

근전도 바이오피드백을 이용한 숏 풋 운동이 정적으로 선 자세 동안 발의 안쪽 세로활 유지에 미치는 영향

차상민¹, 강민혁¹, 문동철², 오재섭³

¹인제대학교 대학원 물리치료학과, ²김해대학교 물리치료과, ³인제대학교 의생명공학대학 물리치료학과

Effect of the Short foot Exercise Using an Electromyography Biofeedback on Medial Longitudinal Arch During Static Standing Position

Sang-min Cha¹, BHSc, PT, Min-hyeok Kang¹, PhD, PT, Dong-chul Moon², PhD, PT, Jae-seop Oh³, PhD, PT

¹Dept. of Physical Therapy, The Graduate School, Inje University

²Dept. of Physical Therapy, Gimhae College

³Dept. of Physical Therapy, College of Biomedical Science and Engineering, Inje University

Abstract

Background: Short foot exercise (SFex) is often prescribed and performed in the sport and rehabilitation fields to strengthen intrinsic foot muscles. However, SFex is difficult to perform because of lack of feedback methods.

Objects: The aim of this study was to compare the effects of SFex with and without electromyography (EMG) biofeedback on the medial longitudinal arch (MLA) of healthy individuals who maintained a static standing position.

Methods: All participants (14 males and 12 females) were randomly divided into two groups (biofeedback and non-biofeedback groups). The EMG activity of the abductor hallucis (AbdH) and tibialis anterior (TA) and the MLA angle on the dominant leg side were measured with the participant in the standing position in the pre- and post-intervention conditions. The intervention session consisted of 15 minutes of SFex with (biofeedback group) or without (non-biofeedback group) EMG biofeedback. The groups were compared using two-way repeated measures analysis of variance.

Results: The post-intervention activities of the AbdH muscle ($p < .05$) and the AbdH/TA ratio ($p < .05$) were significantly greater in the biofeedback group than in the non-biofeedback group. The activity of the TA ($p < .05$) and the MLA angle ($p < .05$) in the biofeedback group were significantly lower in the post-intervention condition than in the pre-intervention condition.

Conclusion: The present findings demonstrate that the combination of SFex and EMG biofeedback can effectively facilitate the muscle activity of the AbdH and strengthen the medial longitudinal arch.

Key Words: Electromyography biofeedback; Medial longitudinal arch; Short foot exercise.

I. 서론

안쪽 세로활(medial longitudinal arch)은 발의 일차

적인 부하지지 및 충격 흡수 구조로 발꿈치뼈, 목말뼈, 발배뼈, 3개의 입방뼈, 첫 번째부터 세 번째 발허리뼈로 구성되어 있으며 낮은 스트레스, 거의 정적인 상황 동

안 발을 지지하도록 이루어져있다(Neumann, 2009). 안쪽 세로활을 유지하기 위해선 발바닥 근막, 긴·짧은 발바닥 인대, 스프링 인대와 같은 수동적 구조물과 앞·뒤정강근, 긴·짧은발가락굽힘근, 엄지벌림근과 같은 능동적 구조물에 의한 지지가 필요하다(Jung 등, 2011a; Jung 등, 2011b; Murley 등, 2009). 그러나 구조물들의 불충분한 지지로 인해 체중부하 자세 동안 안쪽 세로활이 무너질 경우 안쪽 세로활 각의 증가(Jung 등, 2011a), 뒷 발의 박굽이, 뒷발에 대한 중간 발의 벌림(Pinney와 Lin, 2006), 발의 과도한 옆침이 발생 하여 뒤정강근 힘줄장애와 같은 하지의 손상을 초래할 수 있다. 하지의 손상을 예방하기 위해 체중부하 자세 동안 안쪽 세로활이 무너지지 않도록 적절한 중재를 사전에 적용해야 하며 대표적인 중재 방법으로 수동적 중재 방법 및 능동적 중재 방법이 있다(Bishop 등, 2016; Chen 등, 2010; Escalona-Marfil 등, 2014; Jung 등, 2011a; Jung 등, 2011b; Lee 등, 2016).

수동적 중재 방법은 테이핑(taping), 안창(insole) 등 보조 장비를 안쪽 세로활에 적용 하여 보행 혹은 체중부하 자세 동안 적절한 안쪽 세로활을 유지하는 방법이다(Bishop 등, 2016; Chen 등, 2010; Escalona-Marfil 등, 2014). 그러나 수동적 중재 방법은 맞춤 제작을 요구하며, 착용하는 순간에만 효과가 나타나기 때문에 미착용 시 효과가 지속되지 않는다는 단점이 있다(Bishop 등, 2016; Chen 등, 2010; Escalona-Marfil 등, 2014). 이러한 수동적 중재 방법의 문제점을 보완하기 위해서 임상에서는 능동적 중재 방법들을 사용하고 있다.

발의 안쪽 세로활 유지를 위한 능동적 중재 방법인 숏 풋 운동(short foot exercise), 발가락 감기 운동(toe curl exercise)등의 운동방법은 엄지벌림근과 같은 발의 내재근을 효과적으로 강화시킬 수 있다(Jung 등, 2011a; Mulligan과 Cook, 2013). 엄지 벌림근은 발바닥 표면에 있는 대표적인 능동적 구조로, 발꿈치뼈 뒤안쪽 부터 엄지발가락뼈의 종자뼈 혹은 몸쪽 발가락뼈에 부착되어 엄지발가락의 굽힘 및 벌림, 발꿈치뼈의 안쪽 번짐에 관여하여 안쪽 세로활 지지에 중요한 역할을 한다(Jung 등, 2011a; Kendall 등, 2005; Wong, 2007). 이전 연구에서 숏 풋 운동이 발의 내재근 강화를 위해 흔히 사용되는 발가락 감기 운동에 비해 더욱 효과적으로 엄지벌림근을 활성화 할 수 있다고 보고되었으며(Jung 등, 2011a), 일정 기간의 숏 풋 운동 프로그램은 발의 정렬에 긍정적인 영향을 미친다고 보고되

었다(Mulligan과 Cook, 2013).

숏 풋 운동이 효과적으로 엄지벌림근을 활성화 한다는 사실이 증명 되었으나, 대상자가 앞정강근의 보상작용 없이 선택적으로 엄지벌림근을 수축하는 올바른 숏 풋 운동 방법을 습득하는 것은 쉽지 않다(Lee 등, 2016; Van Boerum과 Sangeorzan, 2003). 많은 연구에서 운동 중 보상작용을 감소시키고 선택적 수축을 통해 근육 간 균형을 향상시키기 위한 방안으로 바이오피드백(biofeedback) 접근법이 운동과 접목되었으며, 이러한 바이오피드백이 접목된 운동은 일반적인 운동에 비해 운동의 효과를 극대화 시킬 수 있다고 주장되었다(Huang 등, 2013; Vieira 등, 2016). 근전도 바이오피드백은 근전도를 통해 측정된 근활성도를 시각적, 청각적 정보로 변환하여 대상자에게 운동 수행 능력에 관한 정보를 제공하는 것으로, 대상자는 획득한 정보를 바탕으로 스스로 생체 반응을 조절함으로써 운동조절 능력을 향상시킬 수 있다(Giggins 등, 2013). Huang 등(2013)은 근전도 바이오피드백을 이용하여 어깨 굽힘과 돌림 시 주동근 및 협력근 사이의 근활성도 패턴을 관찰한 결과, 바이오피드백 적용 시 주동근과 협력근 사이 균형이 유의하게 향상된다는 사실을 보고하였다. 또한 Vieira 등(2016)은 균형 훈련 동안 바이오피드백을 이용하여 가자미근과 장딴지근의 근활성도를 낮추고 앞정강근의 활성도 유발을 억제하여 종아리에 가해지는 전반적인 부하를 감소시켰다고 보고하였다.

많은 연구에서 숏 풋 운동은 발의 내재근 강화에 효과적이며, 근전도 바이오피드백 적용은 운동의 효과를 극대화 시킬 수 있다는 사실이 보고되었다(Huang 등, 2013; Jung 등, 2011a; Lee 등, 2016; Mulligan과 Cook, 2013; Vieira 등, 2016). 하지만 근전도 바이오피드백을 결합한 숏 풋 운동이 정적 체중지지 자세 동안 안쪽 세로활 유지에 미치는 영향을 관찰한 연구는 아직 보고되지 않았다. 따라서 본 연구의 목적은 근전도 바이오피드백을 이용한 숏 풋 운동 후 정적인 체중지지 자세 동안 능동적 안쪽 세로활 유지 시 나타나는 하지 근육의 근활성도 및 안쪽 세로활 각도의 변화를 알아보고자 한다. 본 연구의 가설은 바이오피드백을 적용하지 않은 조건에 비해 바이오피드백을 결합한 숏 풋 운동 시 엄지 벌림근의 근활성도가 촉진되고, 앞정강근의 보상작용은 감소하며, 능동적 안쪽 세로활 유지 시 긍정적인 영향을 받을 것으로 설정 하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구는 발의 정렬에 문제가 없는 건강한 성인 26명(남자 14명, 여자 12명)을 모집하였다(Table 1). 모집된 대상자를 근전도 바이오피드백과 함께 숏 풋 운동을 수행한 그룹(실험군), 숏 풋 운동만 수행한 그룹(대조군)으로 각각 13명(남자 7명, 여자 6명)씩 무작위로 분류 하였다. 연구에 참여한 모든 대상자들은 연구 목적에 대한 제한적 내용과 함께 실험 방법에 대하여 충분한 설명을 제공 받았고, 자발적으로 실험 참여에 동의 하였다. 대상자 선정 조건은 발배뼈 떨어짐 검사(navicular drop test)를 통해 발배뼈의 떨어짐이 5~9 mm 이내인 자(Cote 등, 2005; Razeghi와 Batt, 2002), 숏 풋 운동을 배운 경험이 없는 자로 설정하였다. 배제 조건은 발배뼈 떨어짐 검사 시 5 mm보다 낮게 혹은 9 mm 보다 높게 나타난 자, 하지 및 발에 선천적인 기형이 있거나 심각한 외과적 혹은 신경학적 질환으로 실험에 필요한 자세나 동작의 수행이 어려운 자, 지난 6개월 동안 발 및 하지에 외상 및 통증을 경험한 자로 설정하였다. 본 연구는 인제대학교 기관생명윤리위원회의 심의 통과(승인번호: INJE 2016-10-028) 후 진행되었다.

2. 실험 기기 및 도구

가. 표면 근전도 자료 수집 및 분석

본 연구에서는 정적인 체중지지 자세 동안 안쪽 세로할 유지 시 나타나는 우세측 엄지벌림근과 앞정강근의 근활성도를 측정하기 위해 근전도 측정 장비인 2EM(4D-MT, Relive, Gimhae, Korea)을 이용하여 자료를 수집, 처리 하였다. 표면 근전도 전극은 전극간의 거리를 2 cm로 유지하며 근섬유 방향에 평행하게 부착 하였다. 근전도 신호의 표본 추출률(sampling rate)은 1000 Hz로 설정하였으며, 주파수 대역폭(bandpass)은 0~500 Hz를 사용하였다. 근전도 신호는 제곱 평균 제곱근법(root mean square; RMS)으로 처리하여 분석하였다. 본 연구에서는 우세측 하지 근육의 근전도를 측정하기 위해 기존의 연구들을 참조하여 각 근육의 전극 부착 위치를 결정하였다. 우세측 하지는 공을 찰 때 주로 사용하는 발을 묻는 질문을 통해 결정하였다. 엄지벌림근의 근전도를 측정하기 위해 표면 근전도를 발배뼈 거친면 뒤쪽 1~2 cm 지점 근 힘살부에 부착 하였으

며(Arinci Incel 등, 2003), 앞정강근의 근전도를 측정하기 위해 표면 근전도를 종아리뼈와 안쪽 복사뼈 1/3 지점 근 힘살부에 부착 하였다(Criswell 등, 2010). 접지전극(ground electrode)은 우세측 복사뼈 중앙에 부착하였다. 엄지벌림근 및 앞정강근의 근활성도는 중재 전, 후 대상자가 안쪽 세로할 각도를 유지하는 동안 5회 반복, 5초간 측정 되었다. 각 근육의 근활성도 정규화(normalization)를 위해 근육별 최대 등척성수축(maximal voluntary isometric contraction; MVIC)을 Kendall 등(2005)의 연구를 기반으로 측정 하였다. 엄지벌림근의 MVIC는 대상자가 바로 앉은 자세에서 검사자가 대상자의 우세측 발의 발꿈치를 잡은 뒤 다른 손으로 엄지 발가락 안쪽면에 저항을 가할 때 대상자는 가해진 저항의 반대 방향으로 최대 등척성 수축을 수행하여 측정 되었다. 앞정강근의 MVIC는 대상자가 바로 앉은 자세에서 검사자가 대상자의 우세측 먼쪽 종아리를 잡은 뒤 다른 손으로 발의 안쪽 번짐, 발바닥 굽힘 방향으로 저항을 가할 때 대상자는 가해진 저항의 반대 방향으로 최대 등척성 수축을 수행하여 측정 되었다. 각 근육의 MVIC 측정 시 근 활성도를 5초씩 3회 반복 측정하였다. 5초 동안 측정된 RMS 값의 처음과 마지막 1초를 제외한 중간 3초 동안의 3회 평균 근전도 값을 정규화 값(%MVIC)으로 사용하였다. 엄지벌림근/앞정강근 근활성도 비율은 앞정강근에 대한 엄지벌림근의 근활성도를 알아보기 위해 계산되었으며, 측정된 엄지벌림근의 정규화 값을 앞정강근의 정규화 값으로 나누어 나타냈다.

나. 안쪽 세로할 각도 측정

대상자는 바로 앉은 자세에서 발을 편안한 자세로 둔 후 검사자는 대상자 발의 해부학적 기준점(발배뼈 거친 면, 첫 번째 발허리뼈 머리의 안쪽 면, 발꿈치뼈 안쪽 부분)에 펜을 이용하여 표식점을 설정 해 두었다. 발꿈치뼈 안쪽 부분 표식점은 자를 이용하여 발꿈치뼈 뒤로부터 30(여성) 혹은 40(남성) mm 앞, 바닥으로부터 30(여성) 혹은 35(남성) mm 위에 표시 했다(Bandholm 등, 2008; Jung 등, 2011a; Lee 등, 2016). 이어서 안쪽 세로할 각도를 측정 하기 위해 어깨 너비만큼 놓아둔 2개의 체중계 위에 대상자는 각각의 발을 체중계와 평행하게 놓아두었다. 체중에 의한 안쪽세로할의 변화를 최소화 하기 위해 대상자는 본인 체중의 50±5%가 각각의 체중계에 측정되도록 서 있었다. 검사자는 대상자의 발이 중립 위치가 되도록 정렬을 맞춘 후 대상자에게

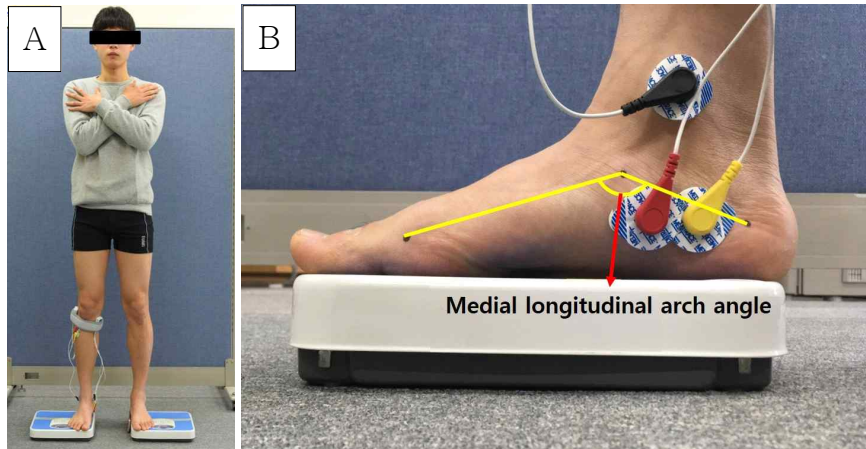


Figure 1. A: weight bearing position on scales, B: medial longitudinal arch angle measurement.

안쪽 세로활이 내려가지 않고 발 허리뼈 관절과 발꿈치는 바닥에 접촉 한 상태를 5초간 유지하라고 지시했다. 스마트폰 카메라(Iphone SE, Apple, Cupertino, CA, USA)를 사용하여 안쪽 세로활 각도를 촬영 했으며, 카메라는 체중지지 자세 동안 측정 발의 안쪽 면으로부터 20 cm 지점에 체중계와 평행하게 놓아두었다. 안쪽 세로활 각도는 중재 전, 후 대상자가 안쪽 세로활을 유지하는 동안 측정 되었으며 5회 반복 실시하였다. 촬영된 안쪽 세로활 각도는 발꿈치뼈 안쪽 부분 및 발배뼈 거친면의 표식점을 이은 선과 발배뼈 거친면 및 발허리뼈 머리의 안쪽면의 표식점을 이은 선 사이의 각도를 Image J 소프트웨어(U.S. National Institutes of Health, Maryland, USA) 를 이용하여 분석하였다(Figure 1)(Cobb 등, 2011).

다. 바이오피드백(biofeedback) 장치

실험군에 속한 대상자는 4D-MT 통합 프로그램(Relive, Gimhae, Korea)에서 제공하는 바이오피드백 운동 기능을 사용하여 바이오피드백 운동을 15분간 실시하였다. 엄지벌림근 MVIC의 20%를 산출하여 쏠 풋 운동 중 엄지벌림근의 근 활성도를 촉진시키기 위한 역치 값으로 사용하였다(Dursun 등, 2001; Ng 등, 2008). 쏠 풋 운동 시 엄지 벌림근의 근활성도가 MVIC의 20% 이상 유지되도록 대상자에게 교육 하였으며 모니터에 나타난 근활성도 그래프와 역치 값 초과 시 발생하는 비프음(beep sound)을 통해 시각적, 청각적 바이오피드백 정보를 제공하였다(Figure 2). 쏠 풋 운동 동안 역치값 이상의 엄지벌림근 근활성도를 5

초 유지하였으며 이어서 10초간 휴식을 취하였다. 만약 근활성도가 역치 값 이하로 떨어질 경우 실패로 간주 하였으며 10초의 휴식 후 재시도 하였다.

3. 실험 방법

두 그룹의 모든 대상자는 각각의 체중계 위에 바로 선 후 검사자는 대상자의 발을 중립 위치가 되도록 정렬을 맞추었다. 이어서 검사자는 대상자에게 발의 정렬을 유지하라고 지시하며 정렬 유지는 5초간 수행, 5회 반복하였으며 반복 사이 30초의 휴식 시간을 가졌다. 정렬 유지 시 5초 동안 측정된 발의 내·외재근 근활성도 평균 값과 안쪽 세로활 각도는 데이터 분석을 위해 사용되어 졌다. 이어서 대상자들은 앉은 상태에서 올바른 쏠 풋 운동방법과 보상작용에 관한 내용이 포함 된 영상을 시청한 후 검사자에게 쏠 풋 운동방법을 구두로 교육 받았다. 구두 교육 사항으로 대상자는 첫 번째 발허리뼈의 머리와 발꿈치는 바닥과 접촉한 상태로 발가락의 굽힘 혹은 발등 굽힘없이 발을 앞 뒤 방향으로 모아라고 지시 받았으며 검사자는 대상자가 올바르게 쏠 풋 운동을 수행하는지 지속적으로 관찰하였다. 실험군은 모니터를 통한 근 활성도 그래프와 비프음을 실시간으로 확인하며 쏠 풋 운동을 수행하였다. 운동 시 엄지벌림근의 근활성도 값을 역치값 이상으로 5초 동안 유지하였으며 운동 간 10초의 휴식 시간을 가졌고, 총 15분간 쏠 풋 운동을 수행하였다. 대조군은 실시간 바이오피드백 정보를 제외한 모든 교육 및 지시를 실험군과 동일하게 받았다. 촉각으로 얻는 바이오피드백 정보를 배제시키기 위해 두 그룹의 모든 대상자는 쏠 풋 운동

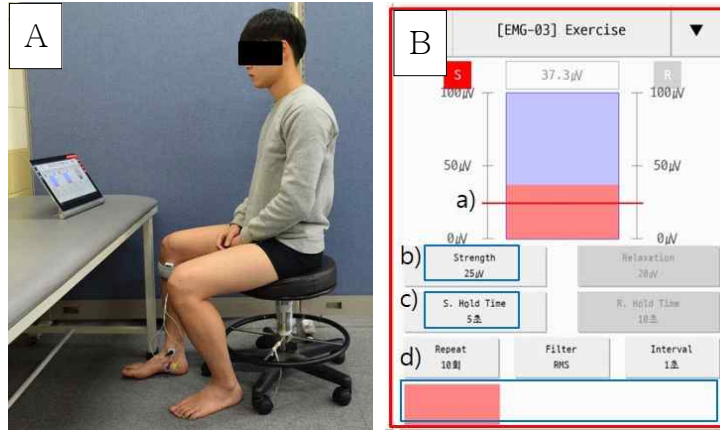


Figure 2. A: short foot exercise with electromyography biofeedback, B: biofeedback monitor display (a: threshold line, b: threshold level, c: hold time, d: exercise duration).

동안 본인의 발을 축진하지 못하도록 지시받았다. 숏 풋 운동 후 두 그룹의 모든 대상자는 숏 풋 운동 전 안쪽 세로할 유지 시 나타나는 각도 및 근활성도를 측정된 방법과 동일하게 재측정 받았다.

ysis of variance)을 사용 하였으며 유의한 상호작용 혹은 주효과(main effect)가 나타날 경우 본페로니(Bonfferoni) 방법을 사용하여 사후분석을 수행 하였다. 통계적 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

4. 분석방법

데이터 분석을 위해 PASW ver. 21.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하였다. 실험군과 대조군 사이 대상자 특성과 숏 풋 운동 수행 전 결과 값을 분석하기 위해 독립표본 t-검정(independent t-test)을 사용하였다. 그룹(실험군, 대조군)과 시간(숏 풋 운동 수행 전, 후) 사이의 상호작용과 주효과를 알아보기 위해 반복 측정 이요인 분산분석(repeated measured 2-way anal-

III. 결과

두 그룹 대상자의 신체적 특성과 중재 전 측정 변수의 평균값은 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 1, 2).

1. 엄지벌림근 근활성도

엄지벌림근 근활성도에서 그룹과 시간 사이의 유의

Table 1. Demographics characteristics of participants

(N=26)

Variable	Biofeedback (n ₁ =13)	Non-biofeedback (n ₂ =13)	t	p
Age (year)	21.54±1.9 ^a	21.54±1.7	.000	1.000
Height (cm)	167.92±8.1	169.42±9.9	-.423	.676
Mass (kg)	63.85±10.1	68.85±16.2	-.945	.354

^amean±standard deviation.

Table 2. Outcome measure data at baseline for both groups

(N=26)

Variable	Biofeedback (n ₁ =13)	Non-biofeedback (n ₂ =13)	t	p
AbdH ^a (%MVIC ^b)	35.63±18.11 ^c	36.50±17.00	-.127	.900
TA ^d (%MVIC)	15.37±10.14	12.96±9.45	.626	.537
AbdH/TA ratio	3.27±2.6	3.67±2.59	-.395	.696
Medial longitudinal arch (°)	140.67±5.65	141.16±8.00	-.181	.858

^aabductor hallucis, ^bmaximal voluntary isometric contraction, ^cmean±standard deviation, ^dtibialis anterior.

한 상호작용이 나타났으며 실험군에서 대조군보다 큰 근활성도 변화가 나타났다($p=.010$)(Table 5). 사후분석 시 실험군($p<.001$)과 대조군($p<.001$) 모두 중재 전에 비해 중재 후 유의하게 높은 엄지벌림근의 근활성도가 나타났다(Table 4).

2. 앞정강근 근활성도

앞정강근 근활성도에서 그룹과 시간 사이의 상호작용은 유의하게 나타나지 않았으며($p=.475$) 그룹에 따른 주효과도 유의한 차이를 나타내지 않았다($p=.598$)(Table 3). 시간에 따른 주효과($p=.008$)는 유의하게 나타났으며 사후분석 시 실험군($p=.037$)은 중재 전에 비해 중재 후 유의하게 낮은 앞정강근의 근활성도가 나타난 반면 대조군($p=.115$)은 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 4).

3. 엄지벌림근/앞정강근 근활성도 비율

엄지벌림근/앞정강근 근활성도 비율에서 그룹과 시간 사이의 유의한 상호작용이 나타났으며 실험군에서 대조군보다 큰 비율의 변화가 나타났다($p=.012$)(Table 5). 사후분석 시 실험군($p<.001$)과 대조군($p<.001$) 모두 중재 전에 비해 중재 후 유의하게 높은 근활성도 비율을 나타내었다(Table 4).

4. 안쪽세로활 각도

안쪽세로활 각도에서 그룹과 시간 사이의 상호작용은 유의한 차이를 나타내지 않았으며($p=.286$) 그룹에 따른 주효과도 유의한 차이를 나타내지 않았다($p=.755$)(Table 3). 시간에 따른 주효과($p=.039$)는 유의하게 나타났으며 사후분석 시 실험군($p=.014$)은 중재 전에 비해 중재 후

Table 3. Changes in outcome measure variables between pre- and post-exercise

	Time		Group		Time×Group	
	F	p	F	p	F	p
AbdH ^a (%MVIC ^b)	61.665	<.001*	1.314	.263	7.810	.010*
TA ^c (%MVIC)	8.384	.008*	.286	.598	.527	.475
AbdH/TA ratio	62.801	<.001*	.520	.478	7.469	.012*
Medial longitudinal arch (°)	4.763	.039*	.099	.755	1.192	.286

^aabductor hallucis, ^bmaximal voluntary isometric contraction, ^ctibialis anterior, * $p<.05$.

Table 4. Results of within-group comparisons

	Group	Pre-intervention	Post-intervention	p
AbdH ^a (%MVIC ^b)	Biofeedback	35.63±18.11 ^c	64.60±15.57	<.001*
	Non-biofeedback	36.50±17.00	50.26±15.14	<.001*
TA ^d (%MVIC)	Biofeedback gorup	15.37±10.14	9.16±1.85	.037*
	Non-biofeedback	12.96±9.45	9.24±1.90	.115
AbdH/TA ratio	Biofeedback gorup	3.27±2.61	7.36±2.45	<.001*
	Non-biofeedback	3.67±2.59	5.67±2.30	<.001*
Medial longitudinal arch (°)	Biofeedback gorup	140.67±5.65	139.54±6.06	.014*
	Non-biofeedback	141.16±8.00	140.79±8.19	.518

^aabductor hallucis, ^bmaximal voluntary isometric contraction, ^cmean±standard deviation, ^dtibialis anterior, * $p<.05$.

Table 5. Results of between-group comparison in the change value

(N=26)

Variable	Biofeedback (n ₁ =13)	Non-biofeedback (n ₂ =13)	p
AbdH ^a (%MVIC ^b)	28.97±17.32 ^c	13.76±9.23	.010*
TA ^d (%MVIC)	6.21±9.52	3.72±7.88	.475
AbdH/TA ratio	4.10±2.46	2.00±1.27	.012*
Medial longitudinal arch (°)	1.13±1.42	.38±2.03	.287

^aabductor hallucis, ^bmaximal voluntary isometric contraction, ^cmean±standard deviation, ^dtibialis anterior, * $p<.05$.

유의하게 낮은 안쪽세로활 각도를 나타낸 반면 대조군 ($p=.518$)은 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 4).

IV. 고찰

본 연구는 근전도 바이오피드백을 적용한 쏠 풋 운동이 발 내재근 및 외재근의 근활성도와 안쪽 세로활 유지에 미치는 영향을 비교한 연구이다. 본 연구를 통해 근전도 바이오피드백과 함께 쏠 풋 운동을 수행 할 경우 일반적인 쏠 풋 운동 보다 엄지벌림근의 근활성도를 더욱 촉진시키고 앞정강근의 보상작용을 억제하며, 안쪽 세로활 유지에 긍정적인 영향을 미친다는 결과를 알 수 있었다.

본 연구에서 쏠 풋 운동 교육 후, 안쪽세로활 유지 시 두 그룹 모두 엄지 벌림근의 근활성도는 유의하게 증가하였으며, 근전도 바이오피드백과 함께 쏠 풋 운동을 수행 한 그룹의 엄지벌림근 근활성도가 일반 쏠 풋 운동 그룹에 비해 더 높게 나타났다(중재 전·후에 따른 엄지벌림근 근활성도 변화량; 실험군: 28.97 %MVIC; 대조군: 13.76 %MVIC). 이전 연구에서 근전도 바이오 피드백을 운동과 함께 수행 할 경우, 특정 근육의 근활 성도가 더욱 촉진된다는 사실이 증명되었다(Ng 등, 2008). 이러한 이유로 실시간 바이오피드백 정보가 감각적 단서(sensory clue)와 운동 단위 동원(motor unit recruitment)의 통합을 유도 했기 때문에 근활성도 촉진이 나타났을 것이라 보고하였다(Ng 등, 2008). 또한 Holtermann 등(2010)은 근전도 바이오피드백을 이용하여 앞뿔니근의 선택적 수축 훈련을 수행하였고 훈련 후 7배 높은 앞뿔니근의 근활성도를 유도하였다. 이러한 이유로 근전도 바이오피드백 운동 방법이 운동 조절 학습을 촉진하였기에 앞뿔니근의 선택적 수축이 나타났다고 보고하였다(Holtermann 등, 2010). 그렇기에 본 연구에서 나타난 결과는 실험군의 대상자가 바이오피드백을 통한 시·청각적 정보를 이용하여 운동 수행 정도에 대해 자각하여 대조군에 비해 유의하게 높은 엄지벌림근의 활성도가 나타나게 된 것이라 사료된다.

본 연구 결과 바이오피드백과 함께 쏠 풋 운동을 수행한 그룹에서만 앞정강근 근활성도의 유의한 감소(6.21 %MVIC)를 나타내었다. 쏠 풋 운동은 일상생활에서 흔히 사용되지 않는 엄지벌림근을 수의적으로 활성화 시키는 운동으로써 훈련 시 많은 대상자들이 어려움

을 호소할 수 있다. 엄지벌림근은 안쪽 세로활을 지지하는 주동근으로써 협력근인 앞정강근과 함께 안쪽세로활을 지지한다(Murley 등, 2009). 그러나 협력근과 주동근은 함께 움직임에 동원되기 때문에 주동근의 불충분한 근활성도는 협력근의 불필요한 활성화를 유발할 수 있다(Chance-Larsen 등, 2010; Page 등, 2010). Lim 등(2014)의 연구는 어깨 바깥돌림 시 나타나는 뒤삼각근의 보상작용을 감소시키기 위해 근전도 바이오피드백을 적용하였으며 유의한 보상작용의 감소를 보고하였다. 해당 결과가 나타나게 된 근거로 시각적 근전도 바이오피드백 훈련은 비정상적인 근육의 활성화 패턴을 변화시키기 때문이라고 제시하였다(Holtermann 등, 2009; Holtermann 등, 2010). 이러한 운동 조절로 인해 본 연구에서 바이오 피드백 그룹에서만 앞정강근의 보상작용이 감소한 것으로 사료된다. 그러나 바이오피드백 그룹에서만 시간에 따른 앞정강근 근활성도의 유의한 차이가 있었음에도 불구하고 그룹간 앞정강근 근활성도의 유의한 차이는 나타나지 않았다. 이러한 이유로 중재 전 두 그룹 간의 앞정강근 근활성도 차이가 통계적으로 유의하지 않았음에도 불구하고 2.41 %MVIC의 평균값 차이를 나타내었으며, 바이오피드백 적용 시 앞정강근의 근활성도 감소 효과가 6.21 %MVIC임을 감안할 때 중재 전 기본값의 평균 차이 또한 잠재적 영향을 가진 하나의 변수로 작용했을 수 있다. 그로인해 그룹 간 유의한 앞정강근 근활성도의 차이가 나타나지 않았다고 판단된다.

본 연구에서 발의 내재근인 엄지벌림근의 상대적인 근활성도는 발의 외재근인 앞정강근에 대한 비율로 나타났다. 본 연구 결과 엄지벌림근/앞정강근 근활성도 비율은 실험군과 대조군 모두 유의한 증가를 나타내었으며 바이오피드백과 함께 쏠 풋 운동을 수행한 그룹에서 더 큰 근활성도 비율의 증가가 나타났다(중재 전·후에 따른 엄지벌림근/앞정강근 근활성도 비율 변화량; 실험군: 4.07, 대조군: 2.00). Huang 등(2013)의 연구는 어깨 충돌 증후군 환자를 대상으로 근전도 바이오피드백 유무에 따른 3가지 운동을 수행하였으며 어깨 근육 사이의 근활성도 비율의 향상을 보고하였다. 이러한 이유로 대상자들은 근전도 바이오피드백을 통해 선택적으로 특정 근육의 근활성도를 증가 혹은 감소시킬 수 있기 때문이라 보고하였다(Huang 등, 2013). 본 연구 결과를 토대로 판단 해 볼 때, 바이오피드백 그룹에서 엄지벌림근 활성도의 더 높은 촉진, 앞정강근의 활성화 감소로 인해 근활성도 비율의 증가가 크게 나타날 수 있다고 사료된

다. 종합해 볼 때 바이오피드백과 함께 운동을 수행할 경우 선택적 근육의 조절 능력이 향상 가능하며, 그로인하여 실험군의 엄지벌림근/앞정강근의 근활성도 비율에서 큰 수준의 증가가 나타났다고 사료된다.

안쪽세로활 각도 분석은 발꿈치뼈와 발배뼈를 이은 선, 발배뼈와 첫 번째 발허리뼈의 머리를 이은 선 사이의 각도를 기준으로 측정하였기에 측정 각도의 감소는 안쪽세로활의 증가를 의미하게 된다. Fiolkowski 등 (2003)의 연구는 정강 신경(tibial nerve)에 리도카인(lidocaine)을 투여하여 엄지벌림근을 지배하는 안쪽 발바닥 신경(medial plantar nerve)과 가쪽 발바닥 신경(lateral plantar nerve)을 일시적으로 차단하였을 때 엄지벌림근의 근활성도가 26.8% 감소되며, 발배뼈 떨어짐 검사에서 바닥에 대한 발배뼈 떨어짐 수치가 3.8 mm 증가함을 보고하였다. 이전 연구의 결과를 통해 엄지 벌림근은 안쪽 세로활 유지에 중요한 역할을 한다는 사실을 알 수 있으며 본 연구 결과 실험군에서 엄지벌림근의 활성도가 유의하게 향상 하였기에 안쪽 세로활 각도의 유의한 향상이 나타났을 것이라 사료된다. 실험군 뿐 아니라 대조군에서도 엄지벌림근의 유의한 향상이 있었으나 대조군은 안쪽 세로활에서 유의한 차이를 나타내지 않았다. 이러한 이유는 본 연구에서 선정한 대상자가 정상적인 발의 정렬을 가지고 있기 때문에 엄지벌림근의 증가가 나타나더라도 안쪽세로활의 변화는 크지 않을 것이라 사료된다. 그러므로 비교적 적은 엄지벌림근의 근활성도 증가가 나타난 대조군에서는 안쪽 세로활 각도의 유의한 차이가 없었으며 엄지벌림근의 근활성도 증가가 더 크게 나타난 실험군에서만 안쪽 세로활 각도의 유의한 차이가 나타난 것으로 사료된다.

본 연구에 참여한 대상자는 정상적인 발의 정렬을 갖고 있었으나, 15분의 짧은 근전도 바이오피드백 훈련은 기존의 쏘 푯 운동보다 체중지지 자세 동안 안쪽 세로활 유지 능력에 더욱 효과적이라는 결과가 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 추측 해 볼 때 체중지지 자세 동안 안쪽 세로활이 무너지는 평발을 가진 대상자에게 근전도 바이오피드백을 결합한 쏘 푯 운동을 실시 한다면 운동의 효과가 극명히 나타날 것이라 사료된다. 본 연구의 결과를 종합 해 볼 때 단시간 동안의 근전도 바이오피드백을 결합한 쏘 푯 운동을 통해 대상자는 정확한 운동 방법을 학습 할 수 있으며, 체중지지 자세 동안 안쪽 세로활 유지에 긍정적인 영향을 받을 수 있다고 판단된다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫 번째, 표면 근전도의 특성상 상대적으로 심부에 위치한 발의 내재근 및 외재근의 활성도를 측정하지 못하였고 그로인해 본 연구에서는 표층에 위치한 앞정강근의 보상작용만을 관찰할 수 있었다. 두 번째로 짧은 훈련 기간으로 인하여 장기간 바이오피드백을 결합한 쏘 푯 운동을 수행 할 경우 나타나는 생체학적 변화를 본 연구를 통해서 판단하기는 어려울 것이다. 마지막으로 본 연구는 바이오피드백을 접목한 쏘 푯 운동 시 근전도 바이오피드백으로 인한 효과를 검증하기 위해 우선적으로 정상적인 발의 정렬을 가진 대상자(발배뼈 떨어짐 검사 시 발배뼈 떨어짐이 5~9 mm 이내인 자)를 선정하여 실험을 진행하였다. 본 연구를 통해 바이오피드백의 효과를 검증하였으므로 추후 연구에서는 발의 부정렬을 가진 대상자에게 바이오피드백을 적용한 쏘 푯 운동의 효과를 비교하는 연구를 수행해야 한다고 사료된다. 그러므로 추후 연구들은 이러한 제한점을 보완하여 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

V. 결론

본 연구는 정상적인 발의 정렬을 가진 대상자 26명을 무작위로 근전도 바이오피드백과 함께 쏘 푯 운동을 수행한 그룹 및 쏘 푯 운동만 수행한 그룹으로 분류하여 쏘 푯 운동 수행 전 후의 안쪽세로활 각도 유지능력과 발의 내재근 및 외재근의 근활성도를 비교하였다. 그 결과 바이오피드백 그룹에서 엄지벌림근의 근활성도와 엄지벌림근/앞정강근 비율이 비바이오피드백 그룹에 비해 더 높은 유의한 향상을 나타냈으며 앞정강근의 보상작용 감소와 안쪽세로활 각도의 유의한 향상이 나타났다. 이는 근전도 바이오피드백을 결합한 쏘 푯 운동은 일반적인 쏘 푯 운동에 비해 안쪽세로활 향상을 위한 접근방법으로 더욱 효과적이라는 사실을 제시한다. 따라서 발의 안쪽세로활 향상을 위한 증재 적용 시 근전도 바이오피드백 방법을 결합한 쏘 푯 운동을 추천할 수 있다.

References

Arinci Incel N, Genç H, Erdem HR, et al. Muscle

- imbalance in hallux valgus: An electromyographic study. *Am J Phys Med Rehabil.* 2003;82(5):345-349.
- Bandholm T, Boysen L, Haugaard S, et al. Foot medial longitudinal-arch deformation during quiet standing and gait in subjects with medial tibial stress syndrome. *J Foot Ankle Surg.* 2008;47(2):89-95. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2007.10.015>
- Bishop C, Arnold JB, May T. Effects of taping and orthoses on foot biomechanics in adults with flat-arched feet. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(4):689-696. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000807>
- Chance-Larsen K, Littlewood C, Garth A. Prone hip extension with lower abdominal hollowing improves the relative timing of gluteus maximus activation in relation to biceps femoris. *Man Ther.* 2010;15(1):61-65. <https://doi.org/10.1016/j.math.2009.07.001>
- Chen YC, Lou SZ, Huang CY, et al. Effects of foot orthoses on gait patterns of flat feet patients. *Clinical Biomech (Bristol, Avon).* 2010;25(3):265-270. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2009.11.007>
- Cobb SC, James CR, Hjertstedt M, et al. A digital photographic measurement method for quantifying foot posture: Validity, reliability, and descriptive data. *J Athl Train.* 2011;46(1):20-30. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-46.1.20>
- 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):41-46.
- Criswell E. *Cram's Introduction to Surface Electromyography.* 2nd ed. Sudbury, MA, Jones & Barlett Publishers. 2010:371-373.
- Dursun N, Dursun E, Kiliç Z. Electromyographic biofeedback-controlled exercise versus conservative care for patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(12):1692-1695.
- Escalona-Marfil C, McPoil TG, Mellor R, et al. A radiographic and anthropometric study of the effect of a contoured sandal and foot orthosis on supporting the medial longitudinal arch. *J Foot Ankle Res.* 2014;7(1):38. <https://doi.org/10.1186/s13047-014-0038-5>
- Fiolkowski P, Brunt D, Bishop M, et al. Intrinsic pedal musculature support of the medial longitudinal arch: An electromyography study. *J Foot Ankle Surg.* 2003;42(6):327-333.
- Giggins OM, Persson UM, Caulfield B. Biofeedback in rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil.* 2013;18(10):60. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-60>
- Holtermann A, Mork PJ, Andersen LL, et al. The use of EMG biofeedback for learning of selective activation of intra-muscular parts within the serratus anterior muscle: A novel approach for rehabilitation of scapular muscle imbalance. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010;20(2):359-365. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2009.02.009>
- Holtermann A, Roeleveld K, Mork PJ, et al. Selective activation of neuromuscular compartments within the human trapezius muscle. *J Electromyogr Kinesiol.* 2009;19(5):896-902. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2008.04.016>
- Huang HY, Lin JJ, Guo YL, et al. EMG biofeedback effectiveness to alter muscle activity pattern and scapular kinematics in subjects with and without shoulder impingement. *J Electromyogr Kinesiol.* 2013;23(1):267-274. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.09.007>
- Jung DY, Kim MH, Koh EK, et al. A comparison in the muscle activity of the abductor hallucis and the medial longitudinal arch angle during toe curl and short foot exercises. *Phys Ther Sport.* 2011a;12(1):30-35. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2010.08.001>
- 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.* 2011b;24(4):225-231. <https://doi.org/10.3233/BMR-2011-0299>
- Kendall FP, McCreary EK, Provance PG, et al. *Muscles; Testing and function with posture and*

- pain. 5th ed. Baltimore, Lippincott Williams & Wilkins, 2005:400.
- 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):809-815.
- Lim OB, Kim JA, Song SJ, et al. Effect of selective muscle training using visual EMG biofeedback on infraspinatus and posterior deltoid. *J Hum Kinet.* 2014;30(44):83-90. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0113>
- Mulligan EP, Cook PG. Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. *Man Ther.* 2013;18(5):425-430. <https://doi.org/10.1016/j.math.2013.02.007>
- Murley GS, Landorf KB, Menz HB, et al. Effect of foot posture, foot orthoses and footwear on lower limb muscle activity during walking and running: A systematic review. *Gait Posture.* 2009;29(2):172-187. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.08.015>
- Neumann DA. Foot and ankle. In: Neumann DA ed. *Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for rehabilitation.* 2nd ed. St. Louis, Mosby, 2009.
- Ng GY, Zhang AQ, Li CK. Biofeedback exercise improved the EMG activity ratio of the medial and lateral vasti muscles in subjects with patellofemoral pain syndrome. *J Electromyogr Kinesiol.* 2008;18(1):128-133.
- Page P, Frank C, Lardner R. *Assessment and Treatment of Muscle Imbalance: The Janda approach.* 1st ed. Champaign, IL, Human Kinetics, 2010:5-11.
- Pinney SJ, Lin SS. Current concept review: Acquired adult flatfoot deformity. *Foot Ankle Int.* 2006;27(1):66-75.
- Razeghi M, Batt ME. Foot type classification: A critical review of current methods. *Gait Posture.* 2002;15(3):282-291.
- Van Boerum DH, Sangeorzan BJ. Biomechanics and pathophysiology of flat foot. *Foot Ankle Clin.* 2003;8(3):419-430.
- Vieira TM, Baudry S, Botter A. Young, healthy subjects can reduce the activity of calf muscles when provided with EMG biofeedback in upright stance. *Front Physiol.* 2016;29(7):158. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00158>
- Wong YS. Influence of the abductor hallucis muscle on the medial arch of the foot: A kinematic and anatomical cadaver study. *Foot Ankle Int.* 2007;28(5):617-620.
-
-
- This article was received December 1, 2016, was reviewed December 1, 2016, and was accepted January 2, 2017.