

The Effects of Ankle Joint Position on Hip Extensor Muscle Activity for Bridging Exercise in Sagittal Plane

Hyun Lee^{a*} and Seungwon Lee^{b*}

^aRehabilitation Center, VHS Medical Center

^bDepartment of Physical Therapy, College of Health and Welfare, Sahmyook University

Objective: This study is designed to investigate the effect of ankle joint position on hip extensor muscle activity when bridging exercise in sagittal plane.

Design: Cross-sectional study

Methods: The subjects were recruited from 20 healthy adult men. The subjects performed three types of bridging exercises (normal bridging, ankle dorsiflexion bridging, ankle plantar flexion bridging) three times for five seconds with a rest of 15 seconds between measurements and two minutes of rest between each motion. The target muscles were the gluteus maximus, biceps femoris, soleus, and tibialis anterior. A surface electromyography was used to measure the muscle activity of these muscles.

Results: The results show there was no statistically significant difference between the three types of exercise in the gluteus maximus muscle activity. However, the biceps femoris showed a significant difference between the three types of exercises ($p < 0.05$).

Conclusions: In conclusion, when the three different bridging exercises were performed by adding ankle motion to normal bridging exercise, there was a significant difference in the muscle activity of the gluteus maximus relative to the biceps femoris muscle activity in the order of the ankle dorsiflexion bridging, normal bridging, and ankle plantar flexion bridging exercise. Therefore, this could be an effective option for a bridging exercise if applied to patients with a weak gluteal muscle and shortening of the hamstring muscle in further studies.

Key Words: Bridging exercise, Electromyography, Gluteus maximus, Ankle joint

서론

교각운동은 무릎을 구부리고 바로 누운 자세에서 골반을 바닥으로부터 들어올리는 운동이라고 정의된다[1]. 이러한 교각운동은 복부와 골반의 코어근육 뿐만 아니라 대둔근, 슬괵근, 척추기립근과 같은 일부 대근육의 활성화까지 변화시키는 대칭성 통합 운동이다[2]. 또한 바로 누운 자세에서의 교각 운동은 뒤쪽 고관절 근육과 허벅지 근육을 활성화시키며, 다른 체간 안정화 운동에 비해 대근육 및 국소근육이 적절한 방식으로 조정되도록 재훈련시킴으로써 환자를 더 편안한 상태로 만들어 준다[3]. 이는 골반의 움직임을 촉진하고 허리와 엉덩이

의 힘을 강화하는데 특히 유용하며, 이것은 골반 부위의 운동 조절 능력을 강화시킨다[1].

교각운동을 시행할 때, 고관절 신전근은 가장 많이 활성화되는 근육 중 하나이다. Nadler와 Malanga[4]에 따르면 요통을 가진 대학교의 여성 운동선수들을 대상으로 연구한 결과 고관절 신전근의 불균형과 요통 사이에 상관관계가 있음이 밝혀졌고, van Wingerden와 Vleeming[5]은 요통의 원인 중 하나인 대둔근의 감소된 활성화도가 천장 관절 불안정성과 기능부전을 초래할 수 있다고 하였다. 또한 대둔근의 약화가 있는 경우, 이에 대한 보상으로 슬괵근의 단축이 관찰될 수 있어 고관절 신전근의 불균형은 요통 환자에게 중요한 문제가 될 수

Received: Jun 21, 2023 Revised: Jun 23, 2023 Accepted: Jun 23, 2023

Corresponding author: Seungwon Lee (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0413-0510>)

Department of Physical Therapy, Sahmyook University

815 Hwarang-ro, Nowon-gu, Seoul, Republic of Korea [01795]

Tel: +82-2-3399-1630 Fax: +82-2-3399-1639 E-mail: swlee@syu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2023 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

있다[6]. 교각운동은 고관절 신전근을 강화시키는 운동 중 하나이기에, 고관절 신전근 사이의 불균형을 해소하기 위한 가장 효과적인 교각운동에 대한 연구들[7-9]이 수행되었다.

이후로 설계된 많은 교각운동들은 발이 닿는 지면의 변화와 고관절 근육의 활성화도 변화 등을 통해 수정되었다. Jang과 Kim[7]의 연구에서는 건강한 여성을 대상으로 교각운동을 실시할 때 고관절 내전근의 활성화도가 높아지면 복근과 고관절 신전근의 활성화도가 더 높아진다고 했으며, Kang와 Choung[8]의 연구에서는 교각운동 시 고관절의 각도가 0°, 15°, 30°로 변한다면, 고관절 외전 각도가 커질수록 대둔근이 선택적으로 더 활성화되며 척추기립근의 활성화도는 낮아진다고 보고했다. 이는 대둔근이 약하고 척추기립근이 활성화되어 골반이 전방전위된 환자를 후방전위 시키는데 아주 효과적인 운동이 될 수 있을 것이다.

또한 다른 연구에서는 교각운동 시 탄력밴드(Theraband)를 이용한 등척성 고관절 외전을 함께 시행할 때 역시 대둔근을 선택적으로 활성화시키며 골반 전방전위를 감소시키지만, 척추기립근과 슬괵근의 활성화도에서 유의한 차이를 보이지 않는다고 보고했다[9]. 이는 앞선 논문들과는 다소 다른 결과로, 고관절 외전근이 척추기립근에 미치는 영향에 대해서는 아직 논의할 여지가 남아있다.

교각운동을 통해 활성화되는 주요 하지 근육은 대둔근, 슬괵근, 대퇴사두근과 같은 고관절, 슬괵관절 근육이지만[1], 이 근육들은 발목 움직임에 관여하는 근육들에 의해서 영향을 받을 수 있다. 발목 염좌를 가진 환자를 대상으로 한 연구에서는 이전에 발목 부상을 입은 피험자가 부상 이력이 없는 피험자에 비해 대둔근 활성화 시작이 지연되며 이는 발목 관절이 고관절 근육에 영향을 줄 수 있음을 시사한다[10, 11].

교각운동에서도 고관절과 발목 사이의 관계를 알아보는 연구가 진행되었다. 한 연구는 교각운동 자세에서 추가적으로 족저굴곡을 실시했을 때 안쪽 슬괵근의 활성화도가 낮아지고 대둔근의 활성화도가 높아진다고 보고했고[12], 이는 교각자세에서 족저굴곡을 추가한다면 슬괵근보다 대둔근을 더 선택적으로 활성화시킬 수 있음을 말한다. 교각운동은 무릎을 90°로 구부린 채로 진행하며 이 때 무릎 굴곡근은 등척성 수축을 하는데 추가적인 족저굴곡을 실시하면 종아리 근육의 활성화도가 올라가게 되고 이에 따라 안쪽 슬괵근의 활성화도가 낮아진다는 설명이다. 그러나 이 연구에서 실제로 발목의 움직임이 독립 변수로 작용했음에도 불구하고 발목의 근활성도는 측정하지 않았으며 이로 인해 객관적인 결과 도출이 어렵다고 볼 수 있다. 따라서 이를 확인하기 위해서는 추

가적인 연구가 필요할 것이다. 이에 따라 본 연구에서는 이전 연구에서 측정하지 않았던 발목 관절 근육의 근활성도를 함께 측정하여 이전 연구와는 다른 가설로 본 연구를 설계하였다.

본 연구의 목적은 바로 누운 자세에서 교각운동에 추가적으로 발목 족배굴곡과 족저굴곡을 실시할 때 대둔근, 대퇴이두근, 전경골근, 비장근의 근 활성화 정도를 비교하여 교각운동의 종류에 따른 대둔근, 대퇴이두근, 비장근, 전경골근의 근활성도와 대퇴이두근 대비 대둔근의 근 활성화 비율을 알아보는 것이다.

연구 방법

연구 대상

본 연구는 서울시 노원구 소재의 S대학에 다니는 학생들과 강동구 소재의 B병원에 다니는 사람들 중 사전 홍보를 통해 본 연구에 참여 의사를 밝힌 자들로 연구 대상을 선정하였다. 이들 중 지난 6개월간 어떠한 근골격계 손상을 받지 않은 건강한 성인 남성 20명을 선정하였다[13]. 대상자들 중 지난 1년 이내 요추, 천장관절, 하지 손상이 있었던 자, 신경학적, 근골격계 또는 심폐 질환이 있는 자, 토마스 테스트(Thomas test)에서 고관절 굴곡근 단축이 발견된 자, 내전 구축 검사에서 내전근 구축이 발견된 자, 교각운동 시 요추나 고관절에 통증이 있는 자는 대상에서 제외하였다[14].

본 연구의 대상자 수 산정은 0.83의 효과크기, 0.80의 검정력, 0.05의 유의수준으로 G-power(ver. 3.1.9.2, University of Kiel, Kiel, Germany)를 이용하여 14명의 결과를 얻고 탈락률 20%를 고려하여 20명으로 결정하였다. 본 연구는 삼육대학교 기관 심사위원회(승인 2-1040781-AB-N-01-2017110HR)의 승인을 받았고 승인된 동의서에 서명함으로써 정보에 입각한 동의를 얻었다. 따라서 헬싱키 선언의 윤리적 원칙에 따라 피험자의 권리가 보호되었다.

연구 절차

본 연구는 교각운동을 실시할 수 있는 건강한 남성 20명을 피험 대상으로 선정하였다. 그러나 실험을 진행하던 도중 전극 부착 과정에서 피부 과민감성을 보인 대상이 1명 탈락하였고, 운동 도중 잦은 근 경련으로 포기 의사를 밝힌 대상 1명이 탈락하여 총 건강한 성인 남성 18명이 최종 대상으로 선정되었다. 피험자들은 운동 시 근 활성화도의 객관성 비교를 위해 실험 전에 최대 수의 등척성 수축(maximal voluntary isometric contraction,

MVIC)을 측정하였다. 운동의 종류는 일반 교각운동, 족배굴곡 교각운동, 족저굴곡 교각운동 세 가지로 정하였으며, 운동의 수행 순서는 무작위로 하였다. 운동은 총 3회 실시하였으며 운동 내 휴식은 15초, 운동 간 휴식은 2분을 실시하였다[13]. 측정의 대상 근육은 대둔근, 대퇴이두근, 비장근, 전경골근으로 하였다. 대상 근육의 근 활성화도는 근전도 장비를 통해 얻어졌으며 얻어진 근전도 값은 근전도 분석 프로그램인 Myoresearch XP Master(1.07, Noraxon, U.S.A)를 통해 분석되었다.

중재 방법

피험자는 편안한 복장으로 갈아입고 실험 시 근 경련을 방지하기 위해 대상근육을 이완시킬 수 있는 스트레칭을 각 근육별 20초씩 3회 실시하였다. 전극 부착 전 피부의 저항을 최소화하기 위해 전극 부착 부위를 제모하고 알코올 솜을 이용하여 해당 부위를 소독하였다. 전극 부착 위치는 근육의 비침습적 평가를 위한 표면 근전도(surface electromyography for the non-invasive assessment of muscles, SENIAM)를 기준으로 하였으며 실험 자세의 일관성을 위해 측정 전 5분간 자세의 교육 및 적응하도록 하였다[15]. 대상 근육은 대둔근, 대퇴이두근, 비장근, 전경골근으로 하였으며 근전도 값의 정규화(normalization)를 위하여 최대 수의적 등척성 수축을 먼저 측정하였다. 최대 수의적 등척성 수축 측정 후 일반 교각 운동, 족배굴곡 교각 운동, 족저굴곡 교각 운동 세 가지 운동을 실험 대상마다 무작위 순서로 진행하였고 운동이 진행되는 동안 근전도 신호가 수집되었다. 각 근육의 피로도 발생을 방지하기 위해 운동 간 휴식은 2분으로 하였으며 운동 내 측정 간 휴식은 15초로 하였다[13]. 교각운동의 자세는 바로 누운 자세에서 무릎은 90° 굴곡 상태로 발을 고관절과 같은 너비로 벌려 고관절의 회전이 중립 상태를 유지하도록 하며 발가락은 전방을 향하게 한다. 양 팔은 가슴 위에 교차하여 올려 손의 위치에 따른 변수 발생을 방지하게 하였다[12, 14].

측정방법 및 도구

근육의 활성도를 측정하기 위하여 표면 근전도(Mini Wave Infinity Waterproof, Cometa systems, Italy 2017)를 사용하였으며 Ag/AgCl 전극을 이용하였다. 전극을 부착하기 전 피부 저항을 최소화하기 위해 털을 제거한 후 피부의 각질을 제거하고 알코올 솜으로 문질러 피부를 청결하게 하였다. 근전도는 대둔근, 대퇴이두근, 비장근, 전경골근에 부착하였고 근육별 전극 부착위치는 표 4에 제시하였다. 근전도 분석을 위해 표면 근전도 신호

는 아날로그에서 디지털로 변환되었으며 근전도 분석에는 Myoresearch XP Master(1.07, Noraxon, U.S.A)가 사용되었다. 표본 추출률은 1000 Hz로 하였으며 근전도 원자료(raw data)는 디지털 밴드패스 필터(digital band-pass filter, Lancosh FIR)를 사용하여 20~450 Hz 범위로 필터링 하였다. 수집된 신호는 전파(full wave)로 정류되어 제곱근 평균제곱(Root Mean Square, RMS)으로 처리되었다. 근전도 값의 정규화를 위해서 최대 수의적 등척성 수축을 실시하여 근활성도를 측정하였다. 최대 수의적 등척성 수축 측정은 각 자세에서 5초간 3회 반복 실시하였다. 5초 동안의 근전도 자료는 처음과 끝부분의 1초를 제외한 3초 동안의 근전도 신호량을 100%MVIC로 정하여 사용하였으며 모든 결과의 값은 %MVIC(Percentage of Maximal Voluntary Isometric Contraction)로 표시되었다.

자료 분석

본 연구의 모든 작업과 통계는 SPSS(20.0, SPSS Inc., U.S.A)을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 전체 대상자는 Kolmogorov-Smirnov 정규성 검정을 실시하였으며 대상자의 일반적 특성은 기술통계를 사용하였고, 집단 내 3가지 운동의 차이를 알아보기 위해 단일요인 반복측정 분산분석을 실시하였으며, 사후검정은 Bonferroni로 하였다. 유의수준(α)은 0.05로 하였다. 사후검정에서 제1종 오류가 커지는 것을 방지하기 위해 Bonferroni 조정을 시행하였고 이 때 유의수준 (α)은 0.017로 하였다.

연구 결과

대상자의 일반적 특성은 Table 1에 기술하였다. 교각운동의 종류에 따라 세 가지 교각운동을 비교했을 때 대둔근의 근 활성화도에는 유의한 차이가 없었다. 그러나 대퇴이두근, 비장근, 전경골근의 경우 세 가지 운동을 비교할 때, 서로 다른 두 컨디션 간에 모두 유의한 차이를 보였다($p < 0.017$). 대퇴이두근은 족저굴곡 교각운동, 일반 교각운동, 족배굴곡 교각 운동 순으로 높은 근 활

Table 1. General Characteristics of Participants (n=18)

Characteristics	
Age (years)	28.78(4.48)
Height (cm)	173.94(5.29)
Weight (kg)	71.61(7.38)
BMI (kg/m ²)	23.8(1.92)

The values are presented Mean (SD).

BMI: Body Mass Index

Table 2. Lower extremity muscle activity in three different bridging exercises

	Dorsiflexion Bridging	Normal Bridging	Plantarflexion Bridging	F(p)
GM	11.22(6.66)	12.43(6.66)	10.92(6.07)	3.356(0.061)
BF	17.6(6.15)	29.86(7.9)	41.23(8.98)	77.109(0.000)*
Sol	6.67(4.93)	3.09(1.53)	26.43(13.04)	33.196(0.000)*
TA	28.29(17.07)	2.30(2.31)	5.07(2.93)	23.606(0.000)*

The values are presented mean (SD).

GM: Gluteus maximus, BF: Biceps femoris, Sol: Soleus, TA: Tibialis anterior

*presents the $p < 0.05$.

Table 3. Ratio of Biceps femoris to Gluteus maximus muscle activity

	Dorsiflexion Bridging	Normal Bridging	Plantarflexion Bridging	F(p)
GM/BF	67.76(37.35)	44.07(26.36)	26.10(13.06)	13.047(.000)*

The values are presented mean (SD).

GM: Gluteus maximus, BF: Biceps femoris

*presents the $p < 0.05$

성도 값을 가졌다($p < 0.017$) 비장근은 족저굴곡 교각운동, 족배굴곡 교각운동, 일반 교각운동 순으로 높은 근활성도 값을 가졌다($p < 0.017$). 또한 전경골근은 족배굴곡 교각운동, 족저굴곡 교각운동, 일반 교각운동 순으로 높은 활성도 값을 가졌다($p < 0.017$)(Table 2).

비록 대둔근의 근 활성도는 세 가지 운동에서 유의한 차이를 보이지 않았으나 또 다른 결과 값인 대퇴이두근 대비 대둔근의 근 활성도 비는 세 가지 컨디션에서 서로 다른 두 컨디션 간에 모두 유의한 차이를 보였다($p < 0.017$). 또한 결과 값은 족배굴곡 교각운동, 일반 교각운동, 족저굴곡 교각 운동 순으로 높은 값을 보였다 (Table 3).

고찰

본 연구는 발목 자세에 따라 교각운동을 세 가지로 분류하고 교각운동의 종류에 따라 대둔근, 대퇴이두근, 비장근, 전경골근의 근활성도를 비교하고자 하였다. 본 연구의 결과로 세 가지 운동 시 대둔근의 근 활성도는 서로 유의한 차이가 없었고 대퇴이두근, 비장근, 전경골근의 근 활성도는 각 조건에서 모두 유의한 차이를 보였다($p < 0.017$). 대퇴이두근은 족저굴곡 교각운동, 일반 교각운동, 족배굴곡 교각운동 순으로 큰 활성도값을 가졌다. 본 연구 결과에서 비장근이 활성화될 때 대퇴이두근의 근 활성도가 증가하였고 전경골근이 활성화될 때

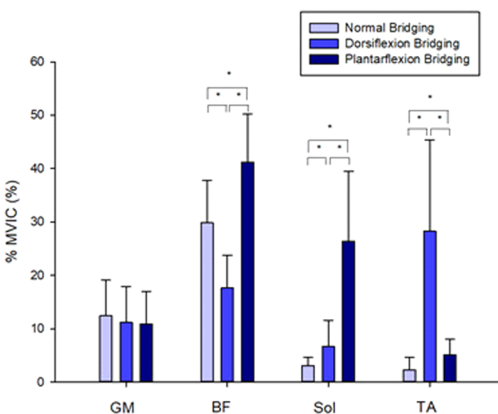


Figure 1. Lower extremity muscle activity in three different bridging

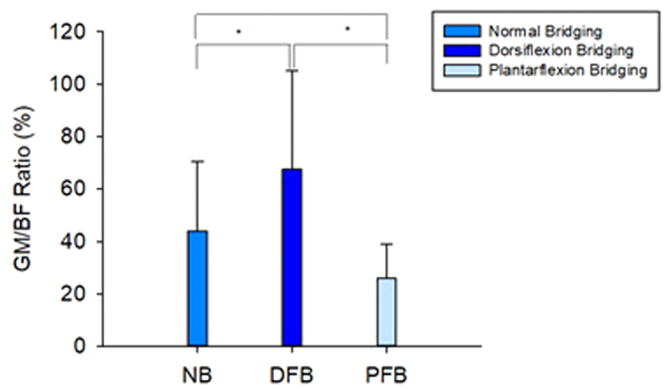


Figure 2. Ratio of biceps femoris to gluteus maximus muscle activity

대퇴이두근의 근 활성도가 감소했다. 이 결과 값은 대퇴이두근과 족관절 근육들 사이에 상관관계가 있을 수 있음을 보여준다. 그러나 본 연구 결과를 고관절 근육과 족관절 근육 사이의 상관관계로 일반화하기 어려운 이유는 이와 같은 상관관계가 있을 때 또 다른 고관절 신전근인 대둔근에도 결과값에 영향을 주어야 하지만 유의한 차이가 없었기 때문이다. 따라서 하지에서 근 활성도 값의 변화는 토크값이 더 큰 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 슬관절 각도와 하지에서 생기는 토크값의 상관관계를 관찰한 연구에서는 슬관절 각도가 커지는 경우 모멘트팔이 길어지기 때문에 토크값이 증가하였다고 보고했다[16]. 이러한 이유로 대퇴사두근의 활성도가 증가하며 길항근인 슬괵근 또한 자세를 유지하기 위해 활성도가 증가하게 된다. 교각운동 시 토크값을 증가시킬 수 있는 방법을 생각해 보면 슬관절 각도의 증가와 발바닥의 부하 중심점 차이를 들 수 있다. 교각운동에서의 부하 중심점은 족저굴곡 교각 운동, 일반 교각 운동, 족배굴곡 교각 운동 순으로 먼 곳에 위치하게 되며 이는 같은 순으로 큰 토크값을 가지게 되므로 이를 통해 슬괵근의 근 활성도를 설명할 수 있다.

본 연구에서는 4가지 근육의 근 활성도 값 이외에 또 다른 결과 값인 대퇴이두근 대비 대둔근의 근 활성도 비를 구하였다. 앞서 언급한 대로 대둔근과 대퇴이두근이 상호 보완적인 고관절 신전근이고 그 안에서 대퇴이두근의 상대적 역할 비중이 변한다면 대둔근의 상대적 역할 비중도 변할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 건강한 성인 남성을 대상으로 실험하였기에 상대적 역할 비중이 변하지 않고도 운동 수행이 가능하여 유의한 차이를 보이지 않았을 것으로 생각되었다. 슬괵근의 길이와 대둔근의 근력 사이의 상관관계를 관찰한 선행 연구에서는 천장관절 기능부전이 있는 사람과 없는 사람 사이에 차이가 있음을 보고했다. 총 53명의 대상자 중 66%에 해당하는 35명이 슬괵근 단축과 대둔근 약화를 보였고 다른 그룹과 유의한 차이를 보였다($p=0.04$)[17]. 이는 천장관절 기능부전을 가진 사람은 슬괵근 단축을 보이며 이는 대둔근 약화와 관련이 있음을 설명한다. 이는 본 연구에서 대퇴이두근 대비 대둔근의 근 활성도 비가 유의한 차이를 보였기 때문에 차후 대둔근 약화와 슬괵근 단축이 있는 환자에게 적용 시에는 또 다른 결과 값을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 제한점을 줄이기 위해 많은 노력을 했으나 여전히 몇 가지 제한점이 남아있다. 근전도의 대둔근 부착 부위가 여성에게 적용하기 어려웠기 때문에 연구 대상자를 남성으로 제한하였고 이는 실험 결과를 일반화하는데 제약이 될 것이다. 또한 본 연구는 건강한 성인만을 대상으로 하였으며 연구의 결과는 대퇴이두근

의 근 활성도 값이나 대퇴이두근 대비 대둔근의 근 활성도 비율 값은 유의한 차이를 가졌으나 대둔근에서는 유의한 차이가 없었다. 즉, 건강한 성인 대상으로는 대둔근의 근 활성도에는 차이가 없다는 뜻이다. 따라서 대둔근이 약하고 슬괵근이 짧은 환자를 성별에 관계없이 모집하여 추가적인 연구를 한다면 임상적으로 그 결과가 더 큰 의미를 가질 것이다.

따라서 차후 추가적인 연구에서는 대둔근이 약하고 슬괵근이 짧은 환자를 성별에 관계없이 모집하여 슬관절의 각도에 따른 하지, 목, 체간 근육의 근 활성도 차이를 비교하는 것이 필요할 것이다.

결론

본 연구에서는 물리치료에서 가장 쉽고 흔하게 사용되는 운동인 교각운동에 추가적으로 발목 움직임을 추가시켜 세 가지 교각운동의 차이를 비교하는 연구를 진행하였다. 대상 근육의 활성도 차이를 비교했을 때 대둔근의 경우 세 가지 운동에서 유의한 차이가 없었고, 대퇴이두근의 경우 족저굴곡 교각 운동, 일반 교각운동, 족배굴곡 교각 운동 순으로 높은 값을 가졌으며 유의한 차이를 보였다($p<0.017$). 또한 본 연구의 다른 결과값인 대퇴이두근 대비 대둔근의 근 활성도 비를 비교했을 때 족배굴곡 교각운동, 일반 교각운동, 족저굴곡 교각운동 순으로 높은 결과 값을 보였고 유의한 차이를 보였다($p<0.017$).

결과적으로 고관절을 신전하는 주요 두 근육인 대둔근과 대퇴이두근 중에서 대둔근의 상대적인 활성도 비율은 족배굴곡 교각운동, 일반 교각운동, 족저굴곡 교각운동 순으로 높으며 이는 차후 대둔근이 약하고 슬괵근이 짧은 환자에게 적용 시 임상적으로 중요한 의미를 가질 수 있을 것이다.

이해 충돌

본 연구의 저자들은 연구, 저작권, 및 출판과 관련하여 잠재적인 이해충돌이 없음을 선언합니다.

참고문헌

1. O'Sullivan SB, Schmitz TJ, Fulk G. Physical rehabilitation: FA Davis; 2019.
2. Stevens VK, Coorevits PL, Bouche KG, Mahieu NN, Vanderstraeten GG, Danneels LA. The influence of specific training on trunk muscle recruit-

- ment patterns in healthy subjects during stabilization exercises. *Manual therapy*. 2007;12:271-9.
3. Kong YS, Cho YH, Park JW. Changes in the activities of the trunk muscles in different kinds of bridging exercises. *J Phys Ther Sci*. 2013;25:1609-12.
 4. Nadler SF, Malanga GA, Feinberg JH, Prybicien M, Stitik TP, DePrince M. Relationship Between Hip Muscle Imbalance and Occurrence of Low Back Pain in Collegiate Athletes: A Prospective Study. *Am J Phys Med Rehabil*. 2001;80:572-7.
 5. van Wingerden JP, Vleeming A, Buyruk HM, Raissadat K. Stabilization of the sacroiliac joint in vivo: verification of muscular contribution to force closure of the pelvis. *Eur Spine J*. 2004;13:199-205.
 6. Choi S-A, Cynn H-S, Yi C-H, Kwon O-Y, Yoon T-L, Choi W-J, et al. Isometric hip abduction using a Thera-Band alters gluteus maximus muscle activity and the anterior pelvic tilt angle during bridging exercise. *J Electromyogr Kinesiol*. 2015;25:310-5.
 7. Jang EM, Kim MH, Oh JS. Effects of a Bridging Exercise with Hip Adduction on the EMG Activities of the Abdominal and Hip Extensor Muscles in Females. *J Phys Ther Sci*. 2013;25:1147-9.
 8. Kang SY, Choung SD, Jeon HS. Modifying the hip abduction angle during bridging exercise can facilitate gluteus maximus activity. *Manual therapy*. 2016;22:211-5.
 9. Choi SA, Cynn HS, Yi CH, Kwon OY, Yoon TL, Choi WJ, et al. Isometric hip abduction using a Thera-Band alters gluteus maximus muscle activity and the anterior pelvic tilt angle during bridging exercise. *J Electromyogr Kinesiol*. 2015;25:310-5.
 10. Beckman SM, Buchanan TS. Ankle inversion injury and hypermobility: effect on hip and ankle muscle electromyography onset latency. *Arch Phys Med Rehabil*. 1995;76:1138-43.
 11. Bullock-Saxton J, Janda V, Bullock M. The influence of ankle sprain injury on muscle activation during hip extension. *Int J Sports Med*. 1994;15:330-4.
 12. Yoo W-g. Effects of bridging plus exercises with heel lift on lower extremity muscles. *J Phys Ther Sci*. 2016;28:1582-3.
 13. Jang E-M, Kim M-H, Oh J-S. Effects of a bridging exercise with hip adduction on the EMG activities of the abdominal and hip extensor muscles in females. *J Phys Ther Sci*. 2013;25:1147-9.
 14. Kang S-Y, Choung S-D, Jeon H-S. Modifying the hip abduction angle during bridging exercise can facilitate gluteus maximus activity. *Manual therapy*. 2016;22:211-5.
 15. Stegeman D, Hermens H. Standards for surface electromyography: The European project Surface EMG for non-invasive assessment of muscles (SENIAM). Roessingh Research and Development. 2007;10:8-12.
 16. O'Brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, Jones DA, Maganaris CN. Moment arms of the knee extensor mechanism in children and adults. *J Anat*. 2009;215:198-205.
 17. MassoudArab A, RezaNourbakhsh M, Mohammadifar A. The relationship between hamstring length and gluteal muscle strength in individuals with sacroiliac joint dysfunction. *J Man Manip Ther*. 2011;19:5-10.