

The Effect of Insole to Flexible Flat Foot on Dynamic Balance and Ankle Muscle Activity during the Y-Balance Test

Sue Min Lee¹, Sung Min Son², Yoon Tae Hwang³, Seol Park³

¹Physical Therapy Major, Department of Emergency Medical Rehabilitation, Kangwon National University, Samcheok, Republic of Korea;

²Department of Physical Therapy, College of Health Science, Cheongju University, Cheongju, Republic of Korea; ³Department of Physical Therapy, Gangneung Yeongdong University, Gangneung, Republic of Korea

Purpose: This study sought to identify the effects of an insole applied for the flexible flat-foot condition on dynamic balance and ankle muscle activities during the Y-balance test (YBT).

Methods: Thirteen flexible flat-footed adults and an equal number of normal-footed adults were enrolled. The dynamic balance of the subjects was measured using the YBT, which is a reach test. While they were reaching forward with their foot, the percentage maximum voluntary isometric contraction (MVIC) of the tibialis anterior, peroneus longus and medial and lateral gastrocnemius were measured and analyzed. The flat-footed group then applied the ready-made insoles and underwent the YBT again. A comparison of the distance and muscle activity was conducted using YBT, not only between the flat-footed and control group, but also between the flat-footed group before and after the application of the insole.

Results: Between the groups, the anterior reach distance in the flat-footed group was significantly lower, but there were no significant differences observed in the posteromedial and posterolateral directions. With the insole, the reach distance of the flat-footed group was significantly increased in the anterior and posterolateral direction compared to the control group. With the insole, the lateral gastrocnemius activity significantly decreased compared to trials without the insole in the flat-footed group, but there were no significant differences in the other muscles.

Conclusion: The insole for flat-footed subjects can maintain the medial arch of the foot, and it may help enhance functional and mechanical dynamic balance in people with flat feet.

Keywords: Flatfoot, Foot orthoses, Postural balance

서론

인간의 다양한 발의 형태 중 편평발(Flatfoot)은 발의 안쪽 아치(Medial longitudinal arch)의 높이가 낮아져 발바닥 부위가 납작하게 된 변형으로써 성인의 약 25% 정도 분포하고 있는 것으로 보고되고 있다.^{1,2} 편평발은 체중부하의 영향이나 자세적 불안정성, 발의 운동역학적 변화 등과 같은 정적, 동적 변형이 다발적으로 결합된 증후군으로, 임상적 검사 또는 영상의학적 검사로 확인할 수 있으나^{3,4} 그 원인이 다양하여 분석과 치료에 어려움이 따른다.⁵ 아치가 소실된 발은 뚜렷한 증상이 없다면 치료의 대상이 되지 않지만 보행 시 탄력이 부족하여 쉽게 피로를 유발하며, 과체중인 경우 발에 직접적인 통증까지 유발하기 때문에⁶ 기능을 회복시키는 것이 중요하다.

역학적 문제를 야기하는 많은 근육뼈대계 질환과 마찬가지로 편평발 또한 수술적 치료에 앞서 보존적 치료를 적용하는데, 여기에는 휴식, 물리치료, 약물치료, 근육강화운동, 보조기 처방 등이 있다.⁷ 그 중 인솔(Insole)은 안쪽 아치를 받쳐주고 발목관절의 가쪽변짐을 제한하여 근육의 부하를 줄여줄 목적으로 신발 안에 삽입하며, 초기 증상이 있는 경우 선 자세나 보행 등 생활 패턴의 교정을 목적으로 적용된다.⁸ 이때 인솔은 발의 변형된 형태가 강직성인지 유연성인지에 따라 적절하게 선택되어야 하며 착용 시 불편함이 느껴지지 않도록 하는 것이 바람직하다.

편평발은 아치의 역학적 변화로 인해 발의 아치를 유지하는 발목 관절 근육의 역할이 중요하다. 특히, 서 있는 자세에서는 뼈와 인대 등 정적 안정구조물만으로도 아치를 유지시켜줄 수 있지만 보행 시에는

Received Sep 23, 2022 Revised Oct 19, 2022

Accepted Oct 24, 2022

Corresponding author Seol Park

E-mail parksul85@hanmail.net

Copyright ©2022 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.

동적 안정구조물들의 역할이 더 중요해진다.⁹⁻¹¹ 정상 보행에서 디딤기 초기(initial contact) 시 목말밑관절에서 가쪽변짐의 힘이 발생하고 몸을 앞으로 추진할 때 단단한 지렛대의 역할을 하는 반면, 편평발의 경우에는 과도한 옆침이 일어나며 이를 저항하는 근육들 중 뒤꿈치가 바닥에 닿을 때 작용하는 앞정강근, 발 전체가 지면에 닿을 때 작용하는 뒤정강근, 체중이 전방을 향할 때 작용하는 가자미근의 기능이 중요하다.¹² 이러한 편평발의 역학적 변화로 인해 발생하는 근육의 근활성도 변화와, 편평발의 증재로 인한 근활성도 변화에 대한 연구가 필요하다.

편평발의 균형 평가에 있어서 서 있는 자세의 정적 균형 평가도 중요하지만, 동적 균형은 일상생활에서의 움직임과 관련되어 검사로서의 의미는 매우 중요하다. 동적 균형평가의 여러 방법 중 Y자형 균형능력 평가(Y-balance test, YBT)는 최소한의 장비로 측정할 수 있는 대표적인 방법으로 양측 하지의 검사 수행능력의 비대칭 정도를 파악하여 부상의 위험 정도를 예측할 수 있으며 평가자 내 및 평가자 간 신뢰도가 높은 검사로 알려져 있다.¹³ 기존의 별표식 운동 균형 측정(Star Excursion Balance Test, SEBT) 방식에서 방향의 중복성을 제외하고 시간적 효율을 높이기 위해 앞쪽 뺨기, 뒤안쪽 뺨기, 뒤가쪽 뺨기의 거리를 측정한다.¹⁴ 이때 중심에 서 있는 한 다리는 균형을 잡기 위해 충분한 발목관절의 관절가동범위, 근력이 필요하며 측정을 통하여 하지의 부상 위험 정도를 확인할 수 있다.^{15,16} 임상에서 손상 위험성을 예측하고 증재가 적절한지를 빠르고 적절하게 수행하는 것은 손상 유발률과 시간 낭비를 줄일 수 있으며 건강 유지에 소요되는 비용도 줄어들게 되며¹⁷ 그런 면에서 YBT는 가장 적절한 검사방법이라 할 수 있다.

발이나 발목과 관련된 선행연구 중 SEBT나 YBT는 주로 만성 발목 불안정성 환자의 동적 균형능력 측정을 위해 사용되거나 SEBT 동작을 통해 근활성도와 생체역학을 연구하는 데에 사용되었다.¹⁸⁻²⁰ 편평발의 경우 발목의 불안정성으로 인해 YBT의 결과에 영향을 미치며 인솔 적용으로 긍정적인 효과를 가질 수 있을 것이라는 예측이 가능하나 이를 증명한 연구는 없었다. 편평발에 대한 인솔의 효과를 검증한 연구 대부분은 보행 시 근활성도 및 생체역학의 변화를 보았으며,²¹⁻²⁴ 선 자세에서의 정적 균형이나²⁵ 한 계단 내려갈 때의 생체역학을²⁶ 증명하기도 하였다. YBT는 보행에 비해 상대적으로 큰 관절가동범위를 요구하고 더 많은 균형능력을 요구하므로 하지 손상을 예측하고 부상의 위험을 예방하기 위한 기초 자료로써 편평발의 검사결과와 인솔의 효과, YBT 동작 수행 시 근활성도에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 YBT를 통해 편평발 대상자와 정상발 대상자의 동적균형 능력과 발목 근육의 근활성도를 비교해보고, 편평발 대상자의 인솔 착용 여부에 따른 동적균형 능력과 발목 근육의 근활성도 변화를 알아보고자 하였다.

Table 1. General characteristics of subjects (n = 26)

	Flat foot group	Control group	p
Gender	M = 10, F = 3	M = 7, F = 6	
Age (yr)	22.6 ± 1.3	21.9 ± 1.3	0.18
Height (cm)	168.6 ± 7.5	168.1 ± 6.1	0.86
Weight (kg)	68.0 ± 11.2	64.1 ± 11.7	0.39
Shoe size (cm)	260.4 ± 13.6	251.9 ± 14.4	0.14
BMI	23.9 ± 3.0	22.6 ± 3.6	0.36

Mean ± SD.

연구 방법

1. 연구 대상자

본 연구는 K대학의 재학생을 대상으로 모집하여 정상발 13명, 편평발 13명을 선별하였고, 모든 연구 참가자들에게 본 연구에 대한 목적과 절차를 설명하여 동의를 얻은 후 진행하였다. 편평발의 선정 기준은 1차 검사로 발배뼈 하강 검사(Navicular drop test)를 통해 발배뼈가 10 mm 이상 내려가는 유연성 편평발 대상자들에게 2차 검사로 발바닥 압력 측정기(GAITVIEW PRO 1.0, Alfoots, Korea)를 사용하여 소프트웨어에서 편평발로 분류되는 대상자를 확정하였다(Table 1).

2. 측정 도구 및 재료

1) 표면 근전도

편평발군의 인솔 착용 전후와 정상군의 발목관절 근활성도를 알아보기 위해 표면 근전도(WEMG-8, LAXTHA, Korea)를 사용하였다. 앞정강근, 긴종아리근, 장딴지근 안쪽과 가쪽의 근육침살 부위를 알코올 솜으로 닦아내고 근섬유의 주행 방향에 따라 평행하게 표면전극을 부착하였다. 표면 근전도 신호의 표본 추출률(sampling rate)은 10 bit (1,024 Hz)로 하였으며 대역 제거 필터 주파수는 60 Hz로 사용하였다. 수집된 근전도 신호는 TeleScan 소프트웨어를 사용하여 분석하였으며 완파정류(full wave rectification)하여 Root Mean Square (RMS)로 처리하였고, Maximum Voluntary Isometric Contraction (MVIC) 측정값을 입력 후 simple parameter calculation의 평균값을 분석하였다.

2) 기성품 인솔

편평발군의 인솔은 시중에 판매되고 있는 3 FEET LOW ARCH (SIDAS, France) 모델을 사용하였다. 이 모델은 편평발의 아치를 견고하게 받쳐주기 위해 특별히 제작된 디자인으로 발의 안정성을 위해 고안되었으며, 3종류의 형태로 구분하여 낮은(low), 중간(mid), 높은(high) 아치에 맞게 적절하게 선택할 수 있는 장점이 있어 본 실험에 사용하였다. 대상자들은 기본적인 아치는 형성되어 있고 체중부하가 가해질 때 아치가 낮아지는 유연성 평발로써 중간 타입의 인솔로 적용하였다.

Table 2. Comparison of Y-balance score in both groups (Unit: cm)

	Flatfoot (n=13)	Control (n=13)	t	p
Anterior	61.49±8.36	72.58±10.26	3.023	0.01*
Posteromedial	98.04±8.44	105.32±13.21	1.674	0.11
Posterolateral	97.25±12.01	106.99±12.47	2.029	0.05

Mean±SD, *p<0.05.

Table 3. Comparison of muscle activation during Y-balance test in both groups (unit: %)

	Flatfoot (n=13)	Control (n=13)	t	p
A				
Ta	26.43±10.10	21.05±9.85	-1.377	0.18
Pl	37.29±16.15	32.83±12.37	-0.791	0.44
Mgcm	16.68±9.25	17.60±6.58	0.294	0.77
Lgcm	31.22±13.92	32.25±18.65	0.161	0.87
PM				
Ta	30.38±16.23	25.97±7.78	-0.882	0.39
Pl	37.08±12.42	32.27±11.73	-1.015	0.32
Mgcm	13.97±8.27	12.85±4.46	-0.431	0.67
Lgcm	24.26±17.13	23.48±9.40	-0.144	0.89
PL				
Ta	29.49±11.91	28.58±8.32	-0.226	0.82
Pl	35.74±18.13	32.33±12.62	-0.556	0.58
Mgcm	14.76±7.98	16.22±8.58	0.449	0.66
Lgcm	18.64±10.21	18.19±7.08	-0.131	0.90

Mean±SD. A: Anterior reach, PM: Posteromedial reach, PL: Posterolateral reach, Ta: Tibialis anterior, Pl: Peroneus longus, Mgcm: Medial Gastrocnemius, Lgcm: Lateral Gastrocnemius.

3. 실험 절차

발바닥 압력 측정까지 완료한 대상자들은 편평발군과 대조군으로 분류하였다. 먼저 발목관절의 근활성도 측정에 앞서 활동전위를 표준화하기 위하여 4개의 근육에 표면 전극을 연결한 뒤 최대 등척성 근수축(MVIC)을 각 근육당 5초간 세번 측정하여 평균값을 수집하였다. 최대 등척성 근수축을 측정하는 자세로 앞장강근은 앉은 상태에서 발등 굽힘을 할 때 대상자의 발 등쪽과 안쪽에 저항을 주었고, 긴종아리근은 발 바닥쪽과 가쪽에 저항을 주었으며 장딴지근은 대상자가 선 상태에서 발뒤꿈치를 들 때 어깨를 바닥쪽으로 저항을 가해 측정을 하였다.

측정이 끝나고 충분한 휴식 뒤 YBT를 진행하였다. 대상자들이 선 자세에서 공을 찬 발을 우세발로 결정하였고, 자신의 우세발을 중앙에 위치한 뒤 앞쪽 뻗기(anterior reach), 뒤안쪽 뻗기(posteromedial reach), 뒤가쪽 뻗기(posterolateral reach) 순서로 실행하였으며, 움직임은 나무상자를 최대한 멀리 밀어낸 거리를 측정하였다. 대상자들은 개인 신발을 신고 측정하였으며 편평발군은 인솔없이 측정 후 개인 별로 재측정 할 수 있는 충분한 휴식 뒤 인솔을 착용하고 측정하였다. 각 세 방향에 대해 동작을 시작하는 동시에 측정을 기록하여 5초

Table 4. Comparison of Y-balance score with and without insole in flatfoot groups (Unit: cm)

	Without insole (n=13)	With insole (n=13)	t	p
Anterior	61.49±8.36	66.44±6.72	-3.286	0.01*
Posteromedial	98.04±8.44	100.72±9.11	-1.440	0.18
Posterolateral	97.25±12.01	100.51±12.14	-2.767	0.02*

Mean±SD, *p<0.05.

를 유지하는 동안 발목관절 근육의 근활성도를 측정하였으며, 학습 효과를 최소화하기 위해 검사자가 시범을 보이고 충분히 연습을 한 뒤 측정하였다.^{27,28}

4. 분석 방법

본 연구에서 수집된 측정 자료들은 SPSS Statistics version 21.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 사용하여 분석하였고 모든 자료는 평균과 표준편차로 제시하였으며, 측정 자료에 대해 Kolmogorov-Smirnov 방법으로 정규성 검정을 실시한 결과 모든 변수들이 정규성분포를 따랐다. 편평발군과 대조군의 평균을 비교하기 위해 독립표본 t검정(Independent t-test)을 실시하였으며, 편평발군 내에서 인솔 착용 전후를 비교하기 위해 대응표본 t검정(Paired t-test)을 실시하였고 통계학적 유의 수준은 p<0.05로 하였다.

결 과

1. 편평발군과 대조군의 YBT와 근활성도 비교

두 군 간의 YBT는 앞쪽 뻗기 거리에서 편평발군이 유의하게 낮은 차이를 보였으며(p<0.05), 뒤안쪽 뻗기와 뒤가쪽 뻗기의 거리는 유의한 차이가 없었다(Table 2). YBT와 동시에 측정한 근활성도의 비교에서는 두 군 간의 유의한 차이는 없었다(Table 3).

2. 편평발군의 인솔 착용 여부에 따른 YBT와 근활성도 비교

편평발군에서 인솔을 착용한 상태의 YBT는 앞쪽 뻗기 거리와 뒤가쪽 뻗기 거리가 인솔을 착용하지 않은 상태보다 유의하게 높은 차이를 보였으며(p<0.05) 뒤안쪽 뻗기 거리는 유의한 차이가 없었다(Table 4). YBT와 동시에 측정한 근활성도의 비교에서는 인솔을 착용하였을 때 뒤안쪽 뻗기 측정에서 가쪽 장딴지근의 근활성도가 유의하게 낮게 나타났다(Table 5).

고 찰

편평발은 발의 비정상적 변화로 인해 다양한 운동학적 변화가 일어나 자세적 불안정성을 초래하며 이는 하지 부상의 높은 유병률과 관

Table 5. Comparison of muscle activation during Y-balance test with and without insole in flatfoot groups (unit: %)

	Without insole (n=13)	With insole (n=13)	t	p
A				
Ta	26.43±10.10	23.94±11.17	1.559	0.14
Pl	37.29±16.15	35.85±16.03	0.558	0.59
Mgcm	16.68±9.25	16.37±9.35	0.328	0.75
Lgcm	32.22±13.92	32.09±15.61	-0.448	0.66
PM				
Ta	30.38±16.23	26.68±9.07	0.859	0.41
Pl	37.08±12.42	32.31±11.99	1.831	0.09
Mgcm	13.97±8.27	11.43±4.82	1.779	0.10
Lgcm	24.26±17.13	19.23±10.24	2.227	0.05*
PL				
Ta	29.49±11.91	28.27±10.98	0.523	0.61
Pl	35.74±18.13	34.19±12.36	0.415	0.69
Mgcm	14.76±7.98	12.96±7.17	1.643	0.13
Lgcm	18.64±10.21	17.10±6.61	0.850	0.41

Mean ± SD. A: Anterior reach, PM: Posteromedial reach, PL: Posterolateral reach, Ta: Tibialis anterior, Pl: Peroneus longus, Mgcm: Medial Gastrocnemius, Lgcm: Lateral Gastrocnemius. *p<0.05.

면이 있다.²⁹ 정적으로 서있는 자세의 발바닥 압력 분포 변화에 대한 문제³⁰뿐만 아니라 동적으로 움직일 때 정상발보다 더 큰 뒷발의 가쪽변짐, 앞발의 벌림, 정강뼈의 안쪽돌림 등의 역학적 변화를 야기하기 때문에³¹ 동적 균형 능력을 평가하는 것 또한 중요하다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 YBT를 통해 편평발 대상자와 정상발 대상자의 동적균형 능력과 발목 근육의 근활성도를 비교해보고, 편평발 대상자의 인솔 착용 여부에 따른 동적균형 능력과 발목 근육의 근활성도 변화를 알아보고자 하였다.

편평발군과 대조군의 YBT 거리측정 결과 세 방향에서 모두 편평발군이 대조군보다 거리가 짧았으나 인솔 착용 후 거리가 증가하는 경향을 보였다. 통계학적으로는 앞쪽 방향에서 편평발군의 거리가 대조군보다 유의하게 짧았으며 편평발군의 인솔 착용 후 유의하게 늘어났다. 뒤가쪽 방향의 거리 차이는 인솔 착용 전후에 유의한 차이가 있었으며, 편평발군과 대조군 사이에는 유의하지는 않았으나 큰 차이는 있었다. Koshino 등³²에 따르면 편평발의 경우 양발 지지에서 한발 지지로 전환할 때 정상발과 오목발(high foot)에 비해 앞뒤 및 안가쪽 방향의 압력중심 이동거리, 그리고 결과 압력중심(resultant center of pressure) 이동거리가 유의하게 크며 자세 안정성은 감소한 것으로 나타났다. Kulig 등³³은 뒤정강근 힘줄 기능부전이 있는 대상자와 정상인을 대상으로 한 발로 서서 균형 검사를 실시한 결과 실험군이 앞뒤 방향에서 압력중심 이동거리가 유의하게 증가했으며 안가쪽 방향으로는 강하게 증가한 경향을 보인다고 하였다. 뒤정강근 힘줄의 기능부전은 편평발과 관련 있으며, 따라서 편평발의 경우 뒤정강근의 과부하를 낮추기 위해 인솔 등의 중재를 시행한다.^{21,23} 이러한 선행

연구들은 편평족으로 인해 앞뒤, 안가쪽 방향의 균형능력이 감소되어 있음을 의미하며 본 연구의 결과를 뒷받침해 준다.

반면 뒤안쪽 방향에서는 편평발의 여부, 인솔 착용 여부에 따른 유의한 차이가 없었다. 뒤안쪽 방향으로 발 뺀기 시 정상발의 경우에도 안쪽 아치가 낮아지게 되므로 편평발과 정상발의 거리 차이가 유의하지 않은 것으로 생각된다. 각 그룹 사이에 유의한 차이는 없었으나 편평발군, 인솔 착용 후, 정상군의 순서로 평균 이동거리가 증가한 경향을 보였으므로 편평발에 대한 인솔 착용이 뒤안쪽 방향으로도 긍정적인 효과를 가지는 것으로 보인다.

YBT와 동시에 측정한 다리의 근활성도를 살펴본 결과 인솔 착용으로 인해 편평발군의 근활성도가 정상군과 가깝게 감소하긴 했으나, 인솔 착용 전후 뒤안쪽 뺀기 동작 시 가쪽 장딴지근의 활성도에만 유의한 차이가 있었을 뿐 그 외 모든 조건에서 유의한 차이가 없었다. 보행 시 편평발에 대한 인솔의 효과는 주로 뒤정강근의 근활성도를 감소시킴으로써 뒤정강근의 과사용과 기능부전을 줄이는 것이다. 편평발의 인솔 효과에 관한 선행연구는 대부분 보행 시 뒤정강근, 앞정강근, 긴종아리근의 근활성도에 초점이 맞춰져 있으며,^{22,24} 한 연구에서 한 계단 내려가는 동안 인솔의 효과를 분석하였으나 이마저도 정상발을 대상으로 하였다.²⁶ 보행과 같이 하지 관절의 각도가 크게 요구되지 않는 동작의 경우와 달리, 한 다리로 지지한 채 쪼그려 앉는 동작(single-limb squat)을 수행하면서 세 방향에서 최대로 뺀을 수 있는 만큼 발을 뺀도록 하는 YBT의 경우 하지의 몸쪽 관절과 몸통 관절, 특히 엉덩관절에 요구되는 관절의 각도가 훨씬 클 뿐만 아니라 균형을 유지하는 데에 더 큰 노력이 필요하다.³⁴ 지지면이 크게 동요할 경우 발목 전락보다 엉덩관절 전락을 쓰는 것과 같다. 따라서 보행 시 근활성도의 변화는 본 연구의 결과와 다른뿐더러 이를 비교하는 것은 적절하지 않다. Bonifacio 등²⁶의 연구에서 측정한 한 계단 내려가는 동작은 YBT 동작의 한 다리로 쪼그려 앉기와 비슷한 동작이긴 하나 정상발에 인솔을 적용하였으므로 이 또한 연구 결과를 단순히 비교하기는 어렵다. 하지만 인솔 착용 시 발목과 엉덩관절의 운동형상이 증가하였고 무릎에서의 모멘트가 감소했다는 연구 결과는 YBT 동작 수행 시 인솔이 무릎관절과 엉덩관절에 영향을 미친다는 것을 의미한다. 정상 여성 성인의 YBT와 하지 근력의 상관관계를 연구한 Lee 등³⁵의 연구에 따르면 앞쪽 방향의 경우 엉덩관절 펴근과 무릎관절 굽힘근, 뒤안쪽 방향의 경우 엉덩관절 펴근과 벌림근, 무릎관절 굽힘근, 뒤가쪽 방향의 경우 엉덩관절 펴근과 무릎관절 굽힘근의 근력과 강한 양의 상관관계가 있었으나, 발목관절의 발등굽힘근은 모든 방향에서 강한 양의 상관관계를 보이지 않았다. 앞서 언급한 Bonifacio 등²⁶과 Lee 등³⁵의 연구 결과에 비추어 볼 때 YBT 동작에서는 발이나 발목관절보다는 상대적으로 엉덩관절과 무릎관절에서의 근력과 자세조절 능력이 더 중요한 것으로 보이므로, 본 연구에서 측

정한 발과 발목관절 움직임을 조절하는 네 근육들의 활성도는 편평 발의 여부나 인솔 착용 여부에 따른 차이가 없었던 것으로 생각된다.

다만 뒤안쪽 방향으로 발 뺄기 시 인솔 착용으로 가쪽 장딴지근의 근활성도가 유의하게 감소한 결과는 인솔이 가쪽변짐을 제한함으로써 발바닥굽힘과 가쪽변짐에 관여하는 가쪽 장딴지근의 역할을 크게 줄였기 때문으로 생각된다. 이는 동작을 실행할 때 발목의 각도는 발등굽힘이 요구되며 인솔의 적용은 그것을 조절하기 위한 발바닥 굽힘을 하는 장딴지 근육무리(calf muscle group)의 활성을 긴종아리근보다 더 감소시킨 것으로 사료된다. Lee 등³⁵은 발 관절의 안쪽·가쪽변짐근을 측정하지 않아 직접 비교하기 어렵지만, 뒤안쪽 발 뺄기 시 골반을 안정화시키기 위해 엉덩관절 펴근과 별림근의 근력이 강하게 요구되었다고 보고한 결과에 비추어 볼 때 뒤안쪽 방향 뺄기 시 가쪽변짐에 관여하는 긴종아리근과 가쪽 장딴지근의 역할이 클 것으로 예상된다. 본 연구 결과에서도 긴종아리근의 근활성도가 가장 컸으며 앞정강근, 가쪽 장딴지근, 안쪽 장딴지근의 순서인 것으로 나타나 이러한 결과를 뒷받침해 준다. 하지만 편평발군과 정상군의 차이는 없으나 인솔 착용 전후에 차이가 있는 이유는 뒤안쪽 발 뺄기 동작 시 인솔에 의해 아치가 지지되며 발의 가쪽변짐이 일어나지 않게 되므로 다른 근육에 비해 가쪽변짐근, 특히 발바닥굽힘근인 가쪽 장딴지근의 근활성도가 크게 감소한 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 인솔 기성품 중 한 가지만을 사용하였다는 점이다. 시중에는 편평발에 문제를 가진 대상자들을 위한 기성 제품들이 많이 판매되고 있으며 그 종류가 다양하여 비전문가가 선택하기에 어려움이 있다. 본 연구에서는 시중에서 판매되는 제품 중 한 가지만을 사용하였지만, 특정 제품을 선호한다기보다는 어떤 제품이라도 아치를 유지해 줄 수 있는 인솔을 사용한다면 발의 기능적, 역학적 측면에서 도움이 될 것으로 생각한다. 또 다른 제한점은 발목 근육의 근활성도만 연구했다는 점이다. 본 연구 결과를 비추어 볼 때 YBT 나 인솔은 엉덩관절이나 무릎관절 근육에 더 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다. 추후 연구에서는 인솔의 소재나 착용 목적 등 종류에 따른 효과를 알아볼 필요가 있으며, 특히 엉덩관절과 무릎관절 근육의 근활성도에 미치는 효과를 분석할 필요가 있다.

본 연구는 YBT를 통해 편평발 대상자의 동적 균형능력과 인솔 착용 여부에 따른 발목 근육의 근활성도를 대조군과 비교해 봄으로써 인솔의 효과를 알아보고자 하였다. 그 결과 편평발의 경우 대조군에 비해 YBT 중 앞쪽, 뒤가쪽 방향에서 거리가 감소하였으나 인솔 착용 후 유의하게 증가하였다. YBT 뒤안쪽 방향으로 발을 뺄 때 가쪽 장딴지근의 근활성도만이 인솔 착용으로 인해 유의하게 감소하여 발목관절 근육에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 따라서 편평발을 가진 경우 균형을 크게 위협하는 동작 시 동적 균형의 향상을 위하여 인솔 착용이 권장될 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

1. Pita-Fernandez S, Gonzalez-Martin C, Alonso-Tajes F et al. Flat foot in a random population and its impact on quality of life and functionality. *JCDR*. 2017;11(4):LC22.
2. Dare N, Onyije F, Osoma S. Pes planus (flatfoot) in male and female adults of bayelsa-nigeria. *Electron J Biomed*. 2012;3:17-21.
3. Rose G, Welton E, Marshall T. The diagnosis of flat foot in the child. *J Bone Surg*. 1985;67(1):71-8.
4. Harris EJ, Vanore JV, Thomas JL et al. Diagnosis and treatment of pediatric flatfoot. *The Journal of foot and ankle surgery*. 2004;43(6):341-73.
5. Toullec E. Adult flatfoot. *OTSR*. 2015;101(1):S11-7.
6. Bouchard M, Mosca VS. Flatfoot deformity in children and adolescents: Surgical indications and management. *JAAOS*. 2014;22(10):623-32.
7. Lee DO, Jung HG. Treatment of Flatfoot Deformity. *J Korean Foot Ankle Soc*. 2016;20(1):6-11.
8. Marzano R. Nonoperative management of adult flatfoot deformities. *Clin Podiatr Med Surg*. 2014;31(3):337-47.
9. Basmajian JV, Stecko G. The role of muscles in arch support of the foot: an electromyographic study. *JBJS*. 1963;45(6):1184-90.
10. Jennings MM, Christensen JC. The effects of sectioning the spring ligament on rearfoot stability and posterior tibial tendon efficiency. *J Foot Ankle Surg*. 2008;47(3):219-24.
11. Root ML. Normal and abnormal function of the foot. *Clin Biomech*. 1977;2.
12. Bae SY. Textbook of the foot and ankle. 2nd. *J Korean Foot Ankle Soc. Panmuneducation*. 2019:264-5.
13. Shaffer SW, Teyhen DS, Lorenson CL et al. Y-balance test: a reliability study involving multiple raters. *Mil Med*. 2013;178(11):1264-70.
14. Gribble PA, Kelly SE, Refshauge KM et al. Interrater reliability of the star excursion balance test. *J Athl Train*. 2013;48(5):621-6.
15. Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW et al. Star excursion balance test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2006;36(12):911-9.
16. Son SM, Kang KW. Effect of action observation training using y-balance on balance capability in young adults. *J Kor Phys Ther*. 2020;32(2):65-9.
17. Bird SP, Markwick WJ. Musculoskeletal screening and functional testing: considerations for basketball athletes. *Int J Sports Med*. 2016;11(5):784.
18. Fatima S, Bhati P, Singla D et al. Electromyographic activity of hip musculature during functional exercises in participants with and without chronic ankle instability. *J Chiropr Med*. 2020;19(1):82-90.
19. Jaber H, Lohman E, Daher N et al. Neuromuscular control of ankle and hip during performance of the star excursion balance test in subjects with and without chronic ankle instability. *PLoS One*. 2018;13(8): e0201479.
20. Yi SY, Kim YJ, Lee DY et al. Effects of open kinetic chain exercise for the gastrocnemius and tibialis anterior muscles on balance. *J Kor Phys Ther*. 2021;33(6):278-85.
21. Reeves J, Jones R, Liu A et al. The immediate effects of foot orthosis geometry on lower limb muscle activity and foot biomechanics. *J Biomech*. 2021;128:110716.
22. Murley GS, Landorf KB, Menz HB. Do foot orthoses change lower limb muscle activity in flat-arched feet towards a pattern observed in normal-arched feet? *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2010;25(7):728-36.

23. Akuzawa H, Imai A, Iizuka S et al. Calf muscle activity alteration with foot orthoses insertion during walking measured by fine-wire electromyography. *J Phys Ther Sci.* 2016;28(12):3458-62.
24. Saeedi H, Mousavi ME, Majddoleslam B et al. The evaluation of modified foot orthosis on muscle activity and kinetic in a subject with flexible flat foot: Single case study. *Prosthet Orthot Int.* 2014;38(2):160-6.
25. Han KH, Bae KH, Jung HG et al. Comparison of plantar pressure and COP parameters in three types of arch support insole during stair descent in elderly with flatfoot. *KOCS.* 2018;35(3):948-55.
26. Bonifácio D, Richards J, Selfe J et al. Influence and benefits of foot orthoses on kinematics, kinetics and muscle activation during step descent task. *Gait Posture.* 2018;65:106-11.
27. Kaur N, Bhanot K, Ferreira G. Lower extremity and trunk electromyographic muscle activity during performance of the y-balance test on stable and unstable surfaces. *Int J Sports Med.* 2022;17(3):483.
28. Mandalidis DG, Karagiannakis DN. A comprehensive method for assessing postural control during dynamic balance testing. *MethodsX.* 2020;7:100964.
29. Dahle LK, Mueller M, Delitto A et al. Visual assessment of foot type and relationship of foot type to lower extremity injury. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1991;14(2):70-4.
30. Periyasamy R, Anand S. The effect of foot arch on plantar pressure distribution during standing. *J Med Eng Technol.* 2013;37(5):342-7.
31. Levinger P, Murley GS, Barton CJ et al. A comparison of foot kinematics in people with normal-and flat-arched feet using the oxford foot model. *Gait posture.* 2010;32(4):519-23.
32. Koshino Y, Samukawa M, Chida S et al. Postural stability and muscle activation onset during double- to single-leg stance transition in flat-footed individuals. *J Sports Sci Med.* 2020;19(4):662-9.
33. Kulig K, Lee SP, Reischl SF et al. Effect of posterior tibial tendon dysfunction on unipedal standing balance test. *Foot Ankle Int.* 2015;36(1):83-9.
34. Lee KS, Wang JW, Lee DY et al. Effects of progressive core and ankle muscle strengthening exercises using thera-band on body balance. *J Kor Phys Ther.* 2022;34(3):121-7.
35. Lee DK, Kim GM, Ha SM et al. Correlation of the y-balance test with lower-limb strength of adult women. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(5):641-3.