

Effects of Weight-Bearing Posture During Heel Raise on Lower Extremity Muscle Activation in Adults with Chronic Ankle Instability

Gang-Hyun Moon¹, Bo Gyeong Kim¹, Yeon Su Kim², Eun Bin Park², Hyun Ji Lee², Ji Hee Han², Jung-Won Kwon²

¹Department of Public Health Sciences, Graduate School, Dankook University, Cheonan, Republic of Korea, ²Department of Physical Therapy, College of Health and Welfare Sciences, Dankook University, Cheonan, Republic of Korea

Purpose: Muscle weakness of the lower extremity is one of the causes of chronic ankle instability, and the heel raise exercise has been proposed as a means of increasing ankle stability. This study sought to investigate the most effective weight-bearing posture for adults with chronic ankle instability during the heel raise exercise.

Methods: Thirteen patients with chronic ankle instability participated in this study. Each subject performed the heel raise exercise in three postures: neutral weight-bearing posture, medial weight-bearing posture, and lateral weight-bearing posture. The participants performed 10 heel raises per posture. This routine was carried out for 3 days except on the first day for the measurement of % maximum voluntary isometric contraction (MVIC). The Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT) was used for the data analysis.

Results: The muscle activity assessed according to the weight-bearing posture was significant in the tibialis anterior, the peroneus longus, and the medial gastrocnemius, but not in the lateral gastrocnemius. In addition, there was a significant difference in the activity of all four muscles when compared in the lateral and neutral weight-bearing posture. However, in the comparison of neutral and medial weight-bearing posture, there was no significant difference in activity among the four muscles.

Conclusion: For patients with chronic ankle instability, the heel raise exercise in the lateral weight-bearing posture increases the risk of ankle injury by inducing inversion and is ineffective in improving muscle strength. Therefore, we suggest using the neutral and medial weight-bearing postures during the heel raise exercise for the highest improvement in effective muscle strength.

Keywords: Chronic ankle instability, Heel raise, Weight-bearing, Muscle activation

서론

만성 발목 불안정성(Chronic ankle instability)이란 발목에 반복된 손상으로 인해 인대 및 주변 조직의 약화가 일어나 만성적인 결함을 지닌 상태를 말한다. 만성 발목 불안정성은 발목 주위 근육의 약화 및 고유수용성 감각의 약화를 초래하여 일상생활활동 시 낙상의 위험 증가, 스포츠 상황에서의 경기력 저하 및 발목 손상의 위험 증가 등의 부정적 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.^{1,3} 이러한 만성 발목 불안정성의 주요 요인 중 하나인 발목 뺨은 급작스러운 발목의 발바닥 굽힘(plantar flexion) 및 안쪽번짐(inversion) 시 발생하며, 특히 발목관절 주변 근육들이 약화되었을 때 자주 발생한다.^{4,6} 하지만 대부분 이를 가벼운 손상으로 여겨 최초 손상을 입은 후 전문적인 치료나 재활

을 하지 않은 채 반복적인 발목 뺨을 경험하며 그 결과, 발목 뺨을 경험한 사람 중 70% 이상은 만성 발목 불안정성을 겪고 있다.⁷

선행 연구에 따르면 만성 발목 불안정성을 가진 환자는 건강한 대조군에 비해 가자미근, 장판지근, 모음근 등의 근육량이 현저히 작다고 보고하였으며, 발목관절의 가쪽번짐(eversion), 발등굽힘(dorsiflexion)과 같은 4방향 움직임에서 복합적인 근력이 더 낮게 보고되었다.² 이는 만성 발목 불안정성 환자가 경험하는 기능적 제한에 기여하며 재활에서 표적 근육 강화의 중요성을 강조한다. 만성 발목 불안정성 관련 연구에서 주로 제시된 표적 근육으로는 앞정강근, 뒤정강근, 안쪽 및 가쪽 장판지근, 긴종아리근 등이 있다.⁸⁻¹¹ 그중 앞정강근은 발목관절의 발등굽힘을 주로 담당하여 발목 앞쪽의 안정성을 제공하고 발목관절의 발바닥굽힘의 대항근으로 발목 뺨을 예방하며¹², 안

Received July 19, 2024 Revised August 16, 2024

Accepted August 19, 2024

Corresponding author Jung-Won Kwon

E-mail kjwonpt@hanmail.net

Copyright ©2024 The Korean Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<https://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.

족 및 가쪽 장딴지근은 걷기와 달리기 같은 활동 시 발목의 안정성을 제공하고 발뒤꿈치 들기(heel raise) 운동에서 작용근으로 작용한다.¹³ 또한, 긴종아리근은 발활을 지지하며 발목관절을 가쪽변짐(eversion) 시켜 발목의 가쪽 안정성을 유지하는데 핵심적인 역할을 한다.⁸ 따라서, 발목 안정성을 평가하기 위해서는 발목관절을 지지하고 움직임 조절하는 근육들을 평가하는 것이 중요하다.

만성 발목 불안정성을 가진 환자에게는 균형 훈련¹⁴, 감각 재활 치료¹⁵, 크로스핏 훈련¹⁶ 등 다양한 치료 방법이 있으며, 그중 발뒤꿈치 들기 운동은 발목의 안정성을 높이기 위한 방법으로 제안되고 있다.^{17,18} 선행 연구에 따르면 발뒤꿈치 들기 운동은 약한 발목 근육으로 인해 불안정성을 가지고 있는 환자에게 균형능력과 근력을 향상시켜 낙상 발생률을 감소시키고, 특히 가쪽 인대를 지지하는 역할인 긴종아리근을 강화하기에 효과적이라고 하였다.^{19,20} 또한, 발뒤꿈치 들기 운동을 통한 간헐적 파행증 환자의 보행 능력 향상이 보고되었고²¹, 건강한 성인에게 키네시오 테이핑을 결합한 발뒤꿈치 들기 운동을 수행한 결과 그룹 간 다리 근활성도 및 균형에 유의한 차이가 보고되었다.²² 이러한 결과는 발뒤꿈치 들기 운동이 만성 발목 불안정성의 기능적인 향상을 위한 중재로 사용될 수 있음을 의미한다.

발뒤꿈치 들기 운동 시 발이 향하는 방향은 발목 주위 근활성도에 영향을 주고, 이는 특정 근육의 선택적 근력 강화에 효과적이다.⁹⁻¹¹ Riemann 등¹⁰의 연구에서는 발뒤꿈치 들기 운동 시 발을 중립, 안쪽 돌림(internal rotation), 가쪽 돌림(external rotation)에 따른 안쪽 장딴지근과 가쪽 장딴지근의 근활성도의 차이를 보고하였고, Nunes 등¹¹의 연구에서도 발을 중립, 안쪽 돌림, 가쪽 돌림 자세로 9주간의 발뒤꿈치 들기 운동 후 발 위치에 따른 안쪽 장딴지근과 가쪽 장딴지근의 근육 비대 차이를 보고하였다. 또한 Akuzawa 등⁹의 연구에서는 발의 돌림에 따라 발뒤꿈치 들기 운동 시 뒤정강근, 긴종아리근, 긴발가락굽힘근, 안쪽 장딴지근의 근활성도 차이를 보고하였다. 이와 같이 이전의 연구에서는 발뒤꿈치 들기 운동 시 발의 돌림에서 변화를 주어 발의 위치에 따라 발목 안정성에 관여하는 근육에 미치는 영향에 대하여 보고하였다.⁹⁻¹¹ 하지만, 발의 돌림은 관절의 안정성이나 가동범위에 따라 일관되게 적용하기 어려울 수 있으며, 발바닥 전체에 가해지는 체중부하의 위치를 명확하게 규정하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 만성 발목 불안정성을 가진 성인을 대상으로 발에 가해지는 체중부하의 위치에 따른 발뒤꿈치 들기 운동을 수행할 때 앞정강근, 안쪽 및 가쪽 장딴지근, 긴종아리근의 근활성도 차이를 알아보고, 적절한 운동 방법을 제시하고자 하였다.

연구 방법

1. 연구대상

본 연구는 만성 발목 불안정성을 가진 성인 13명을 대상으로 실시하였다. 연구 대상자의 수는 G-power software (G*power 3.1.9.7, Heinrich-Heine-University, Germany)를 사용하여 산정하였으며 반복측정 분산분석에서 유의수준 0.05, 검정력 0.80, 효과크기 0.4를 기준으로 하였을 때 최소 12명의 표본 크기가 산출되었다. 만성 발목 불안정성의 선정 기준은 컴벌랜드 발목 불안정성 설문지(Cumberland ankle instability tool, CAIT)의 점수가 25점 이하로 하였으며, 대상자 중 최근 3개월간 발목관절의 수술 또는 치료를 받은 자, 다리나 발의 구조적 이상이 있는 자, 다리의 신경학적 손상이 있는 자, 양쪽 모두 만성 발목 불안정성을 가진 자, 각 조건에 따른 운동 동작을 수행하는데 어려움이 있는 자는 실험에서 제외하였다. 모든 대상자에게는 실험 전 연구의 취지와 절차에 대해 충분히 설명하였으며, 자발적 동의를 얻어 실험을 진행하였다. 본 연구는 단일 집단의 세 가지 조건에 따른 일요인 반복측정 설계로 체중부하 위치가 중립인 조건, 발의 안쪽 체중부하 조건, 발의 가쪽 체중부하 조건인 발뒤꿈치 들기 운동을 적용하였다.

2. 실험방법

1) 측정 및 실험 도구

(1) 컴벌랜드 발목 불안정성 설문지

컴벌랜드 발목 불안정성 설문지는 발목 불안정성 증상과 심각성, 발목의 재손상이나 발목 뺨 이후에 발목 불안정성 증상의 유무를 확인해보기 위한 설문 도구로 9개의 질문으로 구성되어 있다.²³ 총점은 30점 만점으로 28점 이상은 정상, 25점 이하는 발목 불안정성을 의미한다.²⁴

(2) 청각적 피드백을 이용한 체중부하 기기

본 연구에서 체중부하 위치에 따른 안쪽 또는 가쪽 발뒤꿈치 들기 운동을 수행하기 위하여 2개의 압력센서(Force Sensitive Resistor, FSR)를 이용한 체중부하 기기를 개발하여 적용하였으며, 대상자별 임곗값에 따라 체중부하가 임곗값을 초과하면 청각적 피드백을 제공하였다. 대상자별 임곗값은 대상자가 발의 안쪽 또는 가쪽으로 체중부하를 하지 않고 중립 위치에서 발뒤꿈치 들기 동작을 수행하였을 때 청각적 피드백이 제공되는 시점을 기준으로 설정하였으며, 개별적으로 측정하였다. 본 체중부하 기기에서는 개별적으로 측정된 임곗값을 기준으로 대상자가 발의 안쪽 또는 가쪽으로 체중부하를 가했을 때에 따라 체중부하의 안쪽위치, 가쪽위치를 구분하였고, 임곗값이 초과할 경우 청각적 피드백을 제공하였다. 체중부하 위치를 발의 안쪽에 적용하기 위하여 1개의 FSR 센서를 첫 번째 발허리뼈머리의 바닥

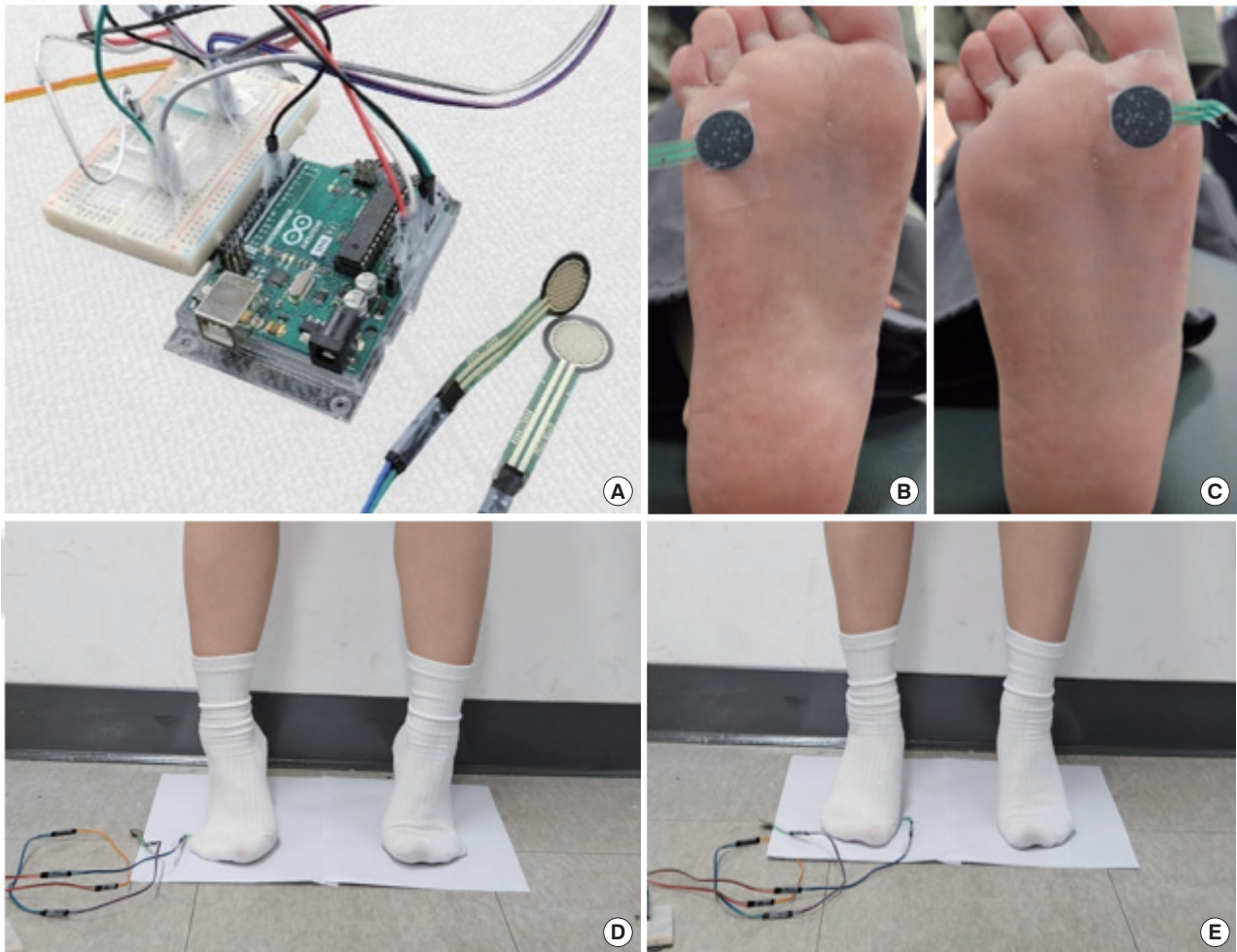


Figure 1. Weight-bearing device and placement of device. (A) Weight-bearing device (B) Placement of lateral (C) Placement of medial (D) Lateral weight-bearing posture (E) Medial weight-bearing posture.

쪽에 부착하였으며, 다른 1개의 FSR 센서는 다섯 번째 발허리뼈머리의 바닥쪽에 부착하여 체중부하 위치를 발의 가쪽으로 적용하였다 (Figure 1). 이를 통해 대상자가 발의 안쪽 또는 가쪽으로 체중부하 시 청각적 피드백을 제공하여 안쪽 또는 가쪽 발뒤꿈치 들기 운동을 정확하게 수행하도록 유도하였다.

(3) 표면 근전도

체중부하 위치에 따른 발뒤꿈치 들기 운동 수행 시 다리 근육의 근활성도는 근전도(Telemyo DTS, Noraxon inc, Arizona, USA) 기기를 사용하여 측정하였으며, 근전도 소프트웨어 프로그램 MyoResearch-XP 프로그램을 사용하여 자료처리 및 분석하였다. 근전도 신호의 표본 추출률(sampling rate)은 1,000Hz로 하였으며, 대역 통과 필터(band-pass filter)는 80-250Hz로 설정하였고, 수집된 신호는 정류(rectification)와 평활화(smoothing)로 처리하였다. 근전도 전극은 만성 발목 불안정성이 있는 다리쪽 근육에 부착하였으며, 전극을 부착하기 전

표면 근전도 신호에 대한 피부 저항을 줄이기 위해 피부의 털을 제거하였고 알코올 솜으로 피부 표면을 닦아내었다. 근활성도 측정 근육은 SENIAM 가이드라인에 따라 앞정강근은 정강뼈능선을 기준으로 가쪽으로 2cm 지점에, 긴종아리근은 종아리뼈머리 끝을 기준으로 먼쪽으로 3cm 지점에, 안쪽 장딴지근은 오금에서 종아리의 1/3 지점으로 안쪽 둘째가 최대인 지점, 가쪽 장딴지근은 오금에서 종아리의 1/3 지점으로 가쪽 둘째가 최대인 지점의 근육 힘살에 부착하였다 (Figure 2).²⁵

근활성도는 두 다리로 선 상태에서 각각의 조건(중립, 안쪽, 가쪽 체중부하)에 따라 발뒤꿈치 들기 운동을 10회 수행할 때 측정되었다. 1회 수행 시 5초간 동작을 유지하게 하였으며, 앞뒤 1초씩 제외하고 중간의 3초 값을 실효평균값(root mean square, RMS)으로 산출하여 각각의 근육에 대한 최대 수의적 등척성 수축(maximal voluntary isometric contraction, MVIC)에 대한 비율(%MVIC)로 표준화하여 평균 값을 사용하였다.²⁶ 앞정강근의 MVIC는 선 자세로 발목 각도가 90°

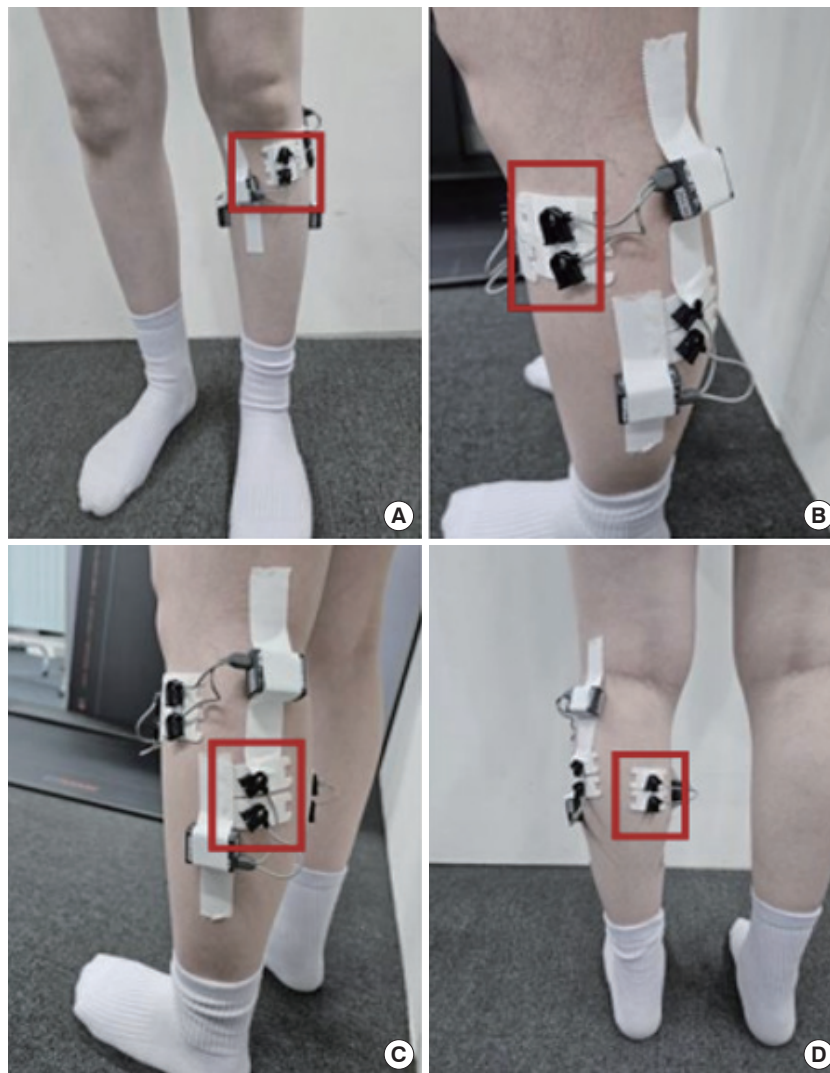


Figure 2. Placement of surface electrode. (A) Tibialis anterior (B) Peroneus longus (C) Gastrocnemius lateral head (D) Gastrocnemius medial head.

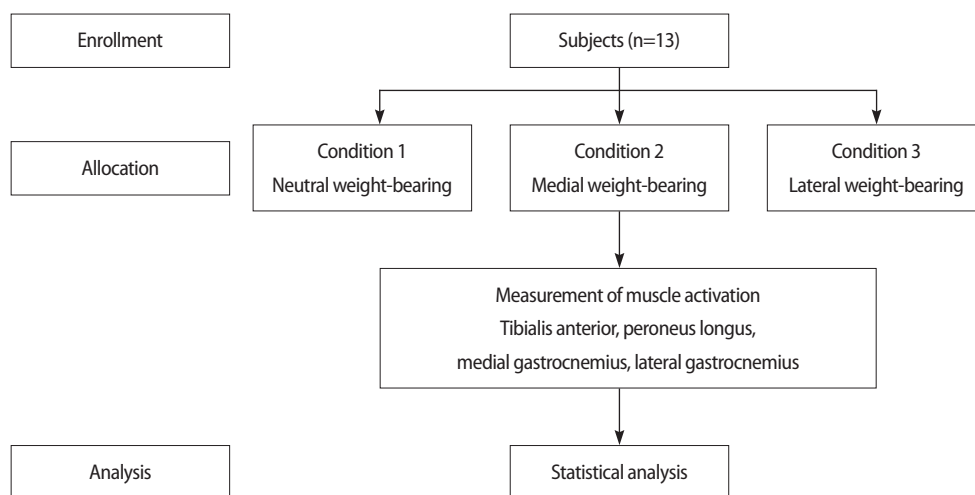


Figure 3. Flow chart for the study

를 유지한 자세에서 발등굽힘에 저항을 주며, 긴종아리근은 앉은 자세로 무릎을 90° 굽힌 자세에서 발목 가쪽변짐에 저항을 주며, 안쪽·가쪽 장딴지근은 앉은 자세로 발바닥을 바닥에 밀착시킨 후 발목 각도가 90°를 유지한 자세에서 발바닥 굽힘을 실시하여 측정하였다.²⁶

2) 실험 절차

모든 대상자는 다리 근활성도 측정 전 체중부하 위치에 따른 안쪽 또는 가쪽 발뒤꿈치 들기 운동에 대한 임곗값을 설정하기 위하여 중립 위치에서 발뒤꿈치 들기 동작을 3회 수행하였다. 그런 다음 각 근육에 대한 MVIC를 측정하였으며, 각각의 조건에 따른 발뒤꿈치 들기 운동은 대상자별 학습효과 및 근피로로 인한 영향을 방지하기 위하여 3일로 나누어 수행하였다. 모든 대상자는 먼저 체중부하 위치가 중립인 조건에서 발뒤꿈치 들기 운동을 수행하였으며, 서로 다른 날에 발의 안쪽 체중부하 조건, 발의 가쪽 체중부하 조건을 무작위로 반복 수행하였다. 따라서 실험은 총 4일간 진행되었고, 1일차에는 체중부하 기기의 임곗값 및 MVIC를 측정하였으며, 2-4일차에는 발뒤꿈치 들기 운동을 조건에 따라 10회씩 수행하는 동안 근활성도를 측정하였다(Figure 3).

발뒤꿈치 들기 운동은 어깨 넓이로 다리를 벌리고 최대로 들어 올릴 수 있는 높이까지 수행하였다. 수행 시 발뒤꿈치를 올리는 것을 5초간 유지하였고, 각 조건마다 연속적으로 10회 실시하였다. 대상자의 부상을 방지하기 위해 대상자의 가슴높이에 테이블을 두어 낙상 위험 시 지지할 수 있도록 하였고, 수행 속도는 개인마다 편안히 수행할 수 있는 속도로 진행하였다. 또한, 대상자의 발바닥 안쪽 또는 가쪽에 체중부하 기기를 부착, 체중이 부하되어 설정된 FSR의 임곗값을 초과하면 청각적 피드백이 제공되고, 청각적 피드백은 안쪽 또는 가쪽 발뒤꿈치 들기 운동 시 임곗값을 초과하는 동안 제공되어 충분한 체중부하를 실시할 수 있도록 안내하였으며, 청각적 피드백이 없는 경우 재실시하여 정확한 운동을 수행하도록 하였다.

3. 자료 분석

수집된 자료의 분석은 SPSS ver. 29.0 (IBM Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 사용하여 분석하였으며, 대상자들의 일반적 특성은 기술통

계를 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 수집된 데이터가 정규분포를 만족하는지 확인하기 위해 정규성 검정(Shapiro-Wilk test) 후 만성 발목 불안정성을 가진 단일 집단의 체중부하 위치에 따른 세 조건 간 차이를 검정하기 위해 일요인 반복측정 분산분석(One-way repeated ANOVA)을 실시하였다. 구체적인 조건별 비교는 Bonferroni 사후검정을 사용하였으며, 통계적 유의 수준(α)은 0.05로 설정하였다.

결 과

1. 대상자들의 일반적 특성

실험에 참여한 대상자의 일반적 특성은 Table 1과 같다. 대상자는 남자 8명, 여자 5명으로 총 13명이었다. 대상자들의 평균 연령은 23.2±1.5세, 키는 170.0±6.6cm, 몸무게는 67.6±12.8kg, CAIT 점수는 22.15±2.19점, 만성 발목 불안정성이 있는 발목은 왼쪽 3명, 오른쪽 10명이었다.

2. 발뒤꿈치 들기 운동 시 조건에 따른 근활성도 비교

체중부하 위치에 따른 발뒤꿈치 들기 운동 시 근활성도의 차이를 확인하기 위하여 반복측정 분산분석을 실시하였다. 그 결과 만성 발목 불안정성이 있는 다리의 근육 모두 중립 체중부하 위치, 안쪽 체중부하 위치, 가쪽 체중부하 위치 순으로 높은 근활성도를 보였지만 앞정강근, 긴종아리근, 안쪽 장딴지근의 근활성도에서만 유의한 차이가 나타났으며($p < 0.05$), 가쪽 장딴지근에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$)(Table 2).

구체적으로 어떠한 조건에서 차이가 있는지 살펴보기 위해 조건

Table 1. General characteristics of the subject (n = 13)

General characteristics	Subjects
Sex (male/female)	8/5
Age (years)	23.2±1.5
Height (cm)	170.0±6.6
Weight (kg)	67.5±12.8
CAIT (score)	22.15±2.19
CAI leg (left/right)	3/10

Number or Mean±SD. CAIT: Cumberland ankle instability tool, CAI: Cumberland ankle instability.

Table 2. Comparison of muscle activation of lower extremity according to three weight-bearing conditions (Unit: %MVIC)

Muscle	Neutral	Medial	Lateral	F	p	Post-Hoc (p)		
						a vs. b	a vs. c	b vs. c
Tibialis anterior	5.91±2.19	5.28±2.22	4.33±2.38	7.839	0.002*	0.205	0.003*	0.007*
Peroneus longus	32.60±10.91	31.65±10.49	23.42±11.50	4.019	0.031*	0.818	0.003*	0.059
Medial gastrocnemius	39.09±11.00	35.72±9.91	28.10±5.70	7.459	0.003*	0.235	0.008*	0.009*
Lateral gastrocnemius	30.24±11.86	26.61±13.85	23.45±10.61	2.790	0.081	-	-	-

Mean±SD. Neutral: neutral weight-bearing, Medial: medial weight-bearing, Lateral: lateral weight-bearing. * $p < 0.05$.

별 비교를 통한 Bonferroni 사후검정을 실시한 결과, 앞정강근과 안쪽 장딴지근은 체중부하 위치가 중립인 조건과 안쪽 체중부하 위치 조건이 가쪽 체중부하 위치 조건보다 유의하게 높은 근활성도를 보였지만($p < 0.05$), 중립 체중부하 위치와 안쪽 체중부하 위치 조건에서는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$)(Table 2). 또한, 긴종아리근은 체중부하 위치가 중립인 조건이 가쪽 체중부하 위치 조건보다 유의하게 높은 근활성도를 보였지만($p < 0.05$), 나머지 조건에서는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$)(Table 2).

고찰

본 연구에서는 한쪽 만성 발목 불안정성을 가진 성인을 대상으로 발뒤꿈치 들기 운동 시 체중부하 위치에 따른 병변측 다리의 앞정강근, 긴종아리근, 안쪽 및 가쪽 장딴지근의 근활성도를 비교하였다. 본 연구결과, 체중부하 위치가 중립인 위치에서 발뒤꿈치 들기 운동은 가쪽 체중부하 위치에서의 운동보다 높은 앞정강근, 긴종아리근, 안쪽 장딴지근의 근활성도를 보였으며, 안쪽 체중부하 위치에서 발뒤꿈치 들기 운동 시 앞정강근과 안쪽 장딴지근은 가쪽 체중부하 위치에서보다 높은 근활성도를 보였다. 가쪽 장딴지근의 경우 안쪽 및 가쪽 체중부하 위치에서보다 중립인 위치에서 높은 근활성도를 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 이러한 결과는 만성 발목 불안정성이 있는 상태에서 발뒤꿈치 들기 운동 시 체중부하의 위치는 중립일 때 가장 높은 근활성도를 유발시킬 수 있으며, 또한 체중부하의 위치가 가쪽일 때보다는 오히려 안쪽일 때 앞정강근과 안쪽 장딴지근의 높은 근활성도를 유발시킬 수 있다는 것을 의미한다.

해부학적으로 앞정강근은 정강뼈의 앞쪽으로 주행하며 목발종아리관절의 돌림축의 앞쪽과 안쪽을 통과하기 때문에 발목관절의 발등굽힘 및 안쪽돌림에 관여하며, 긴종아리근은 종아리의 가쪽으로 주행하여 가쪽복사의 뒤면을 돌아 첫째 췌기뼈 및 발허리뼈바닥에 부착하여 발목관절의 가쪽돌림과 발바닥굽힘에 관여하는 것으로 알려져 있다.²⁷ 또한, 안쪽 장딴지근과 가쪽 장딴지근은 각각 넙다리뼈 안쪽위관절융기와 넙다리뼈 가쪽위관절융기에서 시작해서 종아리의 뒤쪽으로 주행하여 발꿈치힘줄에 닿고 이후 더 내려가 발꿈치뼈융기에 닿아 발목관절의 발바닥굽힘에 관여하는 것으로 알려져 있다.²⁷ 따라서 이 근육들의 작용은 체중부하를 하는 동안 발뒤꿈치 들기 운동과 같은 단힌 사슬 운동 시 발목관절의 움직임 조절 및 안정성에 기여하며, 작용근과 대항근의 동시수축을 발생시켜 근력의 강화와 안정성 향상에 효과가 있다.²⁸ 또한, 이는 각 근육과 주변 근육을 같이 동원시킬 수 있는 중립 위치에서 높은 근활성도를 보임을 뒷받침한다.²⁸

연구 결과, 발뒤꿈치 들기 운동 시 체중부하 위치가 중립인 조건과

가쪽 조건을 비교하였을 때 앞정강근, 긴종아리근, 안쪽 장딴지근에서 유의한 차이를 보였지만, 안쪽 조건과 비교하였을 때는 유의한 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는, 체중부하 위치에 따른 발꿈치 들기 운동 시 발의 엽침(pronation)과 뒤침(supination)의 가동범위 차이에 의한 관절운동형상학적 영향에 의한 것으로 사료된다.^{29,30} 발뒤꿈치 들기 운동 시 안쪽 체중부하는 중립과 비교하여 발의 엽침 가동범위가 크지 않으며, 발뒤꿈치 들기 동작 시 지면에 닿는 부위의 내재근의 작용으로 인해 중립 조건과 유사한 운동형상학적 특성을 보여 발뒤꿈치 들기 동안 발과 안쪽 세로활에 구조적 안정성을 제공할 것으로 보인다.^{27,31} 또한 중립 및 안쪽 조건에서 체중을 지지하는 발의 표면적이 가쪽 조건에 비해 넓어 안정적으로 발뒤꿈치 들기 동작이 가능하다. 그에 반해 가쪽 체중부하에서는 발뒤꿈치 들기 동작 시 목발 밑관절의 시상면 기울기를 변화시켜 발의 뒤침을 유도한다.³² 이러한 자세는 발의 표면적을 감소시킬 뿐만 아니라 발목에 안굽이 스트레스(varus stress)를 가한다. 특히 목발밑관절의 시상면 기울기 경사가 급한 만성 발목 불안정성을 가진 환자의 경우 정상 집단보다 발목의 안굽이가 두드러지게 나타난다고 보고하였다.³² 만성 발목 불안정성 환자는 발목의 과도한 안굽이에 대한 불안감이 크며, 부상 이후 늘어난 발목 주위 근육의 길이 때문에 불충분한 길이-장력 관계에 의하여 근활성도가 낮아진 것으로 사료된다.^{33,34}

앞정강근과 안쪽 장딴지근에서 안쪽 조건과 가쪽 조건을 비교하였을 때 유의한 차이를 보였다. 앞정강근은 발뒤꿈치 들기 운동 시 대항근으로 작용하며, 안쪽 장딴지근은 발의 뒤침 자세에서 발뒤꿈치 들기 시 발바닥굽힘(plantarflexion)과 가쪽 돌림(lateral rotation)의 결합된 동작으로 인해 안쪽과 비교하였을 때 근활성도에서 유의한 차이를 보인 것으로 사료된다.^{9,35} 그에 반해 긴종아리근은 안쪽 조건과 가쪽 조건에서 유의한 차이를 보이지 않았다. Akuzawa 등⁹의 연구에서 발을 30° 가쪽 돌림하고 발뒤꿈치 들기 운동 시 근활성도가 증가한 결과와 일치하지 않는다. 이러한 이유는 선행연구의 대상자들은 모두 건강한 성인이었으며, 발바닥을 온전히 바닥에 붙여 발의 표면적을 넓히고 충분한 안정성을 제공해주었으나, 본 연구에서는 발목 뺨과 유사한 손상 기전을 유도하는 자세인 가쪽 조건으로 발뒤꿈치 들기 운동 시 대상자에게 충분한 안정성을 제공하지 못하여 최대 범위까지 발뒤꿈치 들기 운동을 시행하는데 어려움이 있었던 것으로 사료된다.³²

특히 긴종아리근의 약화는 발목 불안정성과 관련이 있으며, 가쪽 발목을 지지하는 중요한 근육 힘줄 조직임과 동시에 발목 가쪽의 동적 안정성에 기여하는 근육이다.³⁶ 또한 긴종아리근의 강화 및 사전활성화 증가는 보행 중 안쪽돌림을 감소시키는 것으로 나타났다.³⁷ 발의 위치를 30도 벌린 상태에서 한 발로 발뒤꿈치 들기 운동 시 발목관절은 뒤침되며 안쪽돌림과 모음이 나타나 긴종아리근을 자극하

고 기능 강화에 도움을 준다.⁹ 하지만 본 연구에서와 같이 발의 위치를 중립으로 한 상태에서 가쪽으로 체중부하된 발뒤꿈치 들기 운동은 발의 표면적이 낮은 채 발목관절의 뒤침을 유도하여 발목 뻘과 같은 부상의 위험성을 증가시키고, 만성 발목 불안정성 환자에게 중요한 요소 중 하나인 긴종아리근의 근력 강화에 어려움을 줄 수 있다. 따라서 만성 발목 불안정성의 동적 안정성을 향상시키기 위해 가쪽으로 체중부하를 가하는 것보다는 중립과 안쪽으로 체중부하를 유지시키며 발뒤꿈치 들기 운동을 하는 것이 전반적인 발목 주변 근력 강화에 효과적일 것이다.

연구의 제한점은 다음과 같다. 첫 번째, 표본의 크기가 작아 모든 만성 발목 불안정성 환자에게 일반화하기 어렵다. 두 번째, 본 연구의 체중부하 조건에 따른 발뒤꿈치 들기 운동은 장기간의 훈련이 아닌 단일 측정으로 인한 결과로 운동 중재의 효과를 설명하기 어렵다. 따라서 추후에는 더 큰 규모의 표본과 장기간의 중재 훈련을 진행하는 추가적인 연구가 필요하다.

REFERENCES

- Lin CC, Chen SJ, Lee WC et al. Effects of different ankle supports on the single-leg lateral drop landing following muscle fatigue in athletes with functional ankle instability. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(10):3438.
- Feger M, Snell S, Handsfield G et al. Diminished foot and ankle muscle volumes in young adults with chronic ankle instability. *Orthop J Sports Med*. 2016;4(6):2325967116653719.
- Shawen S, Dworak T, Anderson R. Return to play following ankle sprain and lateral ligament reconstruction. *Clin Sports Med*. 2016;35(4):697-709.
- Fong DTP, Hong Y, Chan LK et al. A systematic review on ankle injury and ankle sprain in sports. *Sport Med*. 2007;37(1):73-94.
- Hubbard TJ, Hertel J. Anterior positional fault of the fibula after sub-acute lateral ankle sprains. *Man Ther*. 2008;13(1):63-7.
- Van D, Staes FE, Stappaerts KH et al. Relationship of chronic ankle instability to muscle activation patterns during the transition from double-leg to single-leg stance. *AM J Sport Med*. 2007;35(2):274-81.
- Anandacoomarasamy A, Barnsley L. Long term outcomes of inversion ankle injuries. *Br J Sports Med*. 2005;39(3):e14.
- Kaminski TW, Hartsell HD. Factors contributing to chronic ankle instability: a strength perspective. *J Athl Train*. 2002;37(4):394-405.
- Akuzawa H, Imai A, Iizuka S et al. The influence of foot position on lower leg muscle activity during a heel raise exercise measured with fine-wire and surface EMG. *Phys Ther Sport*. 2017;28:23-8.
- Riemann BL, Limbaugh GK, Eitner JD et al. Medial and lateral gastrocnemius activation differences during heel-raise exercise with three different foot positions. *J Strength Cond Res*. 2011;25(3):634-9.
- Nunes JP, Costa Bruna DV, Kassiano W. Different foot positioning during calf training to induce portion-specific gastrocnemius muscle hypertrophy. *J Strength Cond Res*. 2020;34(8):2347-51.
- Ma YT. Biomedical acupuncture for sports and trauma rehabilitation. In: Ma YT, eds, CHAPTER 14 - General Principles of Treating Soft Tissue Dysfunction in Sports Injuries, Saint Louis, Churchill Livingstone, 2010:212-33.
- Francis C, Lenz A, Lenhart R et al. The modulation of forward propulsion, vertical support, and center of pressure by the plantarflexors during human walking. *Gait Posture*. 2013;38(4):993-7.
- Mettler A, Chinn L, Saliba SA et al. Balance training and center-of-pressure location in participants with chronic ankle instability. *J Athl Train*. 2015;50(4):343-9.
- McKeon PO, Wikstrom EA. Sensory-targeted ankle rehabilitation strategies for chronic ankle instability. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48(5):776-84.
- Cruz DD, Hita CF, Martínez AA et al. Ankle-joint self-mobilization and crossFit training in patients with chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *J Athl Train*. 2020;55(2):159-68.
- Ema R, Ohki S, Takayama H et al. Effect of calf-raise training on rapid force production and balance ability in elderly men. *J Appl Physiol*. 2017;123(2):424-33.
- Flanagan SP, Song JE, Wang MY et al. Biomechanics of the heel-raise exercise. *J Aging Phys Act*. 2005;13(2):160-71.
- Ugbolue UC, Yates EL, Ferguson K et al. Electromyographic assessment of the lower leg muscles during concentric and eccentric phases of standing heel raise. *Healthcare*. 2021;9(4):465.
- Kim JW, Kang SH, Kim SJ. A smart insole system capable of identifying proper heel raise posture for chronic ankle instability rehabilitation. *Sci Rep*. 2022;12(1):10796.
- Van SM, Wohlgend M, Rognmo Ø et al. Calf raise exercise increases walking performance in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg*. 2017;65(5):1473-82.
- Jang GH, In TS, Kim KH. Effects of heel raising exercise with kinesio taping on triceps surae muscle activity and balance in 20s adults. *Journal of Korean Academy of Physical Therapy Science*. 2022;29(4):17-26.
- Henderson EM. Evaluation of the Cumberland ankle instability tool as a predictor of ankle re-injury in collegiate athletes. University of Delaware. Dissertation of Master's Degree. 2015.
- Wright CJ, Arnold BL, Ross SE et al. Recalibration and validation of the Cumberland Ankle Instability Tool cutoff score for individuals with chronic ankle instability. *Arch Phys Med Rehabil*. 2014;95(10):1853-9.
- Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst KC et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol*. 2000;10(5):361-74.
- Meldrum D, Cahalane E, Conroy R et al. Maximum voluntary isometric contraction: reference values and clinical application. *Amyotroph Lateral Scler*. 2007;8(1):47-55.
- Neumann, Donald A. Kinesiology of the musculoskeletal system. 3rd ed. Saint Louis, Mosby, 2002:627-37.
- Miller JP, Croce RV. Analyses of isokinetic and closed chain movements for hamstring reciprocal coactivation. *J Sport Rehabil*. 2007;16(4):319-25.
- Stagni R, Leardini A, O'Connor JJ et al. Role of passive structures in the mobility and stability of the human subtalar joint: a literature review. *Foot Ankle Int*. 2003;24(5):402-9.
- Ball P, Johnson GR. Technique for the measurement of hindfoot inver-

- sion and eversion and its use to study a normal population. *Clin Biomech.* 1996;11(3):165-9.
31. Netter, Frank. *Atlas of Human Anatomy*. Philadelphia, Elsevier Saunders, 2014:511-24.
32. Kim CY, Ryu JH, Kang TK et al. The structural characteristics of the ankle joint complex and declination of the subtalar joint rotation axis between chronic ankle instability (CAI) patients and healthy control. *Korean Journal of Sport Biomechanics.* 2019;29(2):61-70.
33. Rockenfeller R, Günther M. How to model a muscle's active force-length relation: a comparative study. *Comput Methods Appl Mech Eng.* 2017;313:321-36.
34. Hainaut JP, Caillet G, Lestienne FG et al. The role of trait anxiety on static balance performance in control and anxiogenic situations. *Gait Posture.* 2011;33(4):604-8.
35. George VL, Hans JK, Gillian AH et al. Musculoskeletal examination and joint injection techniques. In: David JGS, eds, *CHAPTER 7 - THE ANKLE AND FOOT*, Saint Louis, Mosby, 2010:89-101.
36. Bellew JW, Frilot CF, Busch SC et al. Facilitating activation of the peroneus longus: electromyographic analysis of exercises consistent with biomechanical function. *J Strength Cond Res.* 2010;24(2):442-6.
37. Delahunt E, Monaghan K, Caulfield B. Altered neuromuscular control and ankle joint kinematics during walking in subjects with functional instability of the ankle joint. *Am J Sports Med.* 2006;34(12):1970-6.