

## 불안정한 지면에서 발 내재근 강화운동이 유연성 편평발을 가진 성인의 균형능력과 발배뼈 높이에 미치는 효과

이주현 · 김민석 · 신수빈 · 이찬영 · 채서연 · 홍유진 · 오세정<sup>†</sup>  
대전대학교 보건의료과학대학 물리치료학과, <sup>1</sup>대전대학교 물리치료학과 대학원

### The Effect of Intrinsic Foot Muscles Strengthening Exercise on the Balancing Ability and the Height of Navicular Bone in Adults with Flexible Flatfoot on Unstable Surface

Ju-Hyun Lee · Min-Seok Kim · Soo-Bin Shin · Chan-Young Lee ·  
Seo-Yeon Chae · Yu-Jin Hong · Se-Jung Oh, PT, MSc<sup>1†</sup>

Department of Physical Therapy, College of Health and Medical Science, Daejeon University

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Graduate School, Daejeon University

Received: November 15 2022 / Revised: November 24 2022 / Accepted: January 3 2023

© 2023 J Korean Soc Phys Med

#### | Abstract |

**PURPOSE:** This study evaluated an intrinsic foot strengthening exercise method for flat feet by comparing the effects of intrinsic exercises on a stable surface and intrinsic exercises on an unstable surface.

**METHODS:** Twenty-four people with flat feet were divided into two groups. The control group performed short foot exercises and toe towel curl exercises on the stable support surface. The experimental group performed short foot exercises and toe towel curl exercises on an unstable support surface using Aerostep. The navicular drop test, and the static and dynamic balance were measured before and after the intervention.

<sup>†</sup>Corresponding Author : Se-Jung Oh  
3173966@naver.com, <http://orcid.org/0000-0003-2352-9997>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**RESULTS:** In the experimental and control groups, there was a significant difference in the navicular drop test and static balance before and after the intervention ( $p < .05$ ). On the other hand, there was no significant difference between the two groups ( $p > .05$ ). In the dynamic balance, the experimental group showed significant differences in all directions after the intervention ( $p < .05$ ). The control group showed significant differences in the postero-lateral direction and posteromedial direction ( $p < .05$ ). In particular, in the forward direction, the experimental group had a more significant change than the control group ( $p < .05$ ).

**CONCLUSION:** Intrinsic foot muscle strengthening exercises performed on unstable surfaces can be an effective clinical exercise method to improve the dynamic balance ability of people with flat feet.

**Key Words:** Balance, Flat foot, Intrinsic muscles, Strengthening, Support surface

## I. 서론

발은 주로 몸을 지탱하고 균형을 유지하기 위해 사용하며, 반복적인 움직임으로 구조적 변형이 발생할 수 있다[1]. 편평발은 약 20%의 성인에게 발생하는 발의 안쪽 세로활(medial longitudinal arch; MLA)의 높이 감소와 함께 발꿈치뼈 가쪽변짐(calcaneal eversion)의 결과로 발생하는 대표적인 만성적인 구조적 변형의 예이다[1]. 유연성 편평발은 열린사슬(open kinematic chain) 조건에서는 안쪽 세로활의 높이가 변화가 없으나 체중을 지지한 닫힌사슬(closed kinematic chain) 조건에서는 안쪽 세로활의 높이가 감소하여 변형이 일어나는 상태이다[2]. 편평발의 원인은 정확히 규명되지 않았지만 유전적 요인, 맞지 않는 신발 착용 등 여러 요인에 의해 발생되며, 엄지발가락가쪽굽, 발바닥 근막염 등과 같은 다양한 발과 관련된 손상 등 변형과 함께 편평발이 동반될 수 있다[3].

발의 내재 근육과 외재 근육들은 체중 지지 또는 중간디딤기에 발의 옆침으로 인한 안쪽 세로활의 높이를 유지하여 발의 안정성과 탄력성에 서로 상호적인 역할을 하며, 편평발이 있는 사람들의 경우엔 내재 근육과 외재 근육들 사이에 상호작용이 감소한다[4]. 편평발을 가진 사람이 반복적인 신체활동을 할 경우 안쪽 세로활의 높이가 감소하고 목발 밑 관절에서 과도한 옆침으로 정강뼈가 안쪽으로 회전하게 되어 하지 운동사슬의 구조적 변형이 발생하게 된다[5]. 또한 발바닥의 근막 및 연부조직의 탄력 감소와 비정상적인 중심압력으로 인해 발바닥 접촉면 사이의 조절능력이 저하되고[6], 발바닥 손상 및 발목 손상, 정강이통증, 무릎뎀 다리 통증 증후군 등과 같은 하지 손상과 균형 및 자세 조절을 위한 신경근육조절의 변화와 밀접한 관련성을 가진다[7,8].

유연성 편평발을 위한 기존의 중재방법들로 보조기 착용과 내재근 강화운동, 단축발 운동, 뒤정강근 강화, 테이핑 방법 등이 있다[9-12]. 대표적인 내재근 강화운동은 단축발 운동과 발가락 타일 감기 운동 등이 있으며[2,13], 단축발 운동은 발의 내재 근육을 강화해 편평발이 있는 대상자들에게 적용했을 때 발베뼈 하강(navicular

drop)을 감소시키며 편평발의 정렬과 관련하여 회복에 도움이 된다고 보고되었다[14]. 단축발 운동이 편평발을 가진 자들의 발베뼈 높이 감소[4,15]와 균형[16,17]에 효과가 있었다.

고유수용성감각 훈련(proprioceptive training)은 감각과 운동 시스템의 통합된 접근방법으로 발목과 발에서 들어오는 감각피드백을 이용하여 손상된 근골격계와 균형의 향상에 있어 적합한 운동프로그램으로 만성 발목 불안정성과 균형장애를 가진 자들에게 적용한다[18]. 불안정한 지면에서 실시한 고유수용성감각 훈련은 관절과 기계적 수용기에 감각자극을 전달하여 정적 균형에 효과적인 프로토클이였음을 보고하였다[19]. 발 내재근 강화훈련과 함께 고유수용성감각 훈련을 실시하여 유연성 편평발을 가진 자들의 균형과 안쪽 세로활과 같은 구조적 변화를 알아보고자 한 연구는 부족하다. 따라서, 본 연구는 불안정한 지면에서의 발 내재근 강화 훈련이 유연성 편평발이 있는 20대 성인의 균형 능력 및 발베뼈 하강 정도에 미치는 영향을 파악하고, 안정한 지면에서의 발 내재근 강화 훈련 효과와 비교하여 유연성 편평발에 더 효과적인 운동 방법을 제시하기 위해 실시하였다.

본 연구의 가설은 다음과 같다. 첫째, 불안정한 지면에서의 내재근 강화 운동을 실시한 집단과 안정적인 지지면에서의 내재근 강화 운동을 실시한 집단 내와 집단 간 사이에서 발베뼈 하강 검사 결과 값에 유의한 차이가 있을 것이다. 둘째, 두 집단 내와 집단 간 사이에 정적 및 동적 균형에 유의한 차이가 있을 것이다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

본 연구의 대상자는 대전광역시 D대학교에 재학 중인 유연성 편평발을 가지고 있는 평균연령 약 20살의 젊은 성인 남자(8명), 여자(16명)를 대상으로 하였다. 대상자의 선정 기준은 클라크 각(Clarke's angle; CA)의 평균값이 31도 이상 41도 이하인 자, 발베뼈 하강(navicular drop test; ND)의 평균값이 8mm 이상인 자[20]로 하였으며, 3번씩 측정하여 각각 평균값을 구했다.

대상자 제외 기준은 BMI 30.5 이상인 자, 2주 간의 중재에 참여할 수 없는 자, 편평발 관련하여 치료받은 자, 신경학적 문제로 병적 편평발이 있는 자였다. 클라크 각(Clarke's angle)의 측정 방법은 발의 제1 중족골 결절(1st metatarsal head)과 안쪽 세로활(Medial longitudinal arch (MLA))의 고점을 이은 선과 제1 중족골 결절(1st metatarsal head)과 발뒤꿈치의 내측 가장자리를 연결한 선과의 각도를 측정하였다[21] (Fig. 1). 본 연구에 참여한 대상자의 수를 측정하기 위해 G-power 3.1 program (G power program Version 3.1, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Germany)를 사용하였다. 예비연구에서 동적균형측정에서 얻어진 결과값을 이용하여 효과크기를 1.22, 검정력 0.8, 유의수준 0.5로 설정하여 산출하였다. 총 54명이 참여하였으며, 선정 기준에 부합하지 않은 30명을 제외한 총 24명이 연구 대상으로 선정되었다. 실험 시작하기 전 연구의 목적과 방법을

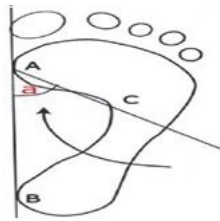


Fig. 1. Clarke's angle (CA).

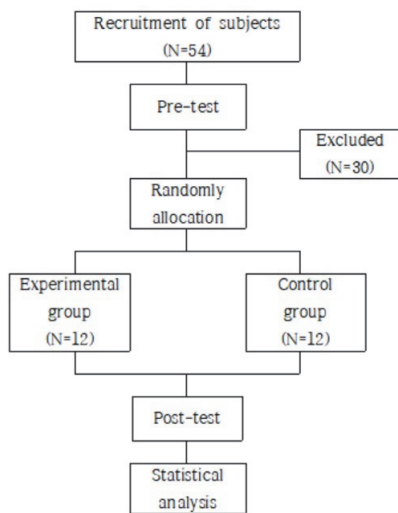


Fig. 2. Flowchart of the study design.

대상자에게 충분히 설명하고 동의를 얻어 진행하였다.

## 2. 연구절차

연구에 참여하기 전 연구의 목적과 방법을 대상자에게 충분히 설명하고 동의를 얻어 진행하였고, 모든 중재와 평가는 담당교수의 지도 하에 4학년 재학생 6명이 연구실에서 실시하였다. 총 24명의 연구 대상자들은 소도구를 이용하여 불안정한 지면에서 발 내재근 강화운동을 실시한 실험군(N = 12)과 안정한 지면에서 발 내재근 강화운동을 실시한 대조군(N = 12)으로 무작위로 배정되었다. 모든 참가자들은 강화운동 전과 강화운동이 종료된 후에 평가를 실시했으며, 우세발 쪽의 발배뼈 하강 측정, 정적 균형 평가인 한발 서기 검사(single leg stance test; SLS)와 동적 균형 평가인 Y균형 검사(Y balance test; YBT)를 실시하였다(Fig. 2).

## 3. 측정방법

### 1) 발배뼈 하강 측정(navicular drop test, ND)

이 검사는 체중 시 발의 안쪽 세로활 높이를 측정하기 위해 사용하며, 정적 발 평가 도구로서 발배뼈 결절의 시상면 변위의 정도를 확인하는 검사 방법이다. 검사자는 먼저 서 있는 자세의 체중 부하 상태에서 바닥부터 발배뼈 거친면의 높이를 측정한 후 체중을 부하 하지 않고 앉은 자세에서 발배뼈 거친면(navicular tuberosity)의 높이와의 차이를 측정하게 된다. 8 mm 이상 차이의 결과값을 나타내면 비정상적으로 간주한다[19]. 해당 평가 방법의 신뢰도는 ICC = .73~.96의 강한 신뢰도를 보였다[22](Fig. 3).

### 2) 정적 균형 측정(static balance test)

정적 균형 능력 측정은 Wii balance board (Nintendo, Kyoto, Japan; WBB) 위에서 한발 서기 검사(single leg stance test; SLS)를 실시하여 압력중심(center of pressure; COP)의 총 이동속도(velocity (cm/s))와 총 이동거리(path length (cm))값으로 측정하였다(Fig. 4).

한발 서기 검사 측정 방법은 편평발인 발을 WBB 위에 두고 반대편 다리는 엉덩관절 90도, 무릎관절 90



Fig. 3. Navicular drop test was measured by the distance of the vertical line between the navicular tuberosity and the floor.



Fig. 4. Static balance test (Wii balance board).

도로 굽혀 한 발로 서도록 한다. 두 팔은 가슴에 교차하고 눈을 감은 상태에서 측정하였다. 측정은 10초씩 총 3회 실시하여 평균값을 사용했고, 1회 측정 후에는 1분의 휴식 시간을 가졌으며, 측정 중에 다리가 지면에 닿으면 처음부터 재측정하였다[23]. 데이터 분석은 Balancia software 2.0 (Mintosys, Seoul, Korea)을 사용하였고, 측정자 내 신뢰도는 ICC = .92~.98로 높은 신뢰도를 가진다[24].

### 3) 동적 균형 측정(dynamic balance test)

동적 균형 능력 측정을 위해 Y균형 검사(Y balance test; YBT)를 사용하였다(Fig. 5). 전방 방향의 선에 기준하여 양측으로 135°지점에 후내측과 후외측 방향의 선을 표시하였으며 측정 시 뺨은 지점까지의 거리를 cm로 측정하였다[25].

측정하기 전 3회 연습을 한 후 본 측정을 실시하였다. 편평발쪽의 엄지발가락은 Y자 모양의 정중앙에 위치하고 양손은 골반에 둔 뒤 시선은 정면을 응시하도록 하였다. 측정 시 편평발이 아닌 발의 발끝으로 선을 터치한 후 시작 자세로 돌아오도록 지도하였다. 1회씩 3세트 실시하였으며, 세트가 끝난 후엔 1분간 휴식 시간을 가졌다. 시도 중 지면에 있는 발이 떨어지거나, 뺨에 체중을 지지할 경우, 골반을 전방으로 내민 경우 또는 다시 시작 자세로 돌아오지 못 할 경우 실패로 간주하고 재측정하였다. 길이 측정은 대상자가 발끝으로 찍은 지점과 중앙 지점까지의 길이를 재었으며



(A) Anterior



(B) Posteromedial



(C) Posterolateral

Fig. 5. Y-balance test.



0.5 cm 단위로 가까운 근삿값을 기록하였다[25].

측정값은 각 방향에서 3회 측정 평균값을 산출해 사용하였으며, 대상자의 신장에 따라 측정값의 편차가 크게 나올 수 있기 때문에 공식을 이용해 표준화했다 [25]. 다리 길이의 경우 위 앞 엉덩뼈 가시(ASIS)부터 안쪽 복사뼈까지의 길이를 측정하여 사용하였다. 표준화된 공식은 총 3번 측정한 값의 평균값을 다리길이로 나눈 후 100을 곱하여 사용하였다. YBT의 측정자 내 신뢰도는 ICC = .85~.91이고 측정자 간 신뢰도는 ICC = .91~.99로 높은 신뢰도를 가진다[26].

#### 4. 중재방법

본 연구의 운동 프로그램은 불안정한 지면에서 발 내재근 강화운동 또는 안정한 지면에서 발 내재근 강화운동을 두 집단으로 나누어 구성하였다[27]. 불안정한 지면에서 운동을 한 실험군과 안정한 지면에서 운동을 한 대조군은 2주에 걸쳐 총 5회, 회 당 3세트, 세트 당 10회 반복, 세트 간 휴식 시간은 30초로 실시하였다. 모든 대상자들에게는 중재 전 내재근의 긴장을 풀어주기 위해 공으로 발바닥 마사지를 1분간 실시하였다.

##### 1) 불안정한 지면에서 발 내재근 강화운동

###### (1) 소도구(Aerostep)를 이용한 단축발 운동(short foot exercise)

앉은 자세에서 소도구(Aerostep, Togu, Germany) 위에 발을 올리고 발의 안쪽 세로활을 올리는 동작을 수행한다. “엄지 발가락을 바닥으로 누르는 느낌으로 소도구가 움푹 들어가도록 해보세요”라고 지시한다. 이때, 대상자는 엄지발가락으로 소도구를 누르지만 엄지발

가락의 몸쪽 발가락뼈사이 관절과 발허리발가락 관절을 과하게 굽힘이 되지 않게 내재근 수축에 집중하여 운동을 실시해야 한다. 발바닥 근 수축은 축진을 통해 확인하며 근육의 긴장감이 느껴지지 않을 경우, 재교육을 실시하여 진행한다. 본 운동은 10번씩 3세트로 진행한다(Fig. 6).

###### (2) 소도구(Aerostep)를 이용한 발가락 타월 말기 운동(toe towel curl exercise)

앉은 자세에서 수건을 소도구 위에 올려놓고, 수건 위에 발을 올려 둔 후, 발뒤꿈치를 고정하고 발가락을 최대한 벌려 수건을 움켜쥐는 다음 최대로 발가락과 발바닥을 수축시켜 수건을 몸쪽으로 당겨오도록 지도한다. 이때 구두로 “수건을 최대한 발바닥을 쥐는 느낌으로 당겨보세요”라고 말하며 발가락 전체 사용을 강조한다. 해당 운동은 10번씩 3세트로 진행한다(Fig. 7).

##### 2) 안정한 지면에서 발 내재근 강화운동

###### (1) 단축발 운동

앉은 자세에서 평평한 바닥 위에 발을 올리고 발의 안쪽 세로활을 올리는 동작을 수행한다. “엄지 발가락을 바닥 누르는 느낌으로 눌러 보세요”라고 치료사들이 지시한다. 단축발 운동은 발가락의 구부림없이 안쪽 세로활을 높혀 뒤꿈치 쪽으로 발허리뼈를 당겨 발바닥 내재근육을 수축해 발의 길이를 줄이는 운동법이며, 발가락의 굽힘이 일어나지 않도록 실시한다. 발바닥 근 수축은 축진을 통해 확인하며 근육의 긴장감이 느껴지지 않을 경우 재교육을 실시하여 진행한다. 본 운동은 10번씩 3세트로 진행한다(Fig. 8).



Fig. 6. Short foot exercise using the Aerostep.



Fig. 7. Toe towel curl exercise using the Aerostep.



Fig. 8. Short foot exercise.



Fig. 9. Toe towel curl exercise.

### (2) 발가락 타월 말기 운동

앞은 자세에서 수건이나 밴드를 바닥에 평평하게 편다. 수건 위에 발을 올려둔 후, 발뒤꿈치를 고정하고 발가락을 최대한 벌려 수건을 움켜쥐는 다음 최대한 발가락과 발바닥을 수축시켜 수건을 몸쪽으로 당겨오도록 지도한다. 이때 구두로 “수건을 최대한 발바닥을 쥐는 느낌으로 당겨보세요”라고 말하며 발가락 전체 사용을 강조한다. 해당 운동은 10번씩 3세트로 진행한다(Fig. 9).

### 5. 자료분석

SPSS ver. 26.0 (SPSS Inc., Chicago)을 이용하여 자료 분석을 실시하였으며, 대상자들의 일반적 특성의 Shapiro-Wilk 검정을 통해 정규성 분포를 확인하였고, 동질성 검정을 위해 카이제곱검정(chi-square test)과 독립표본 t-검정(independent t-test)을 실시하였다. 집단 내 전-후 차이를 분석하기 위해 대응표본 t-검정(paired t-test)을 실시하였으며, 집단 간 전-후 차이를 분석하기 위해 독립표본 t-검정(independent t-test) 사용하여 분석하였다. 자료의 통계수준은  $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

### III. 연구결과

#### 1. 연구 대상자의 일반적 특성

대상자의 일반적 특성은 Table 1과 같다. 실험군과 대조군의 집단 간의 성별, 나이, 키, 몸무게 등의 특성은 차이가 없었다( $p > .05$ ).

#### 2. 발배뼈 하강 차이 비교

중재 후의 발배뼈 하강 차이는 중재 전에 비해 두 집단에서 모두 유의한 차이가 있었다( $p < .05$ ). 실험군은 중재 전에 비해 0.19 cm 감소하였고, 대조군은 0.28 cm 감소하였다. 두 집단 간 발배뼈 하강 차이의 변화량은 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > .05$ ) (Table 2).

#### 3. 정적 균형 비교

두 집단에서 중재 전에 비해 압력중심(COP)의 이동 거리(path length)와 이동 속도(velocity)가 유의한 차이가 있었다( $p < .05$ ). COP의 이동 속도는 실험군에서 1.57 cm/s 감소하였고, 대조군은 2.09 cm/s 감소하였다.

Table 1. General characteristics of all the subjects

	Experimental group (n = 12)	Control group (n = 12)	$\chi^2/t$
Sex (male/female)	4/8	4/8	.71
Age (years)	20.50 ± 1.83	20.58 ± 1.62	-.12
Height (cm)	167.08 ± 5.68	164.42 ± 5.87	1.13
Weight (kg)	63.58 ± 13.17	59.00 ± 4.90	1.13
Dominant side of flat foot (Left/Right)	9/3	7/5	3.00

Values are expressed as means ± standard deviations or numbers.

COP의 이동 거리는 실험군에서 15.7 cm 감소하였고, 대조군에서 20.87 cm 감소하였다. 중재 전과 후의 이동 거리와 이동속도 차이의 변화량을 두 집단 간 비교한 결과, 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > .05$ ) (Table 2).

4. 동적 균형 비교

실험군은 중재 전에 비해 중재 후 모든 방향에서 유의한 차이가 있었다( $p < .05$ ). 앞쪽 방향은 4.25 cm,

뒤-가쪽 방향은 12.78 cm, 뒤-안쪽 방향은 9.6 cm가 더욱 증가했다( $p < .05$ ). 대조군은 뒤-가쪽 방향, 뒤-안쪽 방향에서 중재 전과 비교해 중재 후에서 각각 9.02 cm, 6.86 cm로 통계적으로 유의하게 증가하였다( $p < .05$ ). 두 집단 간의 변화량을 비교한 결과, 앞쪽 방향에서 실험군이 대조군에 비해 더욱 증가했다( $p < .05$ ). 그 이외의 방향에서는 두 군간 유의한 차이는 없었다 (Table 2).

Table 2. Comparison of the pulmonary function and gait endurance before and after training within each group and between the two groups

		Experimental group (n = 12)	Control group (n = 12)	t
Navicular drop (cm)	Pre	.67 ± .19	.65 ± .33	.153
	Post	.48 ± .18	.37 ± .26	1.193
	t	2.150	2.661 <sup>a</sup>	
	Δ(post-pre)	-.19 ± .31	-.28 ± .37	.660
Static balance test	Pre	9.31 ± 1.63	10.02 ± 1.76	-1.033
	Post	7.74 ± 1.51	7.94 ± 1.55	-.319
	t	5.228 <sup>a</sup>	3.664 <sup>a</sup>	
	Δ(post-pre)	-1.57 ± 1.04	-2.09 ± 1.97	.804
COP path length (cm)	Pre	93.05 ± 16.32	100.23 ± 17.60	-1.036
	Post	77.35 ± 15.16	79.36 ± 15.54	-.320
	t	5.221 <sup>a</sup>	3.667 <sup>a</sup>	
	Δ(post-pre)	-15.70 ± 10.42	-20.87 ± 19.71	.803
Anterior direction (cm)	Pre	67.71 ± 5.37	71.85 ± 8.61	-1.411
	Post	71.97 ± 4.28	71.83 ± 5.56	.068
	t	-3.128 <sup>a</sup>	.010	
	Δ(post-pre)	4.25 ± 4.71	-.02 ± 6.85	1.780 <sup>b</sup>
Dynamic balance test	Pre	89.78 ± 8.94	92.62 ± 11.97	-.658
	Post	102.56 ± 5.34	101.64 ± 12.85	.231
	t	-5.558 <sup>a</sup>	-4.346 <sup>a</sup>	
	Δ(post-pre)	12.78 ± 7.97	9.02 ± 7.19	1.215
Posteriorlateral direction (cm)	Pre	85.21 ± 9.98	88.95 ± 14.75	-.727
	Post	94.81 ± 7.47	95.80 ± 13.54	-.221
	t	-5.398 <sup>a</sup>	-3.104 <sup>a</sup>	
	Δ(post-pre)	9.60 ± 6.16	6.86 ± 7.65	.967
Posteriomedial direction (cm)	Pre	89.78 ± 8.94	92.62 ± 11.97	-.658
	Post	102.56 ± 5.34	101.64 ± 12.85	.231
	t	-5.558 <sup>a</sup>	-4.346 <sup>a</sup>	
	Δ(post-pre)	12.78 ± 7.97	9.02 ± 7.19	1.215
Posteriorlateral direction (cm)	Pre	85.21 ± 9.98	88.95 ± 14.75	-.727
	Post	94.81 ± 7.47	95.80 ± 13.54	-.221
	t	-5.398 <sup>a</sup>	-3.104 <sup>a</sup>	
	Δ(post-pre)	9.60 ± 6.16	6.86 ± 7.65	.967

Values are expressed as means ± standard deviations

<sup>a</sup>Significantly different changes ( $p < .05$ ) within the group.

<sup>b</sup>Significantly different changes ( $p < .05$ ) between the two groups.

#### IV. 고 찰

본 연구는 유연성 편평발을 가진 대상자에게 소도구를 이용한 불안정한 지지면에서 발의 내재근 강화 훈련을 적용한 실험군과 안정한 지지면에서 중재를 적용한 대조군을 비교하였으며, 발배뼈 하강과 정적 및 동적 균형의 변화를 알아보려고 하였다.

발배뼈 높이는 편평발을 구분하는데 주된 변수이며, 본 연구에서는 두 집단에서 중재 후에 유의한 높이의 감소를 보였다. 발가락 타월 말기 운동과 단축발 운동을 적용한 이전 연구에서도 발배뼈 하강의 결과를 통해 본 연구와 일치하였음을 알 수 있었다[6,12]. 또한 단축발 운동은 내재근 수축력을 증가시켜 발배뼈 하강에 효과적이었으며, 특히 엄지발가락의 근수축을 보다 증가시켰음이 보고되었다[28]. 따라서 실험군과 대조군에서 실시한 단축발 운동에서 발의 내재근의 수축력을 증가시켜 발배뼈 하강의 감소에 도움이 되었으며, 이로 인해 안쪽 세로활의 하강을 예방할 수 있었음을 보여주었다[2]. 하지만 집단 간에서 유의미한 차이가 없었는데, 그 이유는 엄지발가락 강화에 대해서 관여하는 두 가지의 도구들의 특성이 차이가 크지 않았으며 두 집단의 동작이 크게 다르지 않았기 때문에 비슷한 효과를 보여주었다고 생각한다.

한발서기 검사를 이용한 정적 균형에서 압력중심의 이동거리와 이동속도를 측정한 결과, 안정한 지면과 불안정한 지면의 모든 집단에서 더욱 감소하여 균형능력이 개선되었음을 알 수 있었다. 로우다이 테이핑(low-dye taping)을 실시한 이전 연구에서 한발로 선 자세동요 검사에서 유의한 차이를 보이지 못했다[9]. 하지만 시각적 피먹임을 이용한 단축발 운동을 적용한 선행연구에서 한발 서기에서 자세 비틀림(postural sway)의 정도가 감소하여 정적균형이 증가했음을 보고한 결과와 일치한다[10,29]. 압력중심의 이동속도는 자세 안정성을 측정하는데 중요한 요소이며, 발의 내재근 강화 훈련으로 발의 안정성을 향상시켰고, 결국 발의 안정성으로 균형능력의 향상에 도움을 주었다고 볼 수 있다[14]. 하지만 집단 간 변화의 차이는 통계적으로 유의한 차이가 없었으며, 두 집단 모두 비체중 부하상

태에서 운동을 실시하여 균형에 영향을 미치는 관절과 근육의 고유수용성 감각의 사용 범위가 부족하였기 때문이라고 생각한다.

편평발을 가진 자들의 경우 Y균형 검사의 결과 정상인에 비해 모든 방향에서 결과값이 감소하였으며[27], 동적 균형능력의 저하는 보행이나 기능적 수행능력에 제한을 줄 수 있다. 우리 동적 균형능력의 결과, Y균형 검사의 대부분의 방향에서 중재 후 더욱 증가하였음을 보여주었다. Mulligan과 Cook[14]의 내재근 강화 훈련의 연구 결과에서 앞쪽 방향을 제외하고 모든 방향에서 측정 거리가 증가하여 비슷한 결과를 보여주었다. 이전 연구의 결과와 비슷하게 안정한 지면에서 운동은 앞쪽을 제외하고 모든 방향에서 증가하였는데, 이는 목말밑 관절에서의 운동 방향은 옆침과 뒤침에 국한되어 있기 때문에 앞쪽 움직임의 경험은 부족하였기 때문이라고 볼 수 있다[29].

본 연구의 제한점으로, 첫째, 본 연구기간은 2주였으며 이 기간 동안 체중부하를 가하지 않은 상태에서의 운동을 실시하였다. 추후 연구에 기간에 따라 점진적인 중재 강도를 높이며 Aerostep 위에 선 자세에서 동적 균형을 유지함과 동시에 운동들을 실시한다면 더 큰 변화량을 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 둘째, 연구 대상자의 수가 적어 본 연구의 결과가 편평발을 가진 자들의 효과에 일반화하기 어려움이 있다. 셋째, 편평발 선별 결과 대상자의 대부분은 일상생활에 지장 없는 아주 경한 경우였으며 따라서 향후 연구에서 편평발의 수준을 다양하게 하여 수준별로 연구를 실시하면 더 정확한 운동 강도 및 기간을 설정할 수 있을 것으로 사료된다.

#### V. 결론

본 연구는 불안정한 지지면에서 실시한 발 내재근 강화훈련이 20대 유연성 편평발 대상자의 균형 능력과 발배뼈 하강에 미치는 영향에 대해서 알아보려고 실시하였다. 불안정한 지면에서도 안정한 지면에서 실시한 발의 내재근 강화 훈련과 비슷하게 발배뼈 하강과 정적 균형, 동적 균형에 중재 후 더욱 효과가 있었음을 볼



수 있었다. 따라서, 소도구를 이용한 불안정한 지지면에서 실시한 발 내재근 강화 운동은 유연성 편평발 성인의 동적 균형 능력 향상에 임상에서 효과적인 운동 방법이 될 수 있음을 제안한다.

## References

- [1] Banwell HA, Mackintosh S, Thewlis D. Foot orthoses for adults with flexible pes planus: a systematic review. *J Foot Ankle Res.* 2014;7(1):23.
- [2] Kuhn DR, Shibley NJ, Austin WM, et al. Radiographic evaluation of weight-bearing orthotics and their effect on flexible pes planus. *J Manipulative Physiol Ther.* 1999;22(4):221-6.
- [3] Jung DY, Koh EK, Kwon OY. Effect of foot orthoses and short foot exercise on the cross-sectional area of the abductor hallucis muscle in subjects with pes planus: a randomized controlled trial. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2011;24(4):225-31.
- [4] Okamura K, Kanai S, Hasegawa M, et al. The effect of additional activation of the plantar intrinsic foot muscles on foot dynamics during gait. *Foot.* 2018;34(1):1-5
- [5] Inman VT, Ralston HJ, Todd F. *Human walking.* Baltimore (MD): Williams & Wilkins; 1981
- [6] Park DJ, Park SY. Comparison of subjects with and without pes planus during short foot exercises by measuring muscular activities of ankle and navicular drop height. *J Korean Soc Phys Med.* 2018;13(3):133-39.
- [7] Cote KP, Brunet ME, Gansneder BM, et al. Effects of pronated and supinated foot postures on static and dynamic postural stability. *J Athl Train.* 2005;40(1):41-6.
- [8] Tsai LC, Yu B, Mercer VS, et al. Comparison of different structural foot types for measures of standing postural control. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2006;36(12):942-53.
- [9] Eom JR, Moon DC, Kim JS. The changes of balance performance by low-dye taping application on flexible flatfoot. *J Korean Soc Phys Med.* 2014;9(4):355-61.
- [10] Kim JS, Lee MY. The effect of short foot exercise using visual feedback on the balance and accuracy of knee joint movement in subjects with flexible flatfoot. *Medicine (Baltimore).* 2020;99(13):e19260.
- [11] Kim TH, Koh, EK, Jung DY. The effect of arch support taping on plantar pressure and navicular drop height in subjects with excessive pronated foot during 6 weeks. *J Korean Soc Phys Med.* 2011;6(4):483-90.
- [12] Alam F, Raza S, Moiz JA, et al. Effects of selective strengthening of tibialis posterior and stretching of iliopsoas on navicular drop, dynamic balance, and lower limb muscle activity in pronated feet: A randomized clinical trial. *Phys Sportsmed.* 2019;47(3):301-11.
- [13] Lee JH, Cynn HS, Yoon TL, et al. Differences in the angle of the medial longitudinal arch and muscle activity of the abductor hallucis and tibialis anterior during sitting short-foot exercises between subjects with pes planus and subjects with neutral foot. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2016;29(4):809-15.
- [14] Mulligan EP, Cook PG. Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. *Man Ther.* 2013;18:425-30.
- [15] Kısacık P, Tunay VB, Bek N, et al. Short foot exercises have additional effects on knee pain, foot biomechanics, and lower extremity muscle strength in patients with patellofemoral pain. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2021;34(6):1093-104.
- [16] Hara S, Kitano M, Kudo S. The effects of short foot exercises to treat flat foot deformity: A systematic review. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2022;12.
- [17] Huang C, Chen LY, Liao YH, et al. Effects of the short-foot exercise on foot alignment and muscle hypertrophy in flatfoot individuals: A meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19(19):11994.
- [18] Postle K, Pak D, Smith TO. Effectiveness of proprioceptive exercises for ankle ligament injury in adults: a systematic literature and meta-analysis. *Man Ther.* 2012; 17(4): 285-91.
- [19] Janda, V, Jull GA. Muscles and motor control in low

- back pain: Assessment and management. In *Physical Therapy of the Low Back*; Twomey, L.T., Ed.; Churchill Livingstone: New York, NY, USA, 1987.
- [20] Bennett JE, Reinking MF, Pluemer B, et al. Factors contributing to the development of medial tibial stress syndrome in high school runners. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2001;31(9):504-10.
- [21] Zuñil-Escobar JC, Martínez-Cepa CB, Martín-Urrialde JA, et al. Medial longitudinal arch: Accuracy, reliability, and correlation between navicular drop test and footprint. *J. Manip. Physiol. Ther.* 2018;41(8):672-79.
- [22] Sell KE, Verity TM, Worrell TW, et al. Two measurement techniques for assessing subtalar joint position: a reliability study. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1994;19(3):162-7.
- [23] Park DS; Lee GC. Validity and reliability of balance assessment software using the Nintendo Wii balance board: usability and validation. *J Neuroeng Rehabil.* 2014;11:99.
- [24] Holmes JD, Jenkins ME, Johnson AM, et al. Validity of the Nintendo Wii® balance board for the assessment of standing balance in Parkinson's disease. *Clin Rehabil.* 2013;27(4):361-6.
- [25] Plisky PJ, Gorman PP, Butler RJ, et al. The reliability of an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test. *N Am J Sports Phys Ther.* 2009;4(2):92-9.
- [26] Filipa A, Byrnes R, Paterno MV et al. Neuromuscular training improves performance on the star excursion balance test in young female athletes. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2010;40:551-58.
- [27] Lynn SK, Padilla RA, Tsang KKW. Differences in static- and dynamic-balance task performance after 4 weeks of intrinsic foot-muscle training: the short-foot exercise versus the towel curl exercise. *J Sport Rehabil.* 2012;21(4):327-33.
- [28] Choi JH, Cynn HS, Yi CH, et al. Effect of isometric hip abduction on foot and ankle muscle activity and medial longitudinal arch during short-foot exercise in individuals with pes planus. *J Sport Rehabil.* 2020; 30(3):368-74.
- [29] Moon D, Jung J. Effect of incorporating short-foot exercises in the balance rehabilitation of flat foot: A randomized controlled trial. *Healthcare (Basel).* 2021; 9(10):1358.