

The Effects of Short Foot Exercise on Muscle Activity and Balance in Young Adults with Chronic Ankle Instability

Mingyun Ko^{a*} 

^aDepartment of Physical Therapy, Gwangju Health University, Gwangju, Republic of Korea

Objective: This study aimed to investigate the effects of short foot exercise (SFE) on muscle activity of the abductor hallucis muscle and static balance of young adults with mild chronic ankle instability (CAI) and to provide basic data on CAI treatment and intervention.

Design: A randomized controlled trial.

Methods: A total of 30 young adults with mild chronic ankle instability participated in the study. The participants were randomized to the SFE group (n = 15), and the control group (n = 15). The method of short foot exercise draws the head of metatarsal putted to the floor, and toward the heel. and then, by contracting and maintaining the intrinsic muscles of the foot for 5, 10, and 15 seconds.

The intervention was applied to the SFE group 5 times a week during the 2 weeks and conducted for 25 minutes a day. In one session, 4 sets were executed according to 3 types of muscle contraction maintenance time. All subjects were measured for muscle activity and static balance at before-after the intervention.

Results: In the comparison within the groups, the SFE group was significantly difference in muscle activity of the abductor hallucis muscle and static balance ($p < 0.05$). In the comparison between the groups, the SFE group was significantly difference from the control group in muscle activity and static balance ($p < 0.05$).

Conclusions: SFE was an effective method for mild CAI on muscle activity and static balance. It can be used for non-surgical intervention in mild CAI as basic data and intervention programs.

Key Words: Chronic, Ankle, Instability, Foot, Exercise

서론

발은 인체 하중의 지지 및 체중 이동과 자세 유지 등의 중요한 역할을 하지만, 복잡하고 독특한 해부학적 구조로 인하여 근육뼈대계통 질환을 유발할 가능성이 높다. 발목관절 뻘(sprain)은 가장 일반적인 근육뼈대계통 손상 중 하나로서 발목부위 손상의 76.7%를 차지한다 [1-2]. 급성 발목관절 뻘 환자들의 10~50%는 재손상 및 지속적인 통증 등으로 인해 만성 발목관절 뻘으로 전환되며, 이러한 환자들의 70~80%는 반복적인 발목 손상의 원인이 되는 만성적 발목관절 불안정성(Chronic ankle instability, CAI)에 놓이게 된다[3-5].

CAI는 발목관절이 휘청거리는 느낌(giving way) 및

통증, 부종, 재발성 뻘, 근력 상실, 관절가동범위의 감소와 관절조절능력 저하, 관절과 연골 부위의 퇴행성 변화를 유발하며[5-7], 발목 부위의 고유수용성 감각 저하와 근육들의 근력 저하로 인해 자세조절 및 균형 능력을 감소시킨다[7-9]. 또한, CAI는 발의 내재근(foot intrinsic muscle) 위축과 근활성화의 결핍을 유발하며, 엄지 및 다른 발가락의 근력과 발바닥의 피부 민감도를 감소시킴으로써 국소적인 발의 안정성 및 감각 입력을 약화시켜 자세조절을 어렵게 만든다[10]. 이러한 CAI를 평가하기 위해서는 총 9개 항목과 41개 문항으로 구성되어 있는 발목관절 불안정성 척도(Cumberland Ankle Instability Tool, CAIT)를 사용하며, CAIT는 높은 신뢰도(ICC = .96)와 타당도(Cronbach's $\alpha = .83$)를 가지고

Received: Dec 15, 2023 Revised: Dec 20, 2023 Accepted: Dec 26, 2023

Corresponding author: Mingyun Ko (ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8058-4138>)

Department of Physical Therapy, Gwangju Health University, 73, Bungmun-daero 419beon-gil, Gwangsan-gu, Gwangju, Republic of Korea.

Tel: +82-62-958-7762 Fax: +82-62-958-7768 E-mail: mgko@ghu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

Copyright © 2023 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

있다[11]. CAIT의 점수 범위는 0~30점으로서 점수 분포에 따라 0~10점을 중증도 불안정성 단계, 10.5~21점을 중등도 불안정성단계, 21.5~24점을 경도 불안정성단계, 24.5~27점을 최소 불안정성 단계, 27.5~30점을 정상 단계로 구분하였고 점수가 높을수록 안정성이 높다[12].

중등도에서 최소 발안정성의 CAI의 일반적인 비수술적 치료로는 보조기, 테이핑, 발목운동, 고유수용성감각 운동 등의 치료 등이 있고, 발 내재근의 강화 및 안쪽 세로아치의 높이를 증가시키기 위한 중재로는 단축발 운동(short-foot exercise, SFE), 발가락 벌리기 운동, 타월감기(towel-curl) 등이 있으며, 최근에는 임상에서 SFE를 많이 사용하고 있다[13-15].

발 내재근은 발의 안정화 및 보행 시 신체 균형에 영향을 주는 기능적 근육으로서[15-16], 발내재근 중 엄지벌림근은 체중지지 시에 안쪽 세로아치의 안정성에 관여하고 보행 시 발가락 떼기 및 목말밑관절의 옆침을 조절하는데 중요한 역할을 하며, 엄지벌림근의 약화 및 기능장애는 신체 균형 조절에 영향을 줄 수 있다[17-18]. 이러한 발 내재근을 강화하고 엄지벌림근을 활성화하며, 발의 고유수용성 감각 및 자세 안정성을 향상시키기 위한 효과적인 방법이 SFE이다[19-22].

하지만, 경도 불안정성 단계의 CAI를 가지고 있는 젊은 성인에게 있어서 SFE를 활용한 발 내재근의근활성도 및 정적균형에 관한 효과의 검증은 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 SFE가 경도의 CAI를 가지고 있는 젊은 성인의 엄지벌림근근활성도 및 정적균형에 미치는 영향을 알아보고, CAI치료 및 중재에 관한 기초자료를 제공하고자 한다.

연구 방법

연구 대상

본 연구는 광주광역시 소재의 G 대학교에 재학 중인 경도의 CAI를 가진 성인 대상으로 37명을 모집하였다. 자발적 참여 의사를 밝힌 37명 중 선정조건을 충족하지 못한 7명(발목 관절 수술: 4명, 약물 복용: 3명)을 제외한 총30명을 대상으로 연구를 진행하였다.

연구 대상자의 선정 기준으로는 CAIT 21.5~24점 사이인 경도 불안정성인 자, 최소 2회 이상 동일 발목에 대해 뺨의 경험이 있는 자, 6개월 이내에 휘청거림이나 발목이 빠지는 느낌을 경험한 자로 하였다. 제외 기준으로 현재 발목 관절의 부상으로 인해 항염증제와 같은 약물 복용 및 투약중인 있는 자, 최근 1년 이내 발목 관

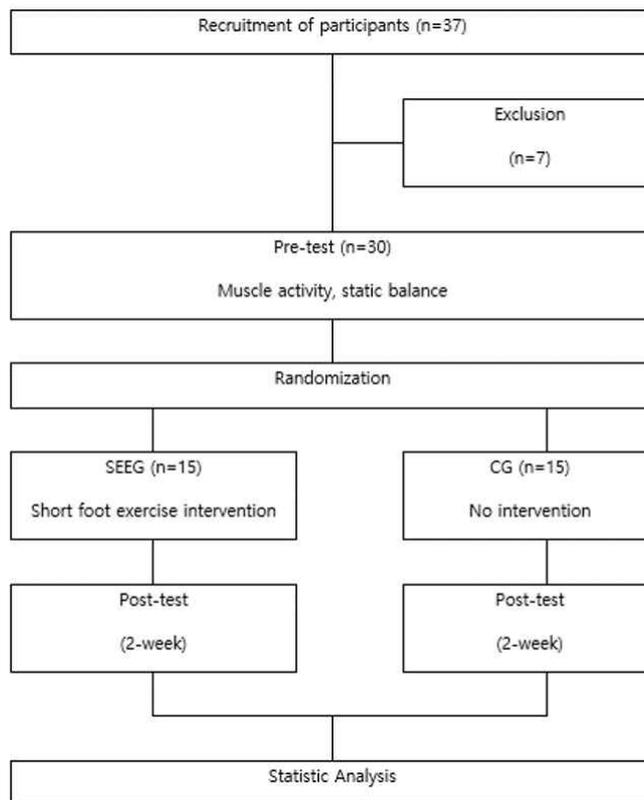


Figure 1. study procedure flowchart

Table 1. SFE intervention

	Position	muscle contraction time	exercises Xset
1st week	sitting	5 s	3 X 4
		10 s	3 X 4
		15 s	2 X 4
2nd week	standing	5 s	3 X 4
		10 s	3 X 4
		15 s	2 X 4

절에 정형외과적 수술 경험이 있는 자. 6개월 이내에 이와 유사한 연구에 참여한 자는 제외하였다.

모든 대상자들에게 본 연구의 목적과 방법에 대해 충분히 설명한 후, 자발적으로 연구 참여를 희망한 대상자에 한하여 연구 참여 동의서에 날인하고 연구에 참여하도록 하였다.

연구 절차

본 연구는 경도의CAI를 가진 젊은 성인들에게 비수술적 치료인 SFE의 효과성을 확인하는 실험 연구로, 두 집단 사전-사후 설계 방법을 사용하였다.

본 연구의 표본의 크기 결정하기 위해 G-Power 프로그램(G-Power 3.0, IBM Inc., USA)을 사용하였다.표본 크기의 계산을 위해 유의수준(α)은 0.05, 검정력($1-\beta$)는 0.8, 효과크기(d)는 예비실험의결과값인 0.46으로 선정하였다.각 군당 최소 12명이 필요하였으며,10% 이상의 탈락율을 고려하여 각 군당 15명씩 배정하였다.선정된 30명의 대상자들에 대해 선정편견의 최소화를 위해 무작위 추출하여 두 군으로 분류하였으며, 중재방법에 따라 SFE 군($n_1 = 15$), 대조군($n_2 = 15$)으로 구분하여 2주간 진행하였다.

SFE 군은 2주 동안 일주일에 5번 실시하였으며, 1회 중재 시 3종류의 근수축 유지 시간에 따라 4세트씩 실행하여 총 25분 정도 진행하였다. 근피로를 예방하기 위하여 세트 간 1분의 휴식 시간을 두었다. 대조군은 어떠한 중재도 적용하지 않았다. 30명의 대상자들에 대한사전·사후검사로 발 내재근중엄지벌림근의 근활성도 및 정적균형을측정하였다. 본 연구의 절차는 다음과 같다 (Figure 1).

중재 방법

SFE 중재

선행 연구를 바탕으로 SFE 중재를 설계하였다[23]. 발가락의 굽힘이나 과도한 폼 없이 발허리뼈 머리를 바

닥에 붙인 채로 발꿈치 쪽으로 끌어당겨 발의 내재근을 5초, 10초, 15초간 수축하여 유지함으로써 안쪽 세로아치를 증가시키고 발 길이를 단축시킨다. SFE 중재에 대한 방법은 다음과 같이 시행하였다(Table 1).

1주차는 의자에 바로 앉은 자세에서 시행하였으며, 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절이 대략 90°의 상태를 유지하였다(Figure 2). 2주차는 어깨 넓이로 다리를 벌린 상태에서 양 팔을 편하게 넓다리 가쪽에 놓고, 양발로서 있는 자세로 시행하였다(Figure 3). 자세를 유지할 때 치료사는 정확한 자세를 만들어 주고 보상 작용이 나타나지 않도록 대상자가 버티게 하였으며, 보상 작용이 보일 경우에는 대상자에게 발목 고정 테이핑을 적용하여 정확하게 실시하도록 하였다.

측정방법 및 도구

엄지벌림근의 근활성도 측정



Figure 2. a short foot exercise at a sitting position



Figure 3. a short foot exercise at a standing position

발 내재근 중엄지별립근의 근활성도를 측정하기 위하여 표면근전도(BTS FreeEMG 300, BTS, Italy)을 이용하였다. 표면근전도의 급내 상관계수는 ICC=0.83~0.94로 높은 신뢰도를 보였다[24]. 측정된 데이터는 Myolab(Myolab, BTS, Italy)를 통해 처리 및 분석하였다. 근전도 신호를 얻기 위한 표본수집율은 1024 Hz이며, 20~450 Hz 영역에서 대역통과(bandpass) 필터링하고 완파정류를 거친 후 RMS(root mean square)처리하였다. 7초간 엄지별립근의 최대 근수축을 유지하는 동안의 시작과 마지막 2초를 제외한 최대 수축 데이터를 %MVIC로 정규화하였다.

전극을 부착하기 전 면도기로 털을 제거하고 알코올로 피부를 닦고 건조시켜서 저항을 최소화하였다. 동일 부위 측정을 위해 인체에 무해한 마커펜으로 표시하고, 표시가 흐릿해지는 경우에는 마커펜으로 재표시하도록 하였다. 엄지별립근의 근활성도를 측정하고자 발배뼈 결절 뒤쪽 약 1~2cm 가상의 선 앞쪽과 안쪽 복사뼈의 앞쪽 가장자리 부위에 전극을 부착하였다[25]. 총 3회를

측정하여 평균값을 사용하였으며, 근피로를 방지하기 위해 측정 사이에 3분의 휴식 시간을 두었다.

정적균형측정

정적균형을 검사하기 위하여 정적으로 기립시 가해지는 압력을 측정하기 위해 Pedoscan (Pedoscan, DIERS, Germany)을 사용하였다. Pedoscan은 발판의 4096개의 센서들을 사용하여 정적 자세의 압력중심점(center of pressure)의 단계별 기록 정보를 통해 몸통 이동 속도 및 평균 압력, 앞·뒤와 왼쪽·오른쪽의 평균 압력과 압력중심점의 평균 이동거리(cm)를 측정할 수 있다. Pedoscan의 급내 상관계수가 ICC=0.75~0.86으로 높은 신뢰도를 보였다[26].

정적균형의 측정을 위하여 대상자의 정보를 입력한 후 대상자의 양 발을 패드 위에 표시된 위치에 발뒤꿈치를 맞추고, 대상자가 전방에 표시된 점을 10초 동안 움직임 없이 응시하는 상태에서 압력중심점의 앞·뒤 및 왼쪽·오른쪽의 평균 이동거리(cm)를 측정하였다. 이동거리가 짧을 수록 정적균형이 좋음을 나타내며, 총 3번을 측정하여 평균값을 사용하였다.

자료 분석

본 연구의 통계적학 분석은 SPSS(SPSS ver. 29.0, IBM, USA) 통계 프로그램을 이용하였다. Shapiro-Wilk 검정을 통해 모든 자료들이 정규 분포함을 확인하였다. 연구대상자의 일반적 특성은 기술통계를 사용하여 확인하였다. 중재에 따른 집단 전·후 비교를 위하여 대응표본 t검정을 실시하였으며, 집단 간 차이를 비교는 독립표본 t검정을 실시하여 확인하였다. 본 연구 자료의 통계학적 유의수준(α)은 0.05로 하였다.

연구 결과

연구대상자의 일반적 특성

연구에 참여한 30명의 대상자들 간 동질성을 분석한

Table 2. General characteristics of subjects

(N=30)

	SFEG (n=15)	CG (n=15)	t(p)
Age(years)	24.71±3.02 ^a	24.00±3.53	0.575(0.570)
Height(cm)	171.36±7.40	166.79±7.57	1.616(0.118)
Body Weight(kg)	68.71±13.29	66.93±17.73	0.302(0.765)

^aMean ± SD, SFEG: Short foot exercisegroup, CG: Controlgroup.

결과, 두 군에 대하여 동일한 군임을 확인하였다. SFEG 군은 평균 연령 24.71±3.02 세, 평균 신장 171.36±7.40 cm, 평균 체중 68.71±13.29kg이며, 대조군은 평균 연령 24.00±3.53 세, 평균 신장 166.79±7.57 cm, 평균 체중 66.93±17.73kg이다. 연구에 참여한 대상자의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 2).

근활성도에 대한 변화

2주간 중재 후, 각 중재에 따른 엄지발림근의 근활성도 변화는 다음과 같다(Table 3). 중재 전 엄지발림근의 근활성도는 SFEG군에서 64.76±13.59, 대조군에서 66.75±9.41로 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.657). 각 군의 중재 전·후의 대한 엄지발림근의 근활성도 변화를 살펴보면 SFEG 군에서는 64.76±13.59 %MVIC에서 56.31±16.75 %MVIC로 유의한 차이가 있었으며 (p<0.05). 대조군에 대한 중재 전·후의 근활성도 변화는 66.75±9.41 %MVIC에서 68.80±12.49 %MVIC로 유의한 차이가 없었다. 중재 후에 군 간의 근활성도 변화는 유의한 차이가 있었다(p<0.05).

정적균형에 대한 변화

2주간 중재 후, 각 중재에 따른 정적균형의 변화는 다음과 같다(Table 4). 중재 전 정적균형은 SFEG군에서 1.61±0.38, 대조군에서 1.80±0.85로 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.469) 각 군에 대한 중재 전·후의 정적균형에 대한 변화를 살펴보면 SFEG 군의 신체 전·후에 대한 정적균형은 1.61±0.38cm에서 1.41±0.33cm로 유의한 차이가 있었으며(p<0.05), 신체 좌·우에 대한 정적균형은 2.09±0.67 cm에서 1.41±0.33cm로 유의하게 감소하였다(p<0.05). 대조군에 대한 중재 전·후의 정적균형의 변화는 유의한 차이가 없었다. 중재 후 군 간의 정적균형의 차이를 살펴보면, 전·후 및 좌·우의 정적균형에서 유의한 차이가 있었다(p<0.05).

고찰

발은 신체 중에서 가장 아래에 위치하며, 체중 및 균형을 유지하고 지지하며 보행 등의 기능을 한다. 발목의 손상으로 인한 CAI는 발 내재근의 약화를 유발하여 균형조절의 감소에 영향을 미친다. 이에 본 연구에서는 경증의 CAI를 가진 성인들에게 SFEG를 중재하여 엄지발림근의 근활성도와 동적균형에 미치는 효과에 대해 알아

Table 3. Comparison of muscle activity [%MVIC] (N=30)

	SFEG (n=15)	CG (n=15)	t(p)
Pre	64.76±13.59 ^a	66.75±9.41	-0.450(0.657)
Post	56.31±16.75	68.80±12.49	
Post-pre	-8.45±9.10	2.06±6.04	-2.238(0.034*)
t(p)	3.478(0.008*)	-1.272(0.226)	

^aMean ± SD, * p<0.05, SFEG: Short foot exercisegroup, CG: Controlgroup.

Table 4. Comparison of static balance[cm] (N=30)

	SFEG (n=15)	CG (n=15)	t(p)	
front and back	Pre	1.61±0.38 ^a	1.80±0.85	0.736(0.469)
	Post	1.41±0.33	1.97±0.87	
	Post-pre	-0.20±0.24	0.18±0.49	2.275(0.031*)
	t(p)	3.135(0.008*)	-1.375(0.193)	
Left and right	Pre	2.09±0.67	2.27±0.85	0.620(0.541)
	Post	1.68±0.66	2.35±0.81	
	Post-pre	-0.41±0.45	0.08±0.23	2.386(0.025*)
	t(p)	3.466(0.004*)	-1.265(0.228)	

^aMean ± SD, * p<0.05, SFEG: Short foot exercisegroup, CG: Controlgroup.

보고자 연구를 진행하였다.

본 연구의 결과, SFE를 적용한 경도 CAI 군에서 엄지 발림근의 근활성도가 유의한 차이가 있었으며($p<0.05$), 전·후 및 좌·우에 대한 정적균형도 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 근활성도는 근력 강화와 관련이 있으며, 훈련 초기 2일부터 운동단위의 동원율 향상에 의한 신경계의 적응은 근력을 증가시키고, 단백질의 합성에 의한 속근섬유의 비대로 인해 운동 단위의 동원율을 향상시켜서 낮은 근활성도로 높은 근력을 유발한다[16,27-28]. 이에 SFE는 경도의 CAI를 가진 사람들의 신경계 적응을 유도하여 발 내재근의 속근섬유발달로 인해 엄지 발림근의 근력 강화되어 작은 운동 단위로도 충분히 근육이 활성화 됨으로써 근활성화가 유의하게 감소되었다고 생각된다.

CAI에 의한 발의 비정상적인 정렬 및 근육의 불균형은 신체의 안정성에 영향을 미친다. 이에 SFE는 발 내재근의 근 피로를 줄여 근지구력을 향상하고, 발바닥의 감각되먹임에 의해 체성 감각을 증진시켜며, 고유 수용성 감각에 영향을 미쳐 신경근을 조절 및 자세 안정성을 향상시킨다[15]. 또한, CAI에 의해 약화된 발 내재근과 엄지 발림근을 강화하여 안쪽 세로아치의 안정성에 유지하고 목발밑 관절의 과도한 옆침을 조절함으로써 균형이 향상된 것으로 생각된다.

Jung 등[29]은 20명의 정상인에게 SFE 중재를 적용하여 엄지 발림근의 근활성도 및 안쪽 세로아치의 각도가 향상되었다고 보고하였다. Lee 등[4]은 CAI 환자 30명을 대상으로 SFE 중재를 8주간 적용한 후 균형능력이 향상되었다고 보고하였으며, Lim [30]은 22명의 편평발을 가진 노인에게 6주 동안 SFE 중재 후에 보행 시의 좌·우균형능력이 증가했다고 보고하였다. 이러한 선행연구들의 결과는 경도의 CAI에 적용한 SFE 중재는 엄지 발림근의 근활성도의 증가와 함께 정적균형이 향상되었다는 본 연구를 뒷받침한다.

본 연구의 제한점은 2주라는 중재기간으로 충분한 중재 기간을 갖지 못하였으며, 대상자가 경도 CAI 및 20대로 제한되어 있다는 것이다. 이에 추후 연구에서는 충분한 중재 기간의 적용 및 다양한 CAI에 대한 SFE의 중재와 다양한 연령대의 대상자에 대한 후속 연구들이 추가적으로 필요하리라 생각된다.

결론

본 연구는 30명의 경도 CAI 동반한 성인을 대상으로 2주간 SFE 중재를 적용함으로써 엄지 발림근의 근활성도 및 정적균형에 미치는 효과를 알아보고자 하였다. 결

론적으로, SFE는 경도 CAI에 대해 엄지 발림근의 근활성도 및 정적균형을 향상시키는 유의한 결과를 얻었다. 이른 바탕으로 경도의 CAI 환자의 효율적인 비수술적 중재를 위해 SFE 중재의 적용을 제안한다.

Acknowledgement

본 연구는 2023년도 광주보건대학교 교내연구비의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2023008).

참고문헌

1. Lilley T, Herb CC, Hart J, Hertel J. Lower extremity joint coupling variability during gait in young adults with and without chronic ankle instability. *Sports Biomech.* 2018;17(2):261-272.
2. Herzog MM, Kerr ZY, Marshall SW, Wikstrom EA. Epidemiology of ankle sprains and chronic ankle instability. *J Athl Train.* 2019;54(6): 603-610.
3. Raugust JD. The effect of functional ankle instability on peroneal reflex latency. *UAHSJ.* 2006;3:16-19.
4. Lee ES, Cho JC, Lee SW. Short-foot exercise promotes quantitative somatosensory function in ankle instability: a randomized controlled trial. *Med SciMonit.* 2019;25:618-626.
5. Hiller CE, Kilbreath SL, Refshauge KM. Chronic ankle instability: evolution of the model. *J Athl Train.* 2011;46(2):133-141.
6. Pak JY, Ahn YJ, Song YJ. A study on isokinetic strength and range of motion of low extremity in fin-swimming athletes with chronic ankle instability. *Journal of Sport and Leisure Studies.* 2012;50(2):835-844.
7. Gilbreath JP, Gaven SL, Van Lunen BL, Hoch MC. The effects of mobilization with movement on dorsiflexion range of motion, dynamic balance, and self-reported function in individuals with chronic ankle instability. *Man Ther.* 2014;19(2):152-157.
8. Hertel J. Functional instability following lateral ankle sprain. *Sports Med.* 2000;29:361-371.
9. Hertel J. Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *J Athl Train.* 2002;37(4):364-375.
10. Hoch MC, Hertel J, Gribble PA, Heebner NR,

- Hoch JM, Kosik KB, Fraser JJ, et al. Effects of foot intensive rehabilitation (FIRE) on clinical outcomes for patients with chronic ankle instability: a randomized controlled trial protocol. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2023;15(1):1-13.
11. Ko MG, Yu JH. The Effects of Neuromuscular Training of Ballet Dancers with Chronic Ankle Instability on Ankle Stability and Posture Control Ability. *P TRS.* 2022;11(4):585-590.
 12. Hiller CE, Refshauge KM, Bundy AC, Herbert RD, Kilbreath SL. The Cumberland ankle instability tool: a report of validity and reliability testing. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87(9):1235-1241.
 13. Ross SE, Linens SW, Wright CJ, Arnold BL. Balance assessments for predicting functional ankle instability and stable ankles. *Gait Posture.* 2011;34(4): 539-542.
 14. Petersen W, Rembitzki IV, Koppenburg AG, Ellermann A, Liebau C, Brüggemann GP, et al. Treatment of acute ankle ligament injuries: a systematic review. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013;133:1129-1141.
 15. Kim JH, Lee DJ, Lee ES. Effects of Intrinsic Foot Muscle Exercise on Dynamic Balance, Strength, and Vibration Threshold Sense in Persons with Ankle Instability. *PNF & Mov.* 2020;18(2):173-182.
 16. Neumann DA. *Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundation for Rehabilitation.* 2nd ed. St. Louis: Mosby; 2011.
 17. Headlee DL, Leonard JL, Hart JM, Ingersoll CD, Hertel J. Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop. *J Electromyogr Kinesiol.* 2008;18(3):420-425.
 18. Kelly LA, Kuitunen S, Racinais S, Cresswell AG. Recruitment of the plantar intrinsic foot muscles with increasing postural demand. *Clin Biomech.* 2012;27(1): 46-51.
 19. Anderson M, Barnum M. *Foundations of athletic training: Prevention, assessment, and management.* Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2021.
 20. Rothermel SA, Hale SA, Hertel J, Denegar CR. Effect of active foot positioning on the outcome of a balance training program. *Phys Ther Sport.* 2004;5(2):98-103.
 21. Liebson C. Self-help advice for the Clinician: sensory-motor training. *J Bodyw Mov Ther.* 2001;1(5) 21-27.
 22. Lynn K, Padilla A, Tsang KW. 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):327-333.
 23. Fraser JJ, Hertel J. Effects of a 4-week intrinsic foot muscle exercise program on motor function: a preliminary randomized control trial. *J Sport Rehabil.* 2019;28(4):339-349.
 24. Jang MH, Ahn SJ, Lee JW, Rhee MH, Chae D, Kim J, et al. (2018). Validity and reliability of the newly developed surface electromyography device for measuring muscle activity during voluntary isometric contraction. *Comput Math Methods Med.* 2018;29:4068493.
 25. Incel NA, Genc H, Erdem HR, Yorgancioglu ZR. Muscle imbalance in hallux valgus: an electromyographic study. *Am J Phys Med Rehabil.* 2003;82(5):345-349.
 26. Engkananuwat P, Kanlayanaphotporn R. Gluteus medius muscle strengthening exercise effects on medial longitudinal arch height in individuals with flexible flatfoot: a randomized controlled trial. *Journal of Exercise Rehabilitation* 2023;19(1):57-66.
 27. Gooding TM, Feger MA, Hart JM, Hertel J. Intrinsic foot muscle activation during specific exercises: a T2 time magnetic resonance imaging study. *J Athl Train.* 2016;51(8)644-650.
 28. Ko MG, Song CH. The Effects of Squat Exercise Using Elastic Bands on Muscle Activity, Arabesque Angle, and Static Balance during Arabesque Posture in a Female Ballet Dancer. *P TRS.* 2022; 11(2):172-180.
 29. Jung DY, Kim MH, Koh EK, Kwon OY, Cynn HS, Lee WH. 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.* 2011;12(1):30-35.
 30. Lim TH. *The effects of short foot exercise on ankle strength, static and dynamic balance control on flat foot elderly.* Seoul: Korea University; 2017.