

# 대한물리치료과학회지

Journal of Korean Physical Therapy Science  
2024. 09. Vol. 31, No 3, pp. 66-77

## 장딴지근 단축 대상자에게 스쿼트 운동 시 인솔이 발바닥 앞·뒤 압력분포에 미치는 영향

고은경

마산대학교 물리치료과

## The Effect of Insoles on the Pressure Distribution of the Anterior and Posterior sole during Squat Exercise in Subjects with Calf Muscle Shortness

Eun Kyung Koh, Ph.D., P.T.

*Dept. of Physical Therapy, Masan University*

### Abstract

**Background:** The purpose of this study was to determine the effects of insoles on the plantar pressure distribution during squat exercise in subjects with calf muscle shortness.

**Design:** Cross-sectional Study

**Methods:** Thirty subjects were participated in each fifteen subjects of a control group and an experimental group with calf muscle shortness. The participants were allocated in control group or experimental group according to knee-to-wall test. They were asked to perform squat exercise at hip flexion angle of 20° and knee flexion angle of 45° across three conditions with insole(2.0cm and 3.5cm) and without insole. The plantar pressure distribution was measured using Pedoscan equipment. In order to find out whether there is a significant difference in the plantar pressure distribution between the groups and the height, the two-way mixed ANOVA test was used and the statistical significance level was .05.

**Results:** As a result of the study, the plantar pressure distribution between the group and the height showed a significant interaction effect( $p<.001$ ). There was no significant difference according to the insole

height of 2.0cm and 3.5cm in all the control groups and the experimental group.

**Conclusion:** We found that the plantar pressure distribution shifted backward during squat exercise by wearing the insole to subjects with shortening of the calf muscle. We suggest that wearing an appropriate height of insole may change the plantar pressure distribution during squat exercise in subjects with calf muscle shortness.

**Key words:** Calf muscle shortness; Insole; Plantar pressure; Squat exercise

### 교신저자

고은경  
경상남도 창원시 마산회원구 내서읍 함마대로 2640. (51217)  
T: 055-230-1351, E: kohpt@masan.ac.kr

## I. 서론

스쿼트 운동은 엉덩관절과 무릎관절 그리고 발목관절의 단힌사슬 운동으로, 무릎 주변의 근육과 인대를 강화시키기 위해 주로 적용된다. 이와 같은 운동 시 신체 중심(the center of gravity of human body)의 위치는 자세 안정성에 중대한 영향을 준다(정형국과 배성수, 1993; 정진규, 2022). 그 중 하체 근육뼈대계통은 체중을 지지하는 기능을 담당하고 있어, 정적 또는 동적인 자세의 안정성이 저하되면 손상 위험성이 증가하게 된다(정철수와 신인식, 2005; 한진태, 2022). 특히 스쿼트 운동 시 가장 주의할 점은 운동 중 상체를 똑바르게 유지해야 한다는 것이다(유원규 등, 2005; 정현경, 2006). 또한 발목관절은 체중 부하 과정 중 하체 근육의 기능과 협력 작용으로 신체를 지지해 주게 된다(Menz 등, 2005; 김선민, 2023). 신체의 움직임 조절의 역할을 맡고 있는 발목관절은 장딴지근(gastrocnemius) 길이에 의한 동적 균형과 앞·뒤 발바닥의 압력분포, 균형 조절 능력의 회복에도 연관된다(Shupert 등, 1999).

장딴지근은 가자미근(soleus)의 힘줄과 함께 아킬레스 힘줄을 형성하고, 발목, 무릎의 안정성을 높여주며, 발목관절에서 발바닥굽힘을 하게 한다(Joseph과 Muscolino, 2011). 장딴지근의 단축과 발목관절의 비정상적인 구조는 발목관절의 발등굽힘 가동범위 제한의 원인이 된다. 발목관절에서 적절한 발등굽힘은 체중 부하 활동 같은 기능적 활동이 정상적으로 이루어지는 데에 중요한 동작이다(Sahrmann, 2010). 또한 장딴지근의 단축은 정적 균형 능력에 필요한 자세 전략을 제한하고 안정성을 감소시킨다(Shumway-Cook, 2001). 이로 인한 발등굽힘은 발의 위치 변화에 영향을 주며, 보상적 움직임과 하체의 과사용으로 인한 손상을 일으켜 근육뼈대계통의 통증을 초래한다(Johannsen 등, 2006). 장딴지근 단축의 결과인 발등굽힘 가동범위의 제한은 발목의 불안정성을 야기하고 이것은 인체 중심 이동범위의 제한으로 균형 능력의 감소를 의미한다(Gard와 Childress, 2001).

이를 평가할 수 있는 평가도구 중 최근 신뢰도가 높은 방법으로는 발바닥의 압력분포가 있다(김영환과 길재호, 2010). 또한 정적 서기 동안 정상적으로 지면과 닿아 있는 발바닥의 앞·뒤 압력분포는 각각 50%라고 하였다(Nordin과 Frankel, 2001). 장딴지근 단축이 아킬레스 힘줄의 짧아짐을 야기하고 이 때문에 발목관절 발등굽힘의 가동범위가 감소하여 발바닥의 압력분포는 달라진다(Caillet 등, 2003; Riley 등, 2001). 이원휘(2019)는 발바닥의 앞·뒤 압력분포는 장딴지근 단축에 따른 발목관절의 발등굽힘 가동범위의 제한이 있을수록 뒤쪽 압력분포가 크다고 하였다. 그러나, 체중을 뒤쪽으로 이동시키는 몸통의 보상작용에 의해 인체 중심이 뒤쪽에 분포할 수 있다는 연구가 있다. Opila 등(1988)에 따르면 스쿼트 운동 시 경사를 준다면 앞으로 넘어지는 느낌으로 인해서 몸통을 뒤로 이동시켜 보상하려 한다고 하였다. 그로 인해 인체 중심의 뒤쪽으로 머리, 몸통, 무릎, 발목이 이동하므로 무릎관절의 펌 외부 모멘트가 증가한다고 하였다. 또한, 이 상태에서 스쿼트 운동을 할 시 큰불기근(gluteus maximus)과 장딴지근의 영향이 최소화된다고 하였다. 또한 경사를 준 스쿼트 운동이 통증 감소에 큰 효과를 준다(Cannell 등, 2001; Cook 등, 2000). 이원휘와 이현준(2016)은 발뒤꿈치 높이가 하체의 근활성도와 신체분절의 위치, 균형 및 통증에도 영향을 일으킬 수 있을 것이라고 하였다. 또한 최종진(2018)은 스쿼트 운동 시 무게중심을 위로 들어올리기 위해 발목관절의 발바닥굽힘과 무릎관절의 펌 동작을 동시에 사용한다고 하였고, 이때 비복근(soleus)의 근활성화로 대퇴사두근의 지속적 피로를 줄이면서 스쿼트운동을 정확하게 수행할 수 있으므로 뒤꿈치에 보조물을 받쳐서 발바닥굽힘을 감소시킬 수 있다고 하였다.

Kathiresan 등(2010)은 정확한 스쿼트 운동 자세가 불가능한 이유 중 하나는 발등굽힘 가동범위의 감소가 있다고 하였다. 하지만 발바닥의 앞·뒤 압력분포와 동적 균형을 알아보는 연구나 발등굽힘 가동범위 제한을 알아보는 연구가 많이 되고 있지 않다. 발목관절 가동범위에 변화를 준 스쿼트 운동에 관한 앞선 연구들은 발목관절 안정

성에 제한이 있는 자, 특히 장딴지근이 단축된 사람을 대상으로 연구가 충분히 이루어지지 않았다. 이를 토대로 본 연구에서는 발등굽힘 가동범위 제한을 일으키는 요인 중 장딴지근 단축 시 스쿼트 운동에서 발바닥의 앞·뒤 압력분포에 미치는 영향을 알아보려고 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

#### 1) 연구대상자 선정

대상자 선정을 위해 창원시 M 대학교에 재학 중인 20대 대학생들 중 연구에 자발적 참여를 원하는 대상자를 편의추출 하였다. 참여하는 모든 대상자에게는 연구 대상자용 설명문 및 동의서를 배부하여 이 연구의 목적 및 방법을 충분히 설명한 후 서면동의서를 받았다.

대상자 선정 기준은 스쿼트 운동 시 자세 조절에 통증 및 불편감이 없는 자, 최근 3개월 동안 규칙적인 스쿼트 운동에 참여하지 않았던 자, 신경학적 질환이나 전정계 질환이 없는 자로 하였다. 실험군은 무릎 벽 닿기 검사(knee to wall test)를 실시하여 양성반응을 보인 대상으로 실시하였다(Wyndow 등, 2018). 제외기준으로는 최근 6개월간 골절, 관절염, 외상 등과 같은 정형외과적 장애 경험자, 다른 연구에 참여하고 있거나 최근 1년 이내에 이 연구와 유사한 연구에 참여한 경험이 있는 자로 하였다. 자료수집 기간은 2023년 4월 20일부터 5월 17일까지 4주간이었다.

연구대상자의 수는 G Power software(G Power, latest ver. 3.1.9.7; Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Germany)을 이용하여 산출하였다. 장딴지근 단축이 있는 실험군과 단축이 없는 대조군에서 인솔높이에 따른 발바닥의 앞뒤 압력 분포에 대해 효과크기는 0.4, 유의수준 0.05, 검정력은 0.95로 표본 크기를 산출한 결과 필요한 표본의 크기는 최소 24명이었다. 본 실험에서는 대상자를 총 30명으로 하였다.

#### 2) 단축대상자 검사

대상자의 장딴지근 단축 여부를 확인하기 위해 무릎 벽 닿기 검사를 실시하였다. 무릎 벽 닿기 검사는 벽을 마주 보고 반 무릎 서기 자세로 시행하였다(그림 1). 참가자들은 발뒤꿈치와 엄지발가락을 일렬로 정렬하고 바닥에 직선으로 둔 표준 줄자에 발을 위치시켰다. 발뒤꿈치는 바닥에서 떨어지지 않은 상태를 유지하며 무릎을 벽 쪽을 향하여 굽힘하였다. 무릎이 벽에 닿는다면 반복 시행하여 약간만 닿을 수 있는 지점까지 발을 뒤쪽으로 이동시키고 엄지발가락의 끝부분부터 벽까지의 거리를 측정하였다. 거리가 짧아질수록 장딴지근이 짧아져 있음을 의미한다. 측정 길이가 5.0cm 미만일 시 양성으로 판정하였다. 이 검사의 검사-재검사 신뢰도는 ICC=.96으로 보고되었다(Bennell 등, 1998; Powden 등, 2015).



Fig 1. Knee to wall test

## 2. 연구절차

연구대상자는 자발적 참여자들로 30명의 지원자 중 무릎 벽 닿기 검사를 실시하여 대조군과 실험군 각각 15명씩 할당하였다. 실험군과 대조군 모두 압력분석기 발판 위에서 인솔없이, 2.0cm, 3.5cm의 세 가지 조건에서 스쿼트를 정해진 실험방법에 따라 수행하였다(그림 2).

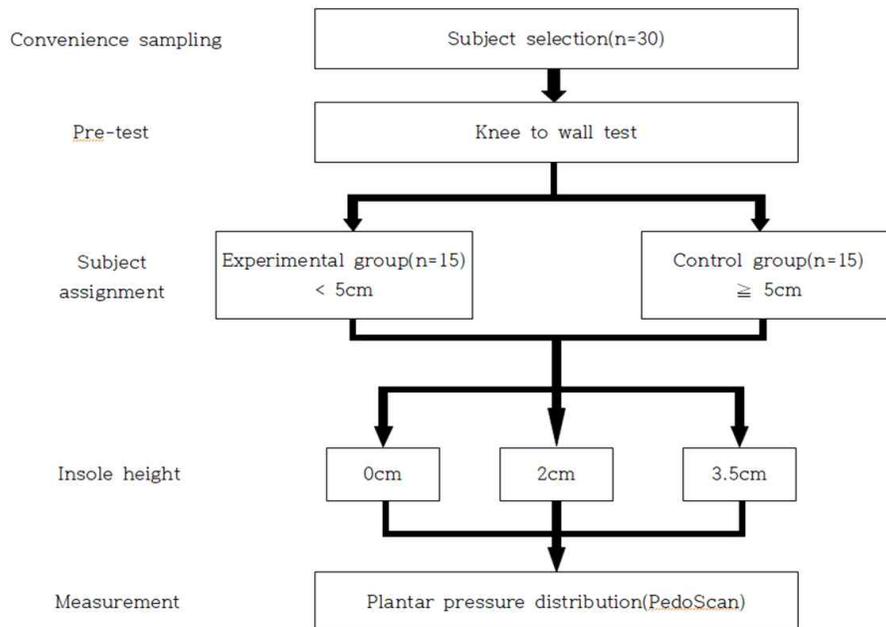


Fig 2. Study design

## 3. 검사방법

1) 측정 도구 및 방법

(1) 각도 측정 어플리케이션(Angles alpha)

스쿼트 운동 시 엉덩관절과 무릎관절의 각도를 통제하기 위해 각도 측정 어플리케이션(Angles alpha, AI Initiatives, LLC., America)을 사용하였다(그림 3). 이 어플리케이션은 측정하고자 하는 대상자를 기기로 투사하여 분석하고 인체 각 관절의 각도를 실시간으로 화면상에 표현해줌으로써 데이터를 추적, 관리한다. 실시간으로 자세의 오차를 피드백 받아 수정하며 360°의 범위 내에서 관절가동범위를 측정, 통제, 교육하였다.

(2) 인솔(Insole)

신발 깔창의 모양으로 된 인솔은 그 위에 올라서면 발뒤꿈치를 올려주는 지면을 만들어준다. 오명화 등(2009)은 깔창의 높이와 안정성은 비례한다고 하였다. 이를 바탕으로 대상자들은 압력분석기 발판 위에서 2.0cm, 3.5cm의 두 개 높이의 인솔을 각각 사용하였다(그림 4).



Fig 3. Application



Fig 4. Insole

(3) 압력분석기(Pedoscanner)

인체 중심 이동양상을 측정하기 위해 압력분석기(Pedoscanner, DIERS Inc., Germany)장비를 사용하였다. 발판은 가로 100cm, 세로 48cm의 크기로 저항방식의 압력센서가 위치하여 최소 100Hz~300Hz 빈도로 측정 가능한 장비이다(그림 5). 신체의 전·후·좌·우로 정적·동적인 압력의 상대적인 비율과 최대 압력, 평균 압력, 좌우 인체 중심을 연결한 선의 각도 측정이 가능하다. 측정된 정보는 동기화된 컴퓨터 화면상에 수치와 분포도로 표시되며 프로그램에 전산화되어 보관된다. 수치는 압력(N/cm<sup>2</sup>)과 비율(%)로 나타나며 인체 중심 이동은 표시되는 값에 비례한다고 판단하였다. 분포는 색깔별로 정도의 수준을 나타내며, 파랑에서 빨강으로 갈수록 높은 압력을 의미한다(이원휘, 2019; 정형국, 2009).

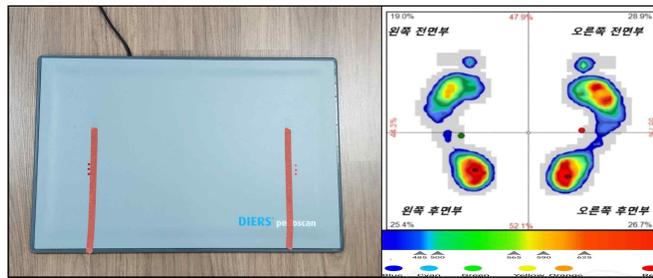


Fig 5. Pedoscan

(4) 실험방법

모든 대상자에게 데이터 수집 전 스쿼트 운동 동작에 대한 정확한 자세설명을 하였고 약 15분간 훈련하였다. 기본 측정 자세는 머리 움직임 없이 시선은 전방을 향하도록 하였다. 스쿼트 운동 수행 시에 양손을 가볍게 가슴 위에 올려두고 몸통을 바르게 세우도록 지시하였다. 발끝 각도는 두 번째 발가락을 기준으로 하여 발가락이 정면을 유지한 채 발을 어깨너비로 벌린 자세를 취하도록 하였고, 대상자 발뒤꿈치 끝을 인솔 끝 지점에 맞추어 놓았다. 측정을 위한 유지 자세는 각도 측정 어플리케이션을 이용하여 엉덩관절 굽힘각도를 엉덩관절의 중심축과 수직선이 이루는 각도를 20°로 고정하였고, 무릎관절 굽힘각도를 무릎관절 중심축과 수직선이 이루는 각도를 45°로 통제하였다. 인솔없이, 인솔 높이 2.0cm, 3.5cm에서 각각 스쿼트 운동을 실시하였고, 측정을 위한 최소 요구시간인 15초간 해당 자세를 유지하였다(그림 6). 실험 측정 순서는 무작위로 설정하였고, 각 조건에 따른 최대 압력과 평균 압력을 총 3회 측정하여 평균값을 사용하였다. 연속 측정으로 인한 근피로도를 최소화하기 위해서 각 측정 사이에 대상자는 2분간의 휴식시간을 가졌다(Lu 등, 2022). 균등한 조건을 위하여 메트로놈 60beat/min 박자의 청각 신호를 주며, 2초간 쪼그려 앉고, 15초간 앉아 있는 상태를 유지하고, 2초간 서도록 하여 동작의 속도를 통제하였다.



Fig 6. Squat Exercise

3. 분석 방법

수집된 자료는 윈도우용 SPSS ver. 21.0을 이용하여 분석하였고, 통계적 유의성을 검정하기 위한 유의수준  $\alpha = .05$ 로 하였다. 측정된 변수들의 정규분포를 확인하기 위해 사피로-윌크(Shapiro-Wilk) 검정을 실시한 결과 변수

들에서 비정규성이 확인되었다( $p<.05$ ). 대상자들의 각 처치에 따른 인체 중심 이동양상의 차이를 알아보기 위하여 반복측정된 이요인 분산분석(two-way mixed ANOVA test)을 각각 실시하였다. 주효과 검정과 교호작용이 있어 통계적 유의성을 알아보기 위해 본페로니 사후분석(Bonferroni correction)을 이용하였다.

### III. 결 과

#### 1. 연구대상자의 일반적 특성

본 연구에 참여한 30명 중 실험군은 15명(50%)이었고, 대조군은 15명(50%)이었다. 평균 신장은 실험군은 174.24cm, 대조군은 167.88cm이었으며, 평균 체중은 실험군은 76.00kg, 대조군은 63.06kg이었고, 평균 발크기는 실험군은 266.24mm, 대조군은 252.06mm이었다(Table 1). 대상자의 동질성검정 시 Levene's test를 이용하여 등분산검사를 실시하였고 몸무게는 등분산하여 동질성이 있었다( $p>.05$ ). 그러나 키, 발크기는 등분산하지 않아 동질성이 없었다. 대조군과 실험군의 장판지군의 단축정도를 알아보기 위한 무릎-벽-닿기 검사의 동질성검정 시 등분산하지 않았고 동질성이 없었다( $p<.05$ ).

Table 1. General characteristics of subjects (N=30)

Group	Experimental group(n=15)	Control group(n=15)	p
Gender	M(n=12), F(n=3)	M(n=9), F(n=6)	
Height(cm)	174.24±4.75	167.88±9.59	<.05
Weight(kg)	76.00±15.34	63.06±11.66	>.05
Foot size(mm)	266.24±20.16	252.06±20.16	<.05
knee to wall test(cm)	3.47±0.62	6.20±0.65	<.05

Values are mean ± standard deviation, M: Male, F: Female

#### 2. 발바닥 압력분포의 변화

인솔을 착용하지 않은 경우 실험군(61.01%)은 대조군(41.49%)에 비해 앞쪽 발바닥 압력분포가 유의하게 높았다( $p<.05$ ). 그러나 두 가지 조건의 인솔 높이(2.0cm vs. 3.5cm)에서는 두 군 간에 유의한 차이는 없었다( $p>.05$ ). 두 군 간에 앞쪽 발바닥 압력분포는 군과 높이 간 유의한 상호작용의 효과가 있었고( $p<.001$ ), 군과 높이 모두에서 유의한 차이가 있었다( $p<.001$ ). 인솔 높이에 대한 사후 검정 결과 인솔을 착용하지 않은 경우 앞쪽 발바닥 압력분포에 유의한 차이가 있었다( $p<.017$ ),(Table 2).

인솔을 착용하지 않은 경우 실험군(38.85%)은 대조군(58.38%)에 비해 뒤쪽 발바닥 압력분포가 유의하게 낮았다( $p<.05$ ), 그러나 두 가지 조건의 인솔 높이(2.0cm vs. 3.5cm)에서는 두 군 간에 유의한 차이는 없었다( $p>.05$ ). 뒤쪽 발바닥 압력분포는 군과 높이 간 유의한 상호작용의 효과가 있었고( $p<.001$ ), 군과 높이 모두에서 유의한 차이가

있었다( $p<.001$ ). 인솔 높이에 대한 사후 검정 결과 인솔을 착용하지 않은 경우 뒤쪽 발바닥 압력분포에 유의한 차이가 있었다( $p<.017$ ),(Table 2).

본페로니 사후 검정 결과 두 집단 간에서 앞쪽 발바닥 압력분포는 장딴지근의 단축이 있는 군과 장딴지근의 단축이 없는 군에서 앞쪽 발바닥 압력분포가 뒤쪽 발바닥 압력분포에 비해 높았다( $p<.05$ ),(Table 3). 앞쪽 발바닥 압력분포에서 인솔을 착용하지 않았을 때가 2.0cm 인솔 높이와 3.5cm 인솔 높이 비교 시, 모두 앞쪽 발바닥 압력 분포가 높았다. 그러나 2.0cm 인솔 높이와 3.5cm 인솔 높이에서는 차이가 없었다( $p<.05$ ),(Table 4). 뒤쪽 발바닥 압력분포에서 인솔을 착용하지 않았을 때가 2.0cm 인솔 높이와 3.5cm 인솔 높이 비교 시, 모두 뒤쪽 발바닥 압력 분포가 낮았다( $p<.05$ ),(Table 3). 그러나 2.0cm 인솔 높이와 3.5cm 인솔 높이에서는 차이가 없었다( $p<.05$ ),(Table 4).

Table 2. Foot pressure among the groups on non-insole, 2.0cm and 3.5cm insole (N=30)

Pressure	Group	Non-Insole	Insole(2.0cm)	Insole(3.5cm)	Effect	F	p
Anterior(%)	Experimental group (n=15)	61.01±5.46 <sup>‡</sup>	42.70±4.48	42.18±3.07	Group	25.24	<.001
	Control group (n=15)	40.95±9.28 <sup>‡</sup>	41.75±5.47	44.04±4.40	Height	22.83	<.001
					Group x Height	34.93	<.001
Posterior(%)	Experimental group (n=15)	38.85±5.43 <sup>‡</sup>	57.30±4.48	57.93±2.90	Group	25.40	<.001
	Control group (n=15)	59.05±9.28 <sup>‡</sup>	58.36±5.62	55.96±4.40	Height	35.61	<.001
					Group x Height	26.35	<.001

Values are mean ± standard deviation, Independent t-test between groups <sup>‡</sup> $p<.017$

Table 3. Comparison of variables between groups (N=30)

Pressure	Group	MD	SE	95% CI <sup>a</sup>	p
Anterior(%)	Experimental Control	6.38	1.27	3.78 - 8.98	.000*
Posterior(%)	Experimental Control	-6.43	1.28	-9.04 - -3.82	.000*

<sup>a</sup>Bonferroni adjustment, MD: Mean difference, SE: Standard error, CI: Confidence interval, \* $p_{adjust}<.05$

Table 4. Comparison of variables within group

(N=30)

Pressure	Height	MD	SE	95% CI <sup>a</sup>	p	
Anterior(%)	Non-Insole	Insole(2.0cm)	8.75	1.72	4.37 - 13.14	.000*
		Insole(3.5cm)	7.87	1.66	3.63 - 12.12	.000*
	Insole(2.0cm)	Insole(3.5cm)	-.88	.60	-2.41 - .65	.463
Posterior(%)	Non-Insole	Insole(2.0cm)	-8.88	1.72	-13.26 - -4.50	.000*
		Insole(3.5cm)	-8.00	1.65	-12.21 - -3.79	.000*
	Insole(2.0cm)	Insole(3.5cm)	.881	.623	-.71 - 2.48	.512

<sup>a</sup>Bonferroni adjustment, MD: Mean difference, SE: Standard error, CI: Confidence interval, \* $p_{\text{adjust}} < .017$ 

#### IV. 논 의

발바닥 압력분포는 장딴지근의 길이와 관련이 있다(이원희, 2019). 장딴지근의 단축은 발등굽힘 각도를 제한하고, 이는 스쿼트 운동 및 서기 또는 걷기 시 발바닥 압력분포에 영향을 줄 수 있다. 발등굽힘은 앞발과 뒷발 사이의 압력 분산에 필수적이다. 발뒤꿈치, 중간발, 앞발 사이에 체중이 고르게 분산되어야 한다. 장딴지근이 단축되면 발등굽힘 가동범위가 제한되어 발바닥 압력분포가 앞쪽으로 이동한다. 발바닥 압력분포가 앞쪽으로 이동하면 스쿼트 운동 시 주로 장딴지근의 근활성도가 증가하고 앞정강근(tibialis anterior)의 근활성도가 감소하게 된다(Kitamura 등, 2019). 발바닥 압력분포를 이용한 스쿼트 운동은 발바닥 압력분포 및 발목과 무릎 근육의 근활성도에 영향을 준다. 장딴지근의 단축이 있는 경우 발뒤꿈치가 지면으로부터 떨어지는 것을 보상할 수 있는 발뒤꿈치 높이를 올려주는 인솔을 착용하여 발의 앞쪽에 있는 인체 중심을 발목관절 가까이 이동시키도록 하는 것이 중요하다. 발뒤꿈치의 높이에 따라 인체 중심 이동양상을 알아본 연구에 의하면 발뒤꿈치의 상승 시 몸통은 뒤로 이동하고 골반은 후방경사되며 다리는 더 수직으로 정렬되고, 또한 몸통이 뒤로 이동하고 골반이 후방경사됨에 따라 인체 중심도 뒤로 이동한다고 하였다(Opila 등, 1988). 유원규 등(2005)은 내림 경사대에서 스쿼트 운동 시 앞으로 넘어지려고 함으로 몸통을 뒤로 이동시켜 보상하려고 하고, 그로 인해 머리, 몸통, 무릎, 발목이 모두 인체 중심의 뒤쪽으로 이동한다고 하였다. 따라서 발뒤꿈치의 상승은 인체 중심을 뒤쪽으로 이동시킴을 의미한다. 본 연구 결과 장딴지근의 단축이 있는 대상자에게 인솔을 적용하지 않은 상태에서 스쿼트를 시행 하였을 때 인체 중심은 앞쪽으로 이동하고 인솔을 적용하게 되면 인체 중심이 뒤쪽으로 이동하였다. 그러나 이원희(2019)의 연구에서 장딴지근 길이의 단축은 발등굽힘 가동범위를 감소시켜 안정성 한계의 범위가 뒤쪽 발바닥 보다는 앞쪽 발바닥의 범위가 유의하게 감소한 것으로 나타났고, 이러한 발등굽힘 각도의 제한은 균형을 유지하면서 앞쪽으로 인체 중심을 이동하는 범위를 제한시켜 앞쪽으로 균형 능력이 감소된다고 하였다. 또한 장딴지근의 단축으로 인해 발등굽힘 가동범위가 제한되면 발뒤꿈치가 바닥에서 떨어지지 않는 한 발바닥의 압력분포를 앞쪽으로 이동시키기 힘들기 때문에 발바닥의 압력분포가 뒤쪽으로 이동하는 것으로 사료된다 하였다. 이러한 차이는 측정 자세에 따른 인체 중심 이동양상에 있다. 본 연구에선 장딴지근 단축이 있는 대상자의 발바닥 압력분포 측정 시 무릎관절과 엉덩관절의 각도를 통제하여 정적 스쿼트를 시행하여 인체 중심 이동양상을 평가하였다. 하지만

이원휘(2019)의 연구는 장딴지근 단축이 있는 대상자의 발바닥 압력분포 측정 시 무릎과 엉덩관절을 굽히지 않고 양팔을 몸통 옆으로 늘어뜨린 선 자세에서 발목 전락을 사용하여 최대한의 범위로 인체 중심을 이동하여, 한계 정도를 평가하였다. Ishida 등(2022)은 발바닥의 압력분포를 앞쪽으로 이동시킨 상태에서 스쿼트 운동을 하게 되면 발목관절의 펌 모멘트가 증가하게 되어 장딴지근의 근활성도가 증가하고, 넓다리 네갈래근의 근활성도가 감소된다고 보고하였다. 문곤성과 최수연(2020)은 보행 시 발뒤꿈치 높이의 증가는 인체 중심이 지나치게 앞쪽으로 향하게 되므로 이에 대한 보상으로서 발목관절을 지나치게 발바닥굽힘 시키고 인체 중심을 뒤쪽에 위치하여 보행한다고 보고하였다. 본 연구의 결과 앞쪽 발바닥 압력분포는 군과 높이 간 유의한 상호작용의 효과가 나타났으며( $P < .001$ ), 군과 높이 모두에서 유의한 차이가 있었다( $p < .001$ ). 인솔 높이에 대한 사후 검정 결과 인솔을 착용하지 않은 경우 앞쪽 발바닥 압력분포에 유의한 차이가 나타났다( $p < .017$ ). 뒤쪽 발바닥 압력분포는 군과 높이 간 유의한 상호작용의 효과가 있었고( $p < .001$ ), 군과 높이 모두에서 유의한 차이가 있었다( $p < .001$ ). 인솔 높이에 대한 사후 검정 결과 인솔을 착용하지 않은 경우 뒤쪽 발바닥 압력분포에 유의한 차이가 있었다( $p < .017$ ).

무릎관절의 펌 모멘트는 인체 중심이 앞쪽에 위치 시 유의하게 감소하였고, 발목관절의 펌 모멘트는 인체 중심이 앞쪽에 위치 시 유의하게 크게 나타났다(Ishida 등, 2022). 또한 인체 중심을 앞쪽으로 이동시킨 상태에서 스쿼트 운동을 진행하였을 때, 안쪽 넓은근의 근활성도는 유의하게 감소하고 가쪽 장딴지근의 근활성도는 유의하게 증가하였다(Kitamura 등, 2019). 즉 인체 중심 이동을 이용한 스쿼트 운동은 발바닥 압력분포 및 발목과 무릎 근육의 근활성도에 영향을 준다. 또한 이러한 결과는 장딴지근 단축이 있는 대상자에게 인솔을 적용을 하였을 때, 인체 중심이 뒤쪽으로 이동할 것이라는 본 연구의 가설과 일치하다. 본 연구의 결과에서 인솔 높이에 따른 발바닥의 압력분포는 실험군과 대조군 모두 뒤쪽으로 이동하였고, 2.0cm와 3.5cm의 인솔 높이에 따른 차이는 실험군, 대조군 모두 유의한 차이는 나타나지 않았다. 따라서 인체 중심의 이동을 이용한 스쿼트 운동은 장딴지근 단축이 있는 대상자의 발바닥 압력분포에 영향을 주어 스쿼트 운동 시 발목관절의 통증과 근육의 불균형 문제를 개선할 수 있을 것이다.

본 연구의 제한점은 첫째, 대상자가 장딴지근 길이의 단축이 있어서 무릎관절과 엉덩관절의 굽힘 범위가 제한되어 깊은 스쿼트 운동을 할 수 없었으며 둘째, 성별을 구분하여 측정하지 않아 평소 하이힐을 착용하는 경우에 변수가 될 수 있음을 배제하지 못했다. 마지막으로 대상자 선정기준에 맞춰 장딴지근 단축을 무릎-벽-닿기 검사에서 5cm 미만인 경우 실험군으로 선정하여 키와 발크기에 대한 동질성을 고려하지 못하였다.

## V. 결 론

본 연구는 장딴지근 단축이 있는 대상자에게서 스쿼트 운동 시, 발바닥의 앞·뒤 압력분포에 미치는 영향과 인솔이 있는 인솔을 적용하였을 때 발바닥의 앞·뒤 압력분포에 대해 알아보고자 하였다. 본 연구 결과 스쿼트 운동 시, 발바닥의 앞·뒤 압력분포는 실험군과 대조군 간 유의한 차이가 있었고, 실험군에서 발바닥의 압력분포가 앞쪽에 위치하였으며, 대조군에서는 발바닥의 앞력분포가 뒤쪽에 위치하였다. 인솔 높이에 따른 발바닥의 압력분포는 실험군과 대조군 모두 뒤쪽으로 이동하였다. 그러나 2.0cm와 3.5cm의 인솔 높이에 따른 차이는 실험군, 대조군 모두에서 유의한 차이는 없었다. 본 연구 결과 장딴지근 단축이 있는 대상자에게 인솔을 착용하여 스쿼트 운동을 하였을 때, 발바닥의 압력분포가 뒤쪽으로 이동하였다. 장딴지근의 단축이 있는 경우 발뒤꿈치가 지면으로부터 떨어지는 것을 보상할 수 있는 발뒤꿈치 높이를 올려주는 인솔을 착용하여 발의 앞쪽에 있는 인체 중심을 발목관절 가까이 이동시키도록 하는 것이 중요하다. 발바닥의 압력 변화로 인해 스쿼트 운동 시 발목관절의 통증

이나 근육의 불균형의 문제를 개선하기 위해 본인의 장딴지근 길이에 맞는 적절한 높이의 인soles 착용하는 것을 제안한다.

## 참고문헌

- 김선민, 이근수, 장상훈. 치료적 운동을 병행한 발목 관절가동술이 만성 발목 불안정성을 가진 노인의 발목 관절 가동범위와 균형에 미치는 영향. 대한물리치료과학회지. 2023;30(2):52-64.
- 문곤성, 최수연. 내리막 경사로 보행 시 하이힐 굽 높이에 따른 운동 역학적 분석. 한국융합과학회지. 2020;9(1): 267-285.
- 오명화, 이진형, 김경. 정상성인의 인soles 높이가 균형에 미치는 영향. 대한물리의학회지. 2009;4(2):79-86.
- 유원규, 이충휘, 전해선. 내림 경사대에서 한 다리 스쿼트 운동 시 경사면과 자세변화에 따른 무릎주변근의 근활성도. 한국전문물리치료학회지. 2005;12(3):22-30.
- 이나리, 윤신중, 최광수. 필라테스 운동이 젊은 여성의 등속성 하지 근력과 밸런스에 미치는 영향. 한국산학기술학회 논문지. 2016;17(11):691-700.
- 이원휘. 장딴지근 길이가 동적 균형 및 발바닥의 앞뒤 압력 분포에 미치는 영향. 한국산학기술학회논문지. 2019; 20(6):150-157.
- 이원휘, 이현준. 구두 굽의 높이가 한다리 서기 자세에서 배곧은근, 척추세움근, 넓다리곧은근, 뒤넓다리근의 근활성도에 미치는 영향. 한국산학기술학회 논문지. 2016;17(3):224-230.
- 정진규, 박재철. 지지면 차이에 따른 윌 스쿼트 운동이 몸통 근두께와 균형에 미치는 영향. 대한물리치료과학회지. 2022;28(3):64-72.
- 정철수, 신인식. 운동역학총론. 서울: 대한미디어. 2005;209-212.
- 정현경. 스쿼트 동작 시 발뒤꿈치 보조물 경사각에 따른 근육활동 비교. 대한운동사협회 운동사대회자료집. 2006, 416-417.
- 정형국. 발의 내 적용이 자세 동요와 체중 분포에 미치는 영향. 대한물리치료과학회지. 2009;16(4),19-27.
- 정형국, 배성수. 인체 중심과 분절 중심에 대한 연구. 대한물리치료학회지. 1993;5(1),61-69.
- 채원식, 정현경, 장재익. 스쿼트 동작 시 발뒤꿈치 보조물 경사각에 따른 하지근과 척추기립근의 근육활동 비교. 한국운동역학회지. 2007;17(2),113-121.
- 최종진. 신발 깔창 높이가 스쿼트 동작 자세에 미치는 효과[석사학위논문]. 전남대학교 교육대학원; 2018.
- 한진태. 정적 서기 동안 한쪽 또는 양쪽 발목관절 고정기 자세균형에 미치는 영향. 대한물리치료과학회지. 2022;29(3):56-62.
- Bennell KL, Talbot RC, Wajswelner H, et al. Intra-rater and inter-rater reliability of a weight-bearing lunge measure of ankle dorsiflexion. Aust J Physiother. 1998;44(3):175-180
- Caillet F, Mertens P, Boisson D. Three dimensional gait analysis and controlling spastic foot on stroke patients. Ann Readapt Med Phys. 2003;46(3):119-131.
- Cannell LJ, Taunton JE, Clement DB, et al. 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. Br J Sports Med. 2001;35(1):60-64.

- Cook JL, Khan KM, Maffulli C, et al. Overuse tendinosis, not tendinitis Part 2: Applying the new approach to patellar tendinopathy. *Phys Sportsmed.* 2000;28(6):31-46.
- Ishida T, Samukawa M, Endo D, et al. Effects of changing center of pressure position on knee and ankle extensor moments during double-leg squatting. *J Sports Sci Med.* 2002;21(3):341-346.
- Johannsen L, Broetz D, Karnath HO. Leg orientation as a clinical sign for pusher syndrome. *BMC Neurol.* 2006;6(1):1-15.
- Joseph E, Muscolino DC. Know the body muscle, bone, and palpation essentials. St. Louis, Mosby. 2011.
- Kathiresan G, Jali N, Afiqah N, et al. The relationship between ankle joint flexibility and squatting knee flexion posture in young malaysian men. *World J. Sport Sci.* 2010;3(3):226-230.
- Kitamura T, Kido A, Tanaka Y. Muscle activity pattern with a shifted center of pressure during the squat exercise. *J Sports Sci Med.* 2019;18(2):248-252.
- Lu Z, Li X, Xuan R, et al. Effect of Heel Lift Insoles on Lower Extremity Muscle Activation and Joint Work during Barbell Squats. *Bioengineering.* 2022;9(7):301.
- Menz HB, Morris ME, Lord SR. Foot and ankle characteristics associated with impaired balance and functional ability in older people. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2005;60(12):1546-1552.
- Nordin M, Frankel VH. Basic biomechanics of the musculoskeletal system(Eds.). Lippincott Williams & Wilkins. 2001.
- Opila KA, Wagner SS, Schiowitz S, et al. Postural alignment in barefoot and high-heeled stance. *Spine.* 1988;13(5):542-547.
- Powden CJ, Hoch JM, Hoch MC. Reliability and minimal detectable change of the weight-bearing lunge test: A systematic review. *Man Ther.* 2015;20(4):524-532.
- Riley PO, Della Croce U, Kerrigan DC. Propulsive adaptation to changing gait speed. *J Biomech.* 2001;34(2):197-202.
- Sahrmann S. Movement system impairment syndromes of the extremities, cervical and thoracic spines. St. Louis, Mosby. 2010.
- Shumway-Cook A. Normal postural control. Motor control: Theory and practical applications(4th ed.). Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins. 2001.
- Runge CF, Shupert CL, Horak FB, et al. Ankle and hip postural strategies defined by joint torques. *Gait Posture.* 1999;10(2):161-170.
- Wyndow N, Collins NJ, Vincenzino B, et al. Foot and ankle characteristics and dynamic knee valgus in individuals with patellofemoral osteoarthritis. *J Foot Ankle Res.* 2018;11(1):1-6.