이 넓다리두갈래근의 활동을 제한하면서 선택적으로 큰볼기근을 강화시킬 수 있는 방법이 될 수 있을 것이라고 사료된다.

References

Amabile AH, Bolte JH, Richter SD. Atrophy of gluteus maximus among women with a history of chronic low back pain. *PLoS One*. 2017;12(7):1-12.

Chi-Fishman G, Hicks JE, Cintas HM et al. Ultrasound imaging distinguishes between normal and weak muscle. *Archives Of Physical Medison and Rehabilitation*. 2004;85(6):980-986.

Day JM, Uhl T. Thickness of the lower trapezius and serratus anterior usingultrasound imaging during a repeated arm lifting task. *Manual Therapy*. 2013;18:588-593.

Fisher BE, Southam AC, Kuo YL et al. Evidenceof altered corticomotor excitability following targeted activation of gluteus maximus training in healthy individuals. *Neuroreport*. 2016;27(6):415-421.

Freilich RJ, Kirsner RL, Byrne E. Isometric strength and thickness relationships in human quadriceps muscle. *Neuromuscular Disorders*. 1995;5(5):415-422.

Gloria CF, Jeanne EH, Holly MC, et al. Ultrasound imaging distinguishes between normal and weak muscle. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2004;85(6):980-986.

Gollnick PD, Parsons D, Riedy M, Moore RL. Fiber number and size in overloaded chicken anterior latissimus dorsi muscle. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*. 1983;54(5):1292-1297.

Ha Y, Lee GC, Bae WS, et al. The Effect of Abdominal Muscle Drawing-In Exercise During Bridge Exercise on Abdominal MuscleThickness, using for Real-time Ultrasound Imaging. *Journal of The Korean Society of Physical Medicine*. 2013; 8(2): 231-238.

Hansen K, Cronin J. Training loads for the development of lower body power during squatting movements. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2009;31:17-33.

Janda, V. Frank C, Liebenson C. Evaluation of muscular imbalance. In C. Liebenson (Ed.), *Rehabilitation of the spine: A practitioner's manual*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins. 1996.

Jeon IC, Hwang UJ, Jung SH et al. Comparison of gluteus maximus and hamstring electromyographic activity and lumbopelvic motion during three different prone hip extension exercises in healthy volunteers. *Physical Therapy in Sport*. 2016;22:35-40.

- Jeong JG, Kim YH, Kim TY. Maximal voluntary contraction and muscle thickness relationship in skeletal muscle. *Journal of the Korean Academy of Clinical Electrophysiology*. 2004;2(2):25-37.
- Jeong JR, Lee SJ, Lee WH. Reliability of rehabilitative ultrasound imaging for measuring the gluteus maximus muscle at rest and during contraction. *Physical Therapy Rehabilitation Science*. 2017;6(1):7-13.
- Jung DE. Effect of application of weight load on the ankle on balance and joint positioning in adults with chronic ankle instability. Daegu University. Dissertation of Doctorate Degree. 2015.
- Kang SY, Jeon HS, Kwon OY et al. Activation of the gluteus maximus and hamstring muscles during prone hip extension with knee flexion in three hip abduction positions. *Manual Therapy*. 2013;18(4):303-307.
- Lee JM, Lee CH, Kwon OY et al. The effect of lumbar stabilization exercise for caregivers with chronic lowback pain. *Journal of the Korean Academy of University Trained Physical Therapists*. 2011;18(2):9-17.
- Lee SK. Effects of Bridging Exercise Using Weight Loads on Trunk and Lower Limb Muscles Activity in Healthy Adult Males. *PNF and Movement*. 2017;15(3):303-310.
- Lehman GJ, Lennon D, Tresidder B et al. Muscle recruitment patterns during the prone leg extension. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2004;5:3.
- Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P et al. Determinants of musculoskeletal flexibility: Viscoelastic properties, cross-sectional area, EMG and stretch tolerance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 1997;7(4):195-202.
- McConnell J. Recalcitrant chronic low back and leg pain—a new theory and different approach to management. *Manual Therapy*. 2002;7:183-192.
- Neumann D. Kinesiology of the musculoskeletal system. 3rd ed. St. Louis (MO). Elsevier. 2016.
- O'Sullivan K, Sainsbury D, O'Connor R. Measurement of thigh muscle size using tape or ultrasound is a poor indicator of thigh muscle strength. *Isokinetics and Exercise Science*. 2009;17:145-53.
- Sahrmann SA. Diagnosis and Treatment of Movement Impairment Syndromes. St. Louis (MO). Elsevier. 2002.
- Sakamoto ACL, Teixeira-Salmela LF, Rodrigues de Paula F et al. Gluteus maximus and semitendinosus activation during active prone hip extension exercises. *Brazilian Journal of Physical Therapy*. 2009;13(4):335-342.
- Stone MH, O'Bryant HS, McCoy L et al. Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2003;17:140-147.
- Suk MH, Wang SY, Shin YA. Effect of Electromyographic Lower-Limb Muscle Activity in Single Leg Squat Motion With Loading and Various Unstable Surface. *Journal of coaching development*. 2014;16(3):133-142.
- Teyhen DS, Miltenberger CE, Deiters HM, et al. The use of ultrasound imaging of the abdominal drawing-in maneuver in subjects with low back pain. *Journal of Orthopedic and Sports Physical Therapy*. 2005;35(6):346-355.
- Teyhen DS, Rieger JL, Westrick RB et al. Changes in deep abdominal muscle thickness during common trunk-strengthening exercises using ultrasound imaging. *Journal of Orthopedic and Sports Physical Therapy*. 2008;38(10):596-605.
- Vogt L, Banzer W. Dynamic testing of the motor stereotype in prone hip extension from neutral position. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*. 1997;12(2):122-127.
- Wilson J, Ferris E, Heckler A et al. A structured review of the role of gluteus maximus in rehabilitation. *New*

Zealand J ournal of Physiotherapy. 2005;33(3):
95-100.

Whittaker JL, Warner MB, Stokes MJ. Ultrasound imaging
transducer motion during clinical maneuvers:

Respiration, active straight leg raise test and abdominal
drawing in. *Ultrasound in Medicine and Biology.*
2010;36(8):1288-1297.