



대한물리치료과학회지

Journal of Korean Physical Therapy Science
2024. 09. Vol. 31, No 3, pp. 89-99

다양한 지지면에서 스쿼트 운동 중 건강한 성인 남성의 가자미근과 넙다리네갈래근의 상관관계

김성현, 최보람

신라대학교

Correlation Between the Soleus and Quadriceps Femoris Muscles During Squat Exercises on Various Support Surface in Healthy Adult Males

Sung Hyun Kim, M.Sc., P.T. Bo-ram Choi, PhD, PT

Dept. of Silla University

Abstract

Background: Squats are well-known for their effectiveness in strengthening the quadriceps femoris muscle. Flexibility and stability of the ankle joint are critical factors in performing squats correctly. Ankle instability can lead to injuries owing to compensatory actions. The role of the soleus muscle in maintaining ankle balance is crucial to minimize the risk of injury. Moreover, squats on unstable surfaces have gained attention for their potential to enhance balance and stability, which in turn helps prevent injuries. Therefore, this study aims to investigate the correlation between the soleus and quadriceps femoris muscles during squat exercises on various support surfaces.

Design: Simple regression analysis

Methods: Participants performed three different types of squats. Prior to commencing the exercises, we conducted electromyography (EMG) measurements to assess the activity of both the soleus and quadriceps femoris muscles. The order of the exercise execution was randomized. The squats were performed in a Full Squat format, and a one-minute rest was provided between each exercise type.

Results: Our analysis of the results revealed significant differences in the activation levels of the soleus and quadriceps femoris across different squat

types ($p < .05$). The regression analysis revealed an inverse relationship between the activity levels of the soleus and quadriceps femoris. Specifically, the quadriceps femoris exhibited the highest activation during squats using a wedge, while its activation was lowest during squats using the TOGU. In contrast, the soleus muscle demonstrated its highest activation during squats using the TOGU.

Conclusion: Compared to traditional floor squats, the disparities in soleus and quadriceps femoris muscle activation observed during Wedge or TOGU squats can be attributed to the influence of ankle stability and balance. As the surface instability increased during squats, the soleus muscle's activity increased while the activation of the quadriceps femoris muscle decreased. These findings suggest that heightened soleus activation on unstable surfaces can significantly impact the activation of the quadriceps femoris muscle during squat exercises.

Key words: Squat exercise, Soleus muscle, Quadriceps femoris muscle, Electromyography

교신저자

최보람

부산광역시 사상구 백양대로 700번길 140 신라대학교 의생명관 315호

T:051-999-5438, E: boram@silla.ac.kr

I. 서론

근력 운동은 운동 신경계, 근육, 뼈, 관절, 심혈관계 등 다양한 생리학적 시스템에 긍정적인 영향을 미치며, 이를 통해 건강한 신체를 유지하는 데에 큰 역할을 한다(Blumenthal et al., 1989). 그 중에서도 운동수행 능력이 약한 사람들에게 전신 근력을 증진시키는 운동 중 하나로 스쿼트(squat)는 매우 효과적인 운동으로 알려져 있다(Häkkinen et al., 1996; Kraemer et al., 2002). 스쿼트란 정면을 응시하며 허리는 아치형으로 만들고 들숨 하면서 무릎을 굽히고, 넓다리두갈래근(hamstring)이 바닥과 수평 상태가 되었을 때 날숨 하면서 무릎을 펴는 동작으로(Cappozzo, Felici, Figura, & Gazzani, 1985), 넓다리네갈래근(quadriceps femoris muscle)을 강화할 수 있는 대표적인 운동이며 무릎, 발목, 엉덩 관절 등 다양한 하지 근육들의 협응을 통한 움직임으로 운동선수들 뿐만 아니라 일반 성인 남녀의 근 신경 향상에 도움을 주는 하체 근력운동이다(Schoenfeld, Ogborn, & Krieger, 2017; 정진규, 2022). 또한, 근력 운동 시 점진적 저항 훈련 프로그램에 자주 사용되며 컨디셔닝(conditioning) 및 재활 치료 에서도 흔하게 적용을 하는 등 다양한 장점이 있는 운동이다(Contreras, Vigotsky, Schoenfeld, Beardsley, & Cronin, 2016).

스쿼트 수행에 있어서 엉덩 관절과 무릎관절 균형에 관여하는 발목 관절의 유연성이 중요하다. 발목 관절은 스포츠를 하면서 부상이 자주 발생하는 신체 부위로(Lynch, 2002), 이는 대부분 만성적인 불안정성(chronic Ankle Instability)으로 이어지며 근력 및 고유수용감각의 감소를 가져온다(Kaminski & Hartsell, 2002; 박근태, 2024). 발목 관절이 유연할 경우 균형 감각에 있어서 긍정적인 영향을 미치기 때문에 스쿼트를 할 때 부하를 더 잘 통제할 수 있다. 반면에 발목 관절이 유연하지 못하다면, 무릎 엉덩이 그리고 허리에 보상 작용이 일어나 부상을 유발할 수 있다(Toutoungi, Lu, Leardini, Catani, & O'connor, 2000). 예를 들어 무릎을 굽혔을 때 무릎이 발 보다 앞으로 나오면 하중이 증가하여 무릎 부상을 가져올 수 있고, 상체의 균형을 잡지 못할 경우 허리에 과도한 압박으로 허리 부상도 가져올 수 있다(김봉수, 2016; 박상호, 2010). 이렇게 불안정성으로 제한된 발목 관절은 스쿼트를 할 때 무릎에 외부적인 힘이 가해지면서 넓다리네갈래근의 기능이 감소하게 되고 무릎 통증을 유발할 수 있기 때문에(Guillén-Rogel, San Emeterio, & Marin, 2017), 스쿼트는 잘못된 자세로 수행할 경우 부상의 위험이 높은 운동이기도 하다(Fry, 1993). 결과적으로 발목 관절의 근력 및 고유수용감각이 있어야만 안정성이 유지되고, 보상 작용으로 인한 부상을 예방할 수 있으며(Denegar & Miller III, 2002), 바로 서 있는 자세에서 발목의 균형을 유지하는 대표적인 근육은 가자미근(soleus)과 장딴지근(gastrocnemius)이 있다(Hébert-Losier, Wessman, Alricsson, & Svantesson, 2017; 한진태, 2022).

가자미근은 장딴지근에 비해서 깊은 근육이며, 장딴지근은 쪼그려 앉은 자세에서는 활성화되지 않지만 가자미근은 특히 쪼그려 앉았을 때 균형을 유지하는데 독점적인 역할을 하고 있다(Hébert-Losier, Wessman, Alricsson, & Svantesson, 2017). 가자미근은 종아리부터 아킬레스 힘줄까지 위치한 단 관절 심부 근육으로, 열린 사슬의 경우에는 발바닥 굽힘(plantar flexion)을 만들지만 닫힌 사슬인 경우에는 무릎 펴기(knee extension)를 만들어 무릎 관절의 안정화를 만들기 때문에, 가자미근이 정상적으로 활성화가 되지 않으면 무릎 관절 앞 근육의 과신장과 무릎 관절 내에 과한 압력이 발생할 수 있다(Neumann, 2022).

이러한 이유로 적절한 스쿼트 수행 방법에 대한 연구는 근력운동 분야에서 매우 중요한 주제로 자리잡고 있으며, 수행 방법에 따라 근 활성화도와 부상 위험을 조절할 수 있는 방법들이 제안되어 왔다(Vakos, Nitz, Threlkeld, Shapiro, & Horn, 1994). 그 중에서도 불안정한 지지면에서의 스쿼트는 근 신경계에 더 큰 자극을 주어 근력뿐만 아니라 균형 및 안정성을 향상시켜 부상을 예방하는데 효과적이다(Akuthota & Nadler, 2004; Verhagen et al., 2004). 이러한 연구 결과들은 보다 안전하고 효과적인 스쿼트 수행 방법을 개발하는 데에 기여할 수 있다는 것을 시사하

며, 특히나 쪼그려 앉는 운동인 스쿼트 운동에 있어서 독점적으로 안정성을 만들어주는 가자미근의 역할에 주목할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 다양한 지지면에서 스쿼트 운동을 했을 때, 가자미근과 넙다리네갈래근 활성화도의 상관관계를 알아보고, 이를 통해 스쿼트와 관련된 근력운동 프로그램 및 재활 효과에 대한 새로운 이해를 제공하고 부상을 최소화하면서 다양한 상황에 적합한 스쿼트 수행 방법을 도출하는 데 기여할 것으로 기대된다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 부산광역시에 거주하고 있는 신체 건강한 성인 남성 15명이 연구의 목적과 방법에 대한 설명을 듣고 이해한 후 자발적 연구 참여 동의하에 실시하였다. 대상자는 무릎과 발목 통증 및 가동범위에 이상이 없으며, 최근 일주일간 하지 근력 운동을 하지 않고 스쿼트 운동 시 허리 통증이 없는 신체 건강한 자를 선정하였다. 본 연구는 헬싱키 선언에 의한 연구 윤리를 준수 하였으며, S대학교 인간윤리위원회의 승인(1041449-202402-HR-005)을 받았다

2. 실험 장비 및 절차

근전도 실험 절차

스쿼트 운동 시 근육들의 활성화도는 무선 표면근전도기기(4D-SES, RELIVE, Korea, 2018)를 사용하여 가자미근과 넙다리네갈래근을 측정했다. 신호의 정확성을 위해 반바지 착용 후 체모 및 각질을 제거 후 근전도 문헌을 참고하여 한명의 실험자가 모든 표면 전극을 각각 부착했다. 가자미근은 넙다리뼈(Femur)와 안쪽 발목 관절 사이의 2/3 지점에 부착하였고(Fig. A-1), 넙다리네갈래근은 스쿼트 운동 시 가장 활성화되는 근육인 가쪽 넓은근(vastus lateralis)을 측정하였으며(Escamilla, 2001), 위앞엉덩뼈가시(anterior superior iliac spine, ASIS)와 무릎 관절 옆면의 2/3 지점에 부착했다(Konrad, 2005)(Fig. A-2). 스쿼트 운동 전 근육의 최대등척성수축(maximal voluntary isometric contraction, MVIC)을 측정하기 위해 충분한 연습 후 5초간 3번 반복 측정한 평균값으로 정규화(normalization)했으며, 세트 간 1분간 휴식을 제공하였다. 가자미근은 대상자가 엎드린 상태에서 발바닥 굽힘을 실시할 때 실험자는 굽힘에 대한 저항을 가하여 측정했고, 넙다리네갈래근은 대상자가 앉은 자세에서 무릎을 90°굽힘 후 최대 힘으로 펴고, 실험자는 폼에 대한 저항을 가하며 측정을 했다(Kendall, McCreary, Provance, Rodgers, & Romani, 2005).



Figure 1. A. soleus, B. quadriceps femoris

Wedge

본 실험에서 내림 경사를 적용한 스쿼트 운동을 위해 칼텐본 웨지(Kaltenborn Wedge; Allgummi GmbH & Co, GERMANY, 2018)를 사용하였다(Fig 2-B).

TOGU

본 실험에서 불안정한 지면에서의 스쿼트 운동을 위해 토구(TOGU; DYN AIR Ballkissen, GERMANY, 2018)를 사용하였으며, 재활 프로그램에 많이 활용되고 있다(Fig 2-C).

3. 운동 방법

모든 대상자들은 3가지 방법의 스쿼트 운동(Normal Squat, Wedge Squat, TOGU Squat)을 무작위로 실시하였다. 대상자들은 사전 준비 운동을 실시한 후, 다리를 어깨 넓이만큼 벌리고 발끝을 ‘V’ 형태로 스쿼트 운동을 진행하였다. 시각으로 인한 오차범위를 줄이기 위해 시선은 정면을 바라보도록 하였으며(Donnelly, Berg, & Fiske, 2006), 실험에 방해가 되지 않는 선에서 대상자들이 원하는 속도로 진행하였다. 스쿼트 운동 방법에는 여러 가지 각도들이 있기 때문에, 공통적으로 무릎 관절이 120°로 되도록 Full Squat로 실시하였다(Escamilla, 2001). 각각 운동은 3번씩 Set간 휴식 시간은 1분을 주었으며, 운동 방법 변경 시 1분 휴식시간을 제공하였다.

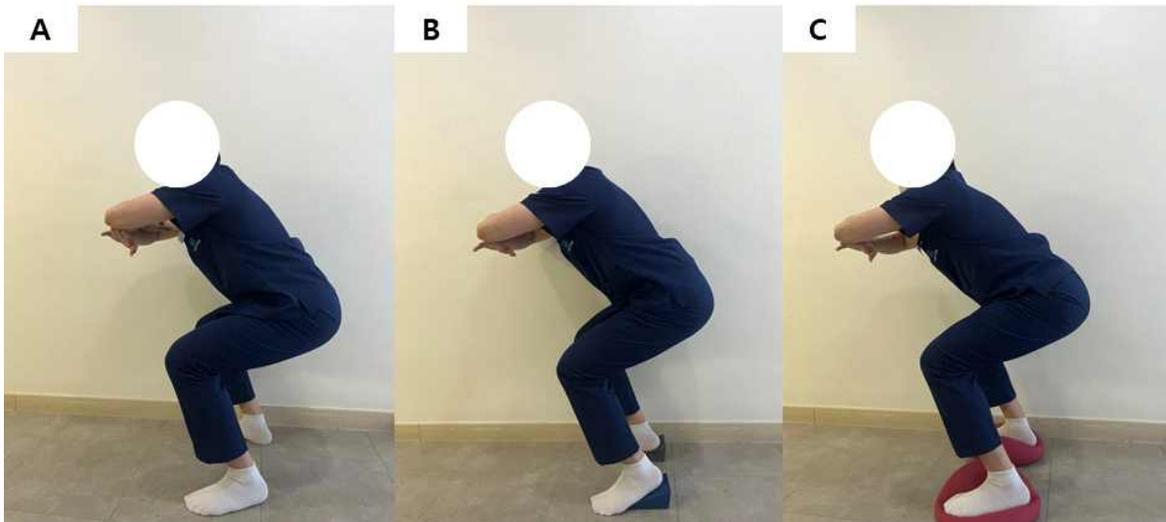


Figure 2. A. Normal squat, B. Wedge squat, C. TOGU squat

4. 통계 분석

본 연구의 통계 분석은 SPSS statistics ver. 20(IBM Co., Armonk, NY, USA) 프로그램을 사용하여 값을 산출하였다. Normal squat, Wedge squat, TOGU Squat 이 세 가지 방법의 스쿼트에서 가자미근과 넙다리네갈래근의 근 활성도를 알아보기 위해 일원배치 분산분석(one way ANOVA)을 사용하였다. 또한 가자미근과 넙다리네갈래근의 상관관계 분석을 위해 단순 회귀분석(Simple regression analysis)을 사용하였다. 모든 통계학적인 유의 수준은 0.05로 하였다.

III. 결 과

1. 연구 대상자의 일반적인 특성

본 연구에 참여한 15명 대상자들의 평균 연령과 신장, 체중에 대한 정보는 Table 1에 제시하였다.

Table 1. General characteristics of subjects ($n=15$)

	Mean±SD	<i>F</i>	<i>P</i>
Age (years)	28.60±5.81	2.459	.098
Height (cm)	176.93±5.32	.535	.590
Weight (kg)	75.00±10.09	.106	.899

2. 스쿼트 자세 별 근 활성화도 비교

각 운동 별 가자미근과 넙다리네갈래근의 근 활성화도 비교

본 연구에서 가자미근과 넙다리네갈래근 두 근육 모두 스쿼트 유형 간에 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 두 근육 모두 사후분석결과 NS와 TS, WS와 TS는 유의한 차이가 있었지만 NS와 WS는 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 2).

Table 2. comparison of “S” & “Q” muscles activation between groups ($n=15$)

	Normal Squat (NS)	Wedge Squat (WS)	TOGU Squat (TS)	F	P
S	14.90±1.84	13.38±1.29	34.35±7.08 ^{ab}	111.19	.000*
Q	107.36±8.96	113.72±8.98	90.29±9.37 ^{ab}	26.534	.000*

S=soles; Q=quadriceps, ^asignificant difference from NS, ^bsignificant difference from WS

2) Normal squat에서 가자미근과 넙다리네갈래근의 상관관계

NSS와 NSQ간의 상관관계는 통계적으로 유의하게 나타났다. 먼저 NSS와 NSQ사이에 통계적으로 유의한 선형의 상관관계가 발견되었다. 이는 단순회귀분석을 통해 (NSQ) = 200.810 - 6.079(NSS)로 설명을 할 수 있으며, NSS가 1 단위 증가할 때마다 NSQ는 6.079 감소한다고 해석할 수 있다. 또한 회귀계수(B)의 부호가 부(-)적이므로 NSS가 증가하면 NSQ는 감소한다는 결론을 도출할 수 있고, 단순회귀식에 의해서 85.7%만큼 설명할 수 있었다(Table 3).

Table 3. The correlation between the soleus and quadriceps in a Normal squat ($n=15$)

Independent variable	dependent variable	B	S. E	β	t	p
NSQ	(Constant)	200.810	23.215		8.650	.001*
	NSS	-6.079	1.241	-.926	-4.900	.008*

F = 24.010($p < 0.05$), R² = 0.857, D-W = 2.089, VIF = 1

NSS=normal squat soleus; NSQ=normal squat quadriceps femoris muscle ($p < 0.05$)

3) Wedge squat에서 가자미근과 넙다리네갈래근의 상관관계

WSS와 WSQ사이에서도 통계적으로 유의한 선형의 상관관계가 발견되었고, 단순회귀분석은 (WSQ) = 319.748 - 13.235(WSS)로 회귀계수의 부호가 부(-)적이므로 WSS가 증가하면 WSQ는 감소한다는 결론을 단순회귀식에 의해서 61.4%만큼 설명할 수 있었다(Table 4).

Table 4. The correlation between the soleus and quadriceps in a Wedge squat ($n=15$)

Independent variable	dependent variable	B	S. E	β	t	p
WSQ	(Constant)	319.748	76.804		4.163	.009*
	WSS	-13.235	4.688	-.784	-2.823	.037*

F = 7.969($p < 0.05$), $R^2 = .614$, D-W=1.234, VIF = 1

WSS=Wedge squat soleus; WSQ=wedge squat quadriceps femoris muscle (* $p < 0.05$)

4) TOGU squat에서 가자미근과 넓다리네갈래근의 상관관계

TSS와 TSQ사이에는 통계적으로 유의한 선형의 상관관계가 발견되지 않았다. 하지만, 회귀계수(B)의 부호가 부(-)적이므로 TSS가 증가하면 TSQ는 감소하는 것으로 나타났으며, TSS가 WSS와 NSS비해 높은 근 활성도가 나타났고, TSQ는 WSQ와 NSQ에 비해서 낮은 근 활성도가 나타남을 확인할 수 있었다(Table 5).

Table 5. The correlation between the soleus and quadriceps in a TOGU squat ($n=15$)

Independent variable	dependent variable	B	S. E	β	t	p
TSQ	(Constant)	466.293	215.633		2.162	.163
	TSS	-13.911	7.689	-.788	-1.809	.212

F = 3.273($p > 0.05$), $R^2 = .621$, D-W=1.836, VIF = 1

TSS=TOGU squat soleus; TSQ= TOGU Squat quadriceps femoris muscle

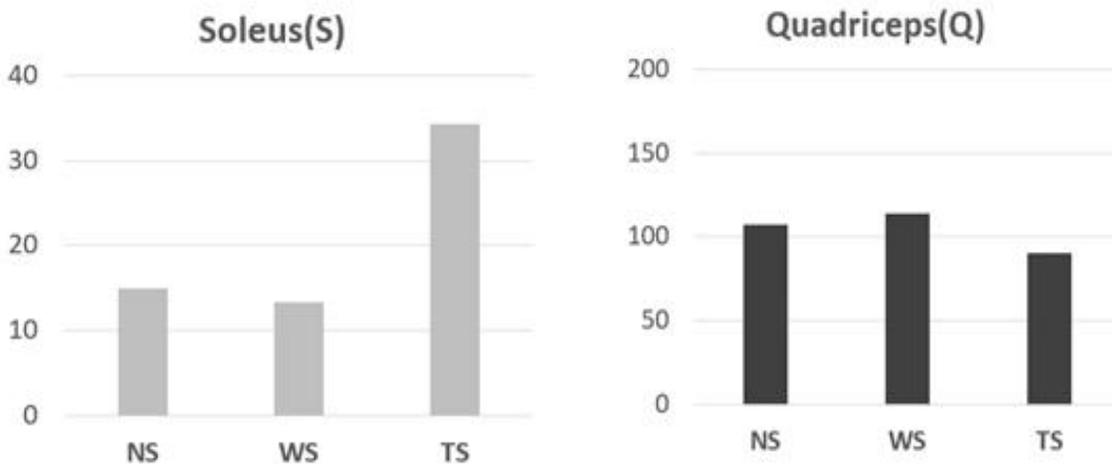


Figure 3. muscles activation with soleus and quadriceps during 3 type Squat exercise ($p < .05$)

IV. 논 의

본 연구는 3가지 방법의 스쿼트를 하는 동안 가자미근과 넙다리네갈래근의 근 활성도를 확인한 후 가자미근이 넙다리네갈래근에 있어서 어떠한 영향을 미치는지에 대한 상관관계를 알아보았다. 세 가지 유형의 스쿼트를 실시한 결과 불안정한 환경일수록 가자미근은 증가하고 넙다리네갈래근은 감소하는 유의한 차이가 있었기 때문에, 그에 따른 가자미근과 넙다리네갈래근의 상관관계를 알아볼 수 있었다.

본 연구에서 넙다리네갈래근은 내림 경사를 적용한 WS(Wedge Squat)에서 가장 높은 근 활성도를 나타냈다. WS는 발바닥 굽힘 위치에서 스쿼트를 하는 방법으로 약간의 불안정성을 주어 넙다리네갈래근을 더 활성화시킬 수 있는 유용한 방법이라고 알려져 있다(Ghasemi, Anbarian, & Esmacili, 2018). 이전 연구에서는 지면보다 Wedge를 이용한 양발 스쿼트 운동에서 넙다리네갈래근의 활성도가 증가했다고 하였고(Cook, Khan, & Purdam, 2001), 한 발 스쿼트 에서도 넙다리네갈래근의 활성도 증가했다. 이렇게 넙다리네갈래근의 근 활성도가 증가한 이유는 내림 경사로 인한 체간의 앞으로 쏠림을 방지하기 위해 중심을 뒤쪽으로 이동시키는 보상작용이 무릎의 부하를 증가시키기 때문이며(Opila, Wagner, Schiowitz, & Chen, 1988), 또 다른 이유로는 넙다리네갈래근과 짝힘을 이루는 장딴지근(gastrocnemius) 및 넙다리 두갈래근(hamstring)의 개입을 최소화시켜서 넙다리네갈래근에 집중화를 시키기 때문이라고 할 수 있다(Cannell, Taunton, Clement, Smith, & Khan, 2001). 본 연구에서도 지면보다 Wedge를 이용한 양 발 스쿼트에서 넙다리네갈래근의 활성도가 가장 크게 나타났다. 게다가 가자미근의 감소와 유의한 상관관계를 나타냈다. 그러므로 가자미근 또한 발목의 안정성을 위한 개입을 최소화하여 넙다리네갈래근에 활성도가 집중된다는 것으로 해석된다.

가자미근은 불안정한 환경을 적용한 TS(TOGU Squat)에서 가장 높은 근 활성도를 나타냈지만, 넙다리네갈래근은 가장 낮게 나타났다. 이러한 결과는 하지 근육에 있어서 가자미근의 활성도가 넙다리네갈래근의 약화 시 보상적 역할을 한다는 연구와 일치한다(Thompson, Chaudhari, Schmitt, Best, & Siston, 2013). TS는 불안정한 도구 위에서 스쿼트를 하는 방법으로 가자미근을 더욱 활성화시켜 균형 훈련에 유용하다고 알려져 있으며(Saeterbakken & Fimland, 2013), 불안정한 환경에서의 스쿼트 동작은 가자미근 및 척추세움근(Erector spine)과 함께 자세유지에 가장 중요한 역할을 한다(Anderson & Behm, 2005). 불안정한 지면의 스쿼트 관련 연구에서, 팽창식 균형 원판(Inflated Disc)을 사용한 양 발 스쿼트는 안정된 지면에 비해 넙다리네갈래근의 근 활성도가 46% 감소되었는데, 이는 본연의 넙다리네갈래근 운동 보다는 균형을 유지하는데 더 많은 주의를 해야 하는 상황과 불안정한 지면은 최대 힘을 발휘하기가 어렵기 때문이다(McBride, Larkin, Dayne, Haines, & Kirby, 2010). 그리고 보수 볼(BOSU ball)과 밸런스 콘(balance cone)을 이용한 양 발 스쿼트 연구에서도 안정한 지면보다 넙다리네갈래근의 근 활성도가 전반적으로 낮았는데, 이는 체간을 바로잡는 안정성 근육의 활성화를 만들어내어 균형능력에 집중되기 때문이다 (Saeterbakken & Fimland, 2013).

본 연구에서도 지면보다 TOGU를 이용한 양 발 스쿼트에서 넙다리네갈래근의 근 활성도가 가장 작게 나타났다. 게다가 가자미근의 증가와 반대로 넙다리네갈래근이 감소하는 반비례 관계가 있음을 나타냈다. 이전 연구에서도 지면보다 가자미근의 활성도가 증가했고(Anderson & Behm, 2005), 이는 가자미근이 불안정한 지면에서 균형을 잃었을 때 가장 먼저 활성화되는 근육이기 때문이다(Ivanenko, Levik, Talis, & Gurfinkel, 1997). 이전에는 체간의 균형을 위한 근 활성화 또는 무릎과 관련하여 연구가 이루어 졌지만 가자미근도 관련이 있다고 할 수 있다. 이러한 결과는 불안정한 지면이 발목의 불안정성을 유도하고, 고유수용성 감각을 자극시켜 발목의 안정성을 위

해 가자미근을 더욱 활성화시키기 때문에 넙다리네갈래근의 감소가 나타났다고 사료된다.

스쿼트는 하지의 근력과 안정성을 향상시키는 데 효과적인 운동으로 널리 알려져 있지만, 부적절한 수행 방법으로 인한 부상의 위험성도 존재한다. 따라서 본 연구가 스쿼트로 인한 부상의 위험에서 벗어나 효율적으로 수행하는 방법에 대해 이해할 수 있는 기회를 제공할 수 있을 것이라 기대된다.

본 연구의 제한점은 첫째, 대상자 수가 15명으로 적었기 때문에 연구 결과가 일반화되기에는 추후 연구가 필요하다. 둘째, 선행연구에서 남녀에 따른 스쿼트 하지 근 활성화도가 다르다는 결과도 있기 때문에, 후속 연구에서는 이러한 부분을 보완하여 가자미근 관점에서 남녀 비교 등 추가적 연구가 필요할 것이다.

V. 결 론

스쿼트 운동 시 지면이 과도하게 불안정할수록 가자미근의 활성화도는 증가되지만, 넙다리네갈래근의 활성화도는 감소했다. 그러므로 과도하게 불안정한 지면에서의 스쿼트 운동은 발목 안정성을 위한 가자미근의 활성화도가 증가되어 넙다리네갈래근의 활성화도 증가에 영향을 미치지 못한다. 또한 안정적인 지면 일수록 가자미근의 활성화도가 감소되면서 넙다리네갈래근도 함께 활성화도가 낮았기 때문에, 어느 정도의 불안정한 지면에서의 Wedge Squat가 가장 합리적이다. 이러한 결과를 바탕으로 발목 불안정성을 호소하는 환자들에게 어느 정도의 불안정한 지면에서의 스쿼트는 발목 균형전략에 필수 근육인 넙다리네갈래근과 가자미근에 있어서 효과적인 운동으로 추천해 줄 수 있는 운동이다.

참고문헌

- 김봉수. 스쿼트 동작시 웨이트벨트 착용 전.후에 따른 운동역학적 분석. 석사학위논문. 부경대학교 대학원. 2016
- 박근태, 강민지, 한진태. Y-균형 운동이 만성적 발목 불안정성을 가진 사람들의 시거리 보행 변수에 미치는 영향. 대한물리치료과학회지. 2024;31(1):70-87.
- 박상호. 스쿼트 동작 시 하지관절의 움직임과 요추부 부하에 관한 운동역학적 분석. 미간행 석사학위논문, 연세대학교 대학원. 2010
- 정진규, 박재철. 지지면 차이에 따른 월 스쿼트 운동이 몸통 근두께와 균형에 미치는 영향. 대한물리치료과학회지. 2022;28(3):64-72.
- 한진태. 정적 서기 동안 한쪽 또는 양쪽 발목관절 고정이 자세균형에 미치는 영향. 대한물리치료과학회지. 2022;29(3):56-62.
- Akuthota, Venu and Scott F. Nadler. "Core Strengthening." Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 85, 2004: 86-92.
- Anderson, Kenneth and David G. Behm. "Trunk Muscle Activity Increases with Unstable Squat Movements." Canadian Journal of Applied Physiology 30, no. 1 2005: 33-45.
- Blumenthal, James A., Charles F. Emery, David J. Madden, Linda K. George, R. Edward Coleman, Margaret W. Riddle,

- Daphne C. McKee, John Reasoner, and R. Sanders Williams. "Cardiovascular and Behavioral Effects of Aerobic Exercise Training in Healthy Older Men and Women." *Journal of Gerontology* 44, no. 5 1989: M147-M157.
- Cannell, L. J., J. E. Taunton, D. B. Clement, C. Smith, and K. M. Khan. "A Randomised Clinical Trial of the Efficacy of Drop Squats Or Leg Extension/Leg Curl Exercises to Treat Clinically Diagnosed Jumper's Knee in Athletes: Pilot Study." *British Journal of Sports Medicine* 35, no. 1 2001: 60-64.
- Cappozzo, Aurelio, FRANCESCO Felici, FRANCESCO Figura, and FABIO Gazzani. "Lumbar Spine Loading during Half-Squat Exercises." *Medicine and Science in Sports and Exercise* 17, no. 5 1985: 613-620.
- Contreras, Bret, Andrew D. Vigotsky, Brad J. Schoenfeld, Chris Beardsley, and John Cronin. "A Comparison of Gluteus Maximus, Biceps Femoris, and Vastus Lateralis Electromyography Amplitude in the Parallel, Full, and Front Squat Variations in Resistance-Trained Females." *Journal of Applied Biomechanics* 32, no. 1 2016: 16-22.
- Cook, Jill L., Karim M. Khan, and Craig R. Purdam. "Conservative Treatment of Patellar Tendinopathy." *Physical Therapy in Sport* 2, no. 2 2001: 54-65.
- Denegar, Craig R. and Sayers J. Miller III. "Can Chronic Ankle Instability be Prevented? Rethinking Management of Lateral Ankle Sprains." *Journal of Athletic Training* 37, no. 4 2002: 430.
- Donnelly, David V., William P. Berg, and Darryn M. Fiske. "The Effect of the Direction of Gaze on the Kinematics of the Squat Exercise." *The Journal of Strength & Conditioning Research* 20, no. 1 2006: 145-150.
- Escamilla, RAFAEL F. "Knee Biomechanics of the Dynamic Squat Exercise." *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33, no. 1 2001: 127-141.
- Fry, A. C. "Coaching Considerations for the Barbell Squat-Part 1." *J Strength Cond Res* 15, no. 2 1993: 556-569.
- Ghasemi, Mohammad Hosein, Mehrdad Anbarian, and Hamed Esmaeili. "Effect of various Foot Wedge Conditions on the Electromyographic Activity of Lower Extremity Muscles during Load Lifting." *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* 28, no. 4 2018: 213-219.
- Guillén-Rogel, Paloma, Cristina San Emeterio, and Pedro J. Marín. "Associations between Ankle Dorsiflexion Range of Motion and Foot and Ankle Strength in Young Adults." *Journal of Physical Therapy Science* 29, no. 8 2017: 1363-1367.
- Häkkinen, K., M. Kallinen, V. Linnamo, U-M Pastinen, R. U. Newton, and W. J. Kraemer. "Neuromuscular Adaptations during Bilateral Versus Unilateral Strength Training in Middle-aged and Elderly Men and Women." *Acta Physiologica Scandinavica* 158, no. 1 1996: 77-88.
- Ivanenko, Yu P., Yu S. Levik, V. L. Talis, and V. S. Gurfinkel. "Human Equilibrium on Unstable Support: The Importance of Feet-Support Interaction." *Neuroscience Letters* 235, no. 3 1997: 109-112.
- Kaminski, Thomas W. and Heather D. Hartsell. "Factors Contributing to Chronic Ankle Instability: A Strength Perspective." *Journal of Athletic Training* 37, no. 4 2002: 394.
- Kendall, Florence Peterson, Elizabeth Kendall McCreary, Patricia Geise Provance, Mary McIntyre Rodgers, and William Anthony Romani. *Muscles: Testing and Function with Posture and Pain*. Vol. 5 Lippincott Williams & Wilkins Baltimore, MD, 2005: 400-450.
- Konrad, Peter. "The Abc of Emg." *A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography* 1, no. 2005 2005: 30-35.
- Kraemer, William J., Kent Adams, Enzo Cafarelli, Gary A. Dudley, Cathryn Dooly, Matthew S. Feigenbaum, Steven
-

- J. Fleck, Barry Franklin, Andrew C. Fry, and Jay Robert Hoffman. "American College of Sports Medicine Position Stand. Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults." *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34, no. 2 2002: 364-380.
- Lentell, Gary L., Linda L. Katzman, and Mark R. Walters. "The Relationship between Muscle Function and Ankle Stability." *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 11, no. 12 1990: 605-611.
- Lynch, Scott A. "Assessment of the Injured Ankle in the Athlete." *Journal of Athletic Training* 37, no. 4 2002: 406.
- McBride, Jeffrey M., Tony R. Larkin, Andrea M. Dayne, Tracie L. Haines, and Tyler J. Kirby. "Effect of Absolute and Relative Loading on Muscle Activity during Stable and Unstable Squatting." *International Journal of Sports Physiology and Performance* 5, no. 2 2010: 177-183.
- Neumann, D. A. "No Title." *Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Rehabilitation*. Mosby, 3, 606 2022.
- Opila, Karen A., Stephen S. Wagner, Stanley Schiowitz, and John Chen. "Postural Alignment in Barefoot and High-Heeled Stance." *Spine* 13, no. 5 1988: 542-547.
- Saeterbakken, Atle H. and Marius S. Finland. "Muscle Force Output and Electromyographic Activity in Squats with various Unstable Surfaces." *The Journal of Strength & Conditioning Research* 27, no. 1 2013: 130-136.
- Schoenfeld, Brad J., Dan Ogborn, and James W. Krieger. "Dose-Response Relationship between Weekly Resistance Training Volume and Increases in Muscle Mass: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Journal of Sports Sciences* 35, no. 11 2017: 1073-1082.
- Thompson, Julie A., Ajit MW Chaudhari, Laura C. Schmitt, Thomas M. Best, and Robert A. Siston. "Gluteus Maximus and Soleus Compensate for Simulated Quadriceps Atrophy and Activation Failure during Walking." *Journal of Biomechanics* 46, no. 13 2013: 2165-2172.
- Toutoungi, D. E., T. W. Lu, A. Leardini, Fabio Catani, and J. J. O'connor. "Cruciate Ligament Forces in the Human Knee during Rehabilitation Exercises." *Clinical Biomechanics* 15, no. 3 2000: 176-187.
- Vakos, J. P., A. J. Nitz, A. J. Threlkeld, R. Shapiro, and T. Horn. "Electromyographic Activity of Selected Trunk and Hip Muscles during a Squat Lift. Effect of Varying the Lumbar Posture." *Spine* 19, no. 6 1994: 687-695.
- Verhagen, Evert, Allard Van Der Beek, Jos Twisk, Lex Bouter, Roald Bahr, and Willem Van Mechelen. "The Effect of a Proprioceptive Balance Board Training Program for the Prevention of Ankle Sprains: A Prospective Controlled Trial." *The American Journal of Sports Medicine* 32, no. 6 2004: 1385-1393.
-