

발목 감각-운동과 엉덩 관절 근력 강화 통합 훈련 프로그램이 기능적 발목 불안정성 대상자의 정적균형과 동적 균형 및 근력에 미치는 영향

황종석 · 박순지^{1†} · 유경태^{2†}

영남대학교 생활과학연구소, ¹영남대학교 의류패션학과,
²남서울대학교 물리치료학과

Effects of Ankle Sensorimotor Training Program Combined with Hip Strengthening Exercise on Muscle Strength, Static Balance, and Dynamic Balance in Individual with Functional Ankle Instability

Jongseok Hwang, PT, PhD · Soonjee Park, Ph.D^{1†} · Kyung-Tae Yoo, PT, PhD^{2†}

Institute of Human Ecology, Yeungnam University

¹Department of Clothing and Fashion, Yeungnam University

²Department of Physical Therapy, Namseoul University

Received: January 17 2022 / Revised: January 17 2022 / Accepted: February 6 2022

© 2022 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study examined the comparative effects of an ankle sensorimotor training program combined with hip strengthening exercise (ASTPCHSE) and ankle sensorimotor training program (ASTP) alone on muscle strength, static balance, and dynamic balance in individuals with functional ankle instability.

METHODS: Sixteen research participants with functional

ankle instability were enrolled in this study. The participants were divided randomly into the ankle sensory motor training program group and the ankle sensory motor training program combined with the hip strengthening exercise group. Each group performed a series of exercise programs two times per week for four weeks. The Cumberland ankle instability tool (CAIT) was used to measure the participants' functional ankle instability. A Balance trainer 4 was applied to assess the static and dynamic balance, and a Primus RS multimodal dynamometer was used to evaluate the muscle strength.

RESULTS: No significant differences in static balance, dynamic balance, and muscle strength were found between the ASTP and ASTPCHSE groups ($p > .05$). On the other hand, the dynamic balance and muscle strength improved in the ASTP and ASTPCHSE groups after the intervention ($p < .05$). The static balance was not enhanced in both groups after

†Corresponding Author : Soonjee Park, Kyung-Tae Yoo
taeyoo88@nsu.ac.kr, <http://orcid.org/0000-0002-2359-3692>
spark@yu.ac.kr, <http://orcid.org/0000-0001-7956-819X>

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.

the intervention ($p > .05$).

CONCLUSION: Ankle exercise and an ankle sensorimotor training program combined with hip strengthening exercise are effective in improving muscle strength and dynamic balance in individuals with ankle instability. On the other hand, there are no meaningful differences between ankle exercise and ankle and hip combined exercise.

Key Words: Ankle, Balance, Functional ankle instability, Hip, Sensorimotor training, Strengthening training, Muscle strength

I. 서 론

일생동안 사람은 80%가 발목 관절 손상의 경험하고, 발목관절은 근육과 인대등의 많은 연부조직들의 보강에도 불구하고 근골격계 손상이 가장 흔히 발생하는 관절이다. 스포츠 및 신체활동 중 발목관절의 안쪽 번짐 동작으로 매우 쉽게 상해에 노출되면서 정형외과적 급성 손상들 중에 높은 비율을 차지한다[1]. 발목 손상 중 발목 염좌의 비율은 75%로 거의 대부분을 차지하며, 이는 스포츠관련 손상의 10-30%로 매우 빈번하게 일어나는 일어난다[2]. 급성 발목 염좌는 내측 인대에 비해 상대적으로 외측 인대 지지 구조가 약하기 때문에 관절이 안쪽 번짐 된 상태가 자주 반복되거나 외부에 의한 외력으로 인한 손상에 노출되면서 외측부위 발목 염좌가 쉽게 발생된다. 이러한 발목의 염좌는 추가적인 인대 손상과 이차적으로 발목의 근력 불균형, 그리고 근육반응시간지연을 일으키고 발목의 자기 고유수용감각 부족을 통하여 최종적으로 발목의 기능적 불안정성을 야기시킨다[3]. 특히, 고유수용감각은 인대, 관절낭, 피부 및 근육의 역학적수용기로부터 오는 다양한 구심적 자극이며, 다양한 연구들에서 발목 관절의 기능적 불안정성을 해결하기위하여 위하여 고유수용 감각기능을 증진시켜야 한다고 주장하였다[2,22,26,28].

발목의 기능적 불안정성은 보행 패턴과도 연관성이 있으며, 엉덩 관절과 무릎 관절 등에도 영향을 미치게

된다[4]. Zampagni 등[5]은 만성적인 발목의 불안정성이 엉덩 관절에 작용하는 근육의 변화를 발생시킬 수 있다고 보고하였다. 엉덩 관절에 작용하는 근육 중 큰 볼기근과 중간 볼기근은 체중지지 동안 골반의 안정성을 제공하고 엉덩 관절의 움직임 조절에도 관여한다[6,7]. 발에 가해지는 외부나 내부의 여러 가지 요인으로 인해서 해부학적인 정렬이 바뀌게 되면 족관절만 아니라 무릎, 엉덩 관절, 척추의 역학적 관계가 비정상적으로 변화하게 된다. 하지 근육들 중 중간 볼기근은 보행시 입각기(stance phase) 동안 관상면에서 골반이 아래로 떨어지는 움직임을 예방하며[8], 서 있는 자세 혹은 보행 시 보행의 폭 조절과 함께 하지의 안정에 중요한 역할을 한다[9]. Konradsen 등[10]은 발목관절이 부상을 당하는 순간보다 발목 주변 근육 보호반응이 지연됨을 보고하며 발목관절의 반복적인 부상과 무너짐(giving way)의 예방을 위해서는 몸통근육과 볼기근의 활성을 고려해 보아야 한다고 하였으며, Beckman와 Buchanan[11]는 발목의 불안정성을 나타내는 환자들을 대상으로 EMG(electromyography) 분석을 실시한 결과, 신체의 자세 중심을 유지하는 엉덩 관절 굽힘근과 펴근 주변 근육의 활성이 감소되었다고 보고하였다. 또한, 급성 발목 손상이 있는 환자들은 보행시 엉덩 관절에서 중요한 역할을 유지하는 주동근과 길항근의 근활성도와 밀접한 연관성을 확인하는 이전 연구가 있었다. Khamis 등[12], Friel 등[13]은 안쪽 번짐 발목 염좌 후 동측 엉덩 관절 모음근과 펴근의 근력약화를 유발하며, Maria 등[14]은 발목 관절 불안정성으로 인해 엉덩 관절에 관여하는 근육의 근력 약화를 보고하였다.

큰 볼기근과 중간 볼기근의 근력 약화는 발목관절의 재손상을 유발할 수 있으며, 이로 인한 만성적인 발목 불안정성은 중간 볼기근의 근력을 더욱 약화시킬 수 있다. 따라서 발목관절의 안정성과 엉덩 관절의 근력은 신체활동과 정상 보행에 있어서 상호적으로 작용하는 중요한 요소라 할 수 있다[15]. 그러나 기존의 전통적인 발목 관절 염좌의 물리치료 및 재활운동은 관절가동범위, 고유수용성감각 증진 및 신경근 조절 회복과 민첩성 증진 운동 등으로 이루어진 프로그램이다[16]. 이처럼 발목관절의 불안정성에 관한 선행 연구들의 대부분이 발목관절 운동을 통한 하지 근력과 균형감각의 변화 양상에만 초점

Table 1. General Characteristics of the Subjects

Group	Ankle sensorimotor training program (n = 8)	Hip exercise group (n = 8)	p
Age (years)	22.50 ± 3.34	22.25 ± 3.37	.884
Sex (Male/Female)	3/5	3/5	1.000
Height (cm)	170.11 ± 8.83	166.68 ± 6.24	.387
Weight (kg)	66.45 ± 12.50	62.18 ± 8.42	.438
BMI (kg/m ²)	22.81 ± 2.61	22.29 ± 1.88	.660

이 맞추어져 있고, 엉덩 관절 운동으로 적용한 연구 및 이와 관련된 근력과 균형능력의 변화에 관련된 연구는 미비한 실정이다[16,17].

따라서 본 연구에서는 기능적 발목 불안정성을 가진 피험자를 대상으로 발목 감각-운동 훈련 프로그램 수행한 군(Ankle sensorimotor training program, ASTP)과 발목 운동과 발목 감각-운동과 엉덩 관절 근력 강화 통합 훈련 프로그램(Ankle sensorimotor training program combined with hip strengthening exercise, ASTPCHSE)을 수행한 군 간 정적 균형과 동적 균형과 근력에 미치는 효과를 알아보고자 한다. 더 효과적인 발목 안정성을 이끌어 내는 운동방향을 알아내어 향후 효과적인 물리치료의 기초 자료를 제시하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 연구기간

연구는 충청남도 N소재 대학교 남녀 대학생을 대상으로 본 연구의 설명 후, 연구의 목적과 과정에 대한 충분한 이해와 자발적인 참여 의사를 밝히고 동의서를 작성한 기능적 발목 불안정성을 가진 대상으로 선정하였다. 연구의 진행중 신체의 불편이나 통증의 발생시 대상자들의 자발적 의사표현을 통해 실험을 중단할 수 있는 부분도 설명하였다. 연구대상자의 선정 기준은 1) 나이 18이상 30 이하, 2) 기능적 발목 불안정성 척도 CAIT(Cumberland Ankle Instability Tool) 의 24점 이하, 3) 2번이상의 발목을 염좌의 경험 있으며 최근 6개월내 발목 염좌를 경험한 자이다. 제외 기준은 1) 발목 관절의 부종, 발적, 통증 같은 급성기 염좌 증상을 가진 자, 2) 항염증제와 같은

약물을 복용하고 있는 자, 3) 최근 1년 동안 발목 수술 경험이 있는 자, 4) 기타 심각한 발 질환이 있는 자, 5) 연구자의 지시 내용을 잘 이해할 수 없는 자이다. 선정된 24명은 편견효과를 최소화하기 위해 실험자가 ASTP군과 ASTPCHSE군 각각 12명씩 남녀 동일하게 무작위로 나누었다. 그러나 실험 기간동안 ASTP군과 ASTPCHSE군 각각 4명씩 탈락하여 최종적으로 ASTP군 8명, ASTPCHSE군 8명이 16명이 연구에 끝까지 참여하였다. 연구 대상자의 일반적 특성은 Table 1에 기술하였다.

2. 실험 방법 및 절차

1) 중재 방법

(1) 발목관절 감각-운동 훈련 프로그램(ASTP)

Higgins[18]에 의한 발목관절 감각-운동 훈련 동작을 한 발목관절에 집중된 감각-운동 훈련 프로그램 동작을 바탕으로 수정하여 적용하였다. 첫 번째 운동 동작은 엉덩 관절이 무릎 관절보다 높이 앉은 자세에서 기능적 발목 불안정성의 발로 워블 보드(wobble board on a single-leg in sitting)를 밟고 균형을 유지하는 동작을 하였다. 두 번째와 세 번째 운동 동작은 양손으로 월바(wall-bar)를 잡고 지지하면서 선 자세에서 기능적 발목 불안정성의 발로 워블 보드(single-leg in standing on a wobble board)와 보수 볼(single-leg in standing on a Bosu ball)을 밟고 균형을 유지하는 동작, 무릎관절을 펴고 앉은 자세에서 탄력밴드를 이용하여 발목관절 발등 굽힘과 발바닥 굽힘 대한 근력 운동을 각각 1분씩 3세트 로, 각 세트마다 2분 30초의 쉬는 시간 포함 20분 동안 실시하였다. 운동 전, 운동 후의 스트레칭을 각각 5분씩

Table 2. Ankle Sensorimotor Training Program

Exercise (min)		Program	Set
Warming-up (5)	Stretching exercise	Neck flexion and extension	1 set (1min / each exercise)
		Shoulder horizontal-flexion and horizontal extension	
Lumbar flexion-knee to chest			
Knee flexion and extension with partial lunge			
Ankle dorsiflexion and plantar flexion			
Main exercise (20)	Ankle sensorimotor training	Wobble board training in sitting position	3 sets (1min / each exercise), Rest 2 m 30 sec between sets
		Resistive ankle plantar flexion exercise with TheraBand	
		Single leg standing on a wobble board (hold on to wall bar with both hands)	
		Resistive ankle plantar flexion exercise with TheraBand	
		Single leg standing on a BOSU ball (hold on to wall bar with both hands)	
Cooling-down (5)	Stretching exercise	Neck flexion and extension	1 set (1min / each exercise)
		Shoulder horizontal-flexion and horizontal extension	
		Lumbar flexion-knee to chest	
		Knee flexion and extension with partial lunge	
		Ankle dorsiflexion and plantar flexion	

Table 3. Ankle Sensorimotor Training Program with Hip Strengthening Exercise

Exercise (min)		Program	Set
Warming-up (5)	Stretching exercise	Neck flexion and extension	1 set (1min / each exercise)
		Shoulder horizontal-flexion and horizontal extension	
		Lumbar flexion-knee to chest	
		Knee flexion and extension with partial lunge	
		Ankle dorsiflexion and plantar flexion	
Main exercise (20)	Ankle sensorimotor training	Wobble board training in sitting position	3 sets (30 Seconds / each exercise) Rest 2 m 30 sec between sets
		Resistive ankle plantar flexion exercise with TheraBand	
		Single leg standing on a wobble board (hold on to wall bar with both hands)	
		Resistive ankle plantar flexion exercise with TheraBand	
		Single leg standing on a BOSU ball (hold on to wall bar with both hands)	
	Hip strengthening exercise	Hip extension in quadruped posture	
		Hip external rotation in side lying	
		Bridge Exercise	
		Squat	
		Lunge	
Warming-up (5)	Stretching exercise	Neck flexion and extension	1 set (1min / each exercise)
		Shoulder horizontal-flexion and horizontal extension	
		Lumbar flexion-knee to chest	
		Knee flexion and extension with partial lunge	
		Ankle dorsiflexion and plantar flexion	

더하면 총 운동시간은 총 30분으로 하였고 주 3회 4주간 적용하였다(Table 2).

빈도는 ASTP군과 동일하게 30분씩 주 3회 4주간 적용하였다[19](Table 3).

(2) 발목 감각-운동과 엉덩 관절 근력 강화 통합 훈련 프로그램(ASPCHSE)

본 운동 프로그램은 발목관절 감각-운동 훈련 프로그램에 엉덩 강화 프로그램을 더하였다. 운동기간과

2) 연구 도구 및 측정 방법

(1) Cumberland 발목 불안정성 도구

본 연구를 시작할 때 불안정성 발목을 알아보기 위하여 Cumberland 발목 불안정성 도구(ICC2,1.96)를 사용

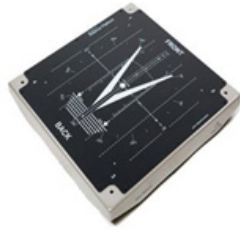


Fig. 1. Balance trainer 4.



Fig. 2. Primus RS multimodal dynamometer.

하였다. 9개의 질문으로 구성되어 있으며, 그 가운데 5문제는 3점부터 0점까지, 2문제는 4점부터 0점까지, 1문제는 5점부터 0점까지, 또 다른 1문제는 2점부터 0점으로 되어있다. 총점 30점 만점에서 28점 이상은 안정성 발목으로, 24점 이하는 불안정성 발목으로 정의하였다. 점수가 높을수록 정상에 가깝고 반대로 낮을수록 안정성이 떨어짐을 나타낸다[21,22].

(2) 밸런스 트레이너 4(Balance Trainer 4, BT4)

① 정적 안정성(Static balance)

피험자는 밸런스 트레이너 4(BT4, HUR, England) 위에 올라가 발 뒤꿈치의 간격을 2cm로 띄운다(Fig. 1). 양 발은 중심선을 기준으로 각각 15도씩 바깥쪽으로 향하게 위치하였다. 자세의 안정성을 확인하기 위하여 양 손은 허리에 고정된 후 바로 선 상태에서 정면을 주시하며 서 눈을 감은 상태와 눈을 뜬 상태에서 각각 30초간 수행하였다. 압력 중심점(Center of pressure, COP)으로 부터 이동거리(Trace length), 이동범위(Area)를 측정하여 실험군과 ASTP 군의 전 후를 비교를 하였다. 이동거리는 COP가 움직인 거리, 이동범위는 COP가 움직인 범위를 나타낸다. 이동거리(Trace length)와 이동범위의(Area) 수치가 클수록 균형이 저하됨을 나타낸다[22].

② 동적 안정성(Dynamic balance)

동적 균형능력은 프로그램(Smart suit 1.4)상의 ‘안정성 한계(Limit of stability)’ 검사방법을 사용하여 측정하였다. 측정 자세는 뒤꿈치 간격을 2cm, 양 발의 중심선을 기준으로 각각 15도씩 바깥쪽으로 향하게 하였으며 똑바로 선 자세에서 발은 지지면에, 양 손은 허리에

고정한 후 발목만 사용하여 몸을 앞쪽, 뒤쪽, 오른쪽 및 왼쪽 방향으로 체중을 최대한 기울인 자세를 8초간 유지하는 중에 COP의 최대 이동거리 값을 측정하여 실험군과 ASTP 군을 전 후 비교하였다[23,24]. 동적 안정성이 좋을수록 이동범위 값이 크고, 균형 능력이 나쁠수록 이동범위 값이 작음을 나타낸다.

③ 프라이머스 아레스 다모델 동력계(Primus RS multimodal dynamometer)

근력을 평가하기 위해 프라이머스 알레스 다모델 동력계(Primus RS multimodal dynamometer, BTE technologies, Hanover, Maryland)을 이용하여 발목과 엉덩 관절 주변 근육의 등척성 근력 테스트를 진행하였다(Fig. 2). 이 장비는 등척성 및 등장성 근력 평가 및 재활치료가 가능하며, 본 연구에서는 피험자들의 hip extension, hip abduction, dorsi flexion, plantar flexion, inversion, eversion 시 사용되는 근육의 근력을 isometric 모드를 이용해 평가하였다.

④ 세라밴드(Thera-band), 워블 보드(Wobble board), 보수 볼(Bosu ball)

세라밴드(Thera-band)는 치료목적으로 사용되는 고무밴드로 고무의 탄력을 이용하여 저항운동을 이끌어내는 도구이다. 관절의 위치에 따라 저항력이 변하므로 원위부에 위치한 발목관절의 저항운동으로 적합한 도구로 생각되어 사용하였다.

워블 보드(Wobble board)는 발목 및 무릎 부상 후 물리치료로 사용되는 밸런스 및 코어 강화 도구 중 하나이다. 본 연구에서는 발목 관절 주위 근력 강화 운동에

서 워블 보드 위에서 균형을 유지하도록 지시하여 운동을 진행하였다. 대상자들에게는 워블 보드 운동 시 주의사항과 도구의 효과에 대해 충분히 교육한 후 실시하였다.

보수볼(Bosu ball)은 지지면의 불안정성을 제공하여 균형훈련에 도움을 준다. 보수는 지름 65cm, 높이 30cm의 돔 형태로, 바닥 부분은 단단한 플라스틱 재질과 돔 부분은 천연고무 혼합재질로 되어 있어 균형 감각 훈련이나 저항훈련에 이용한다[18].

ASTPCHSE 군과 ASTP 군 모두 발목관절 감각-운동 훈련을 실시하였으며 ASTPCHSE 군은 엉덩 관절 근력 운동을 추가로 실시하였다. 주2회 4주간 진행되었으며 3주차부터 세트 수를 1회증가하여 운동의 강도를 점진적으로 증가하여 실시하였다. 모든 중재과정이 끝난 4주 후 동일하게 사후 측정하였다.

3. 분석 방법

본 실험을 통하여 수집된 자료는 SPSS ver. 22.0 프로그램(IBM Co., Armonk, NY, USA)을 사용하여 분석하였다. 중재 전 두 집단의 동질성확인을 위해 카이 제곱 검정을 실시하였다. 결과변수의 정규성 검정을 위해 Shapiro-Wilk 검정을 실시하였다. 정적 균형 변수는 정규성 가정을 만족하지 않아 비모수 분석을 사용하였다. 군간 비교는 만-휘트니 U 검정(Mann-Whitney U test)를 사용하여 분석하였고 군내 중재 전후 값은 윌콕슨 부호순위

검정 (Wilcoxon signed rank test)을 하였다. 그 외 동적 균형 변수와 근력 변수는 정규성 가정을 만족하여 모수 분석을 사용하였다. 군간 비교는 전후 값의 차를 독립표본 t 검정(Independent t-test)을 사용하여 분석하였고 군내 중재 전후 값은 짝표본 t 검정(Paired t-test)을 사용하였다. 통계학적 유의수준을 검증하기 위해 $\alpha = .05$ 로 하였다.

III. 연구결과

1. 근력(Muscle strength) 비교

1) 군 내 비교

ASTP군은 발목의 불안정성이 있는 쪽에 안쪽 번짐과 가쪽 번짐 및 발등 굽힘과 엉덩 관절의 벌림, 바깥 돌림에서 통계적으로 유의한 결과가 있었다($p < .05$). ASTPCHSE 군은 발목의 불안정성이 있는 쪽에 안쪽 번짐, 발등 굽힘, 발바닥 굽힘, 엉덩 관절의 벌림과 바깥 돌림에서 통계적으로 유의한 결과가 있었다($p < .05$).

2) 군 간 비교

ASTP 군과 ASTPCHSE 군 간의 비교에 있어서 발목의 불안정성이 있는 쪽에는 두 군간 유의한 차이가 없었다($p > .05$)(Table 4).

Table 4. Changes in Muscle Strength after the Intervention in the Ankle Instability Side

Muscle strength (Nm)	ASTP ^a (N = 8)				ASTPCHSE ^b (N = 8)				t	p ^c
	Pre-test ^c	Post-test ^c	t	pd	Pre-test ^c	Post-test ^c	t	p ^d		
Inversion	13.95 ± 10.77	78.58 ± 50.93	-2.935	.022*	14.36 ± 7.60	90.03 ± 35.53	-7.137	0.000*	-.550	.591
Eversion	17.50 ± 23.25	66.06 ± 25.61	-3.423	.011*	45.60 ± 83.84	83.43 ± 38.02	-1.520	0.172	.105	.917
Dorsi-flexion	52.70 ± 31.40	104.61 ± 44.72	-4.431	.003*	65.33 ± 57.54	124.88 ± 46.81	-2.423	0.046*	-.281	.783
Plantar-flexion	64.66 ± 37.36	95.66 ± 52.34	-2.168	.067	43.23 ± 23.74	94.08 ± 41.36	-4.941	0.002*	-1.127	.279
Hip abduction	105.57 ± 55.66	173.85 ± 112.92	-3.061	.018*	92.19 ± 49.32	174.87 ± 66.63	-5.793	0.001*	-.544	.595
Hip External Rotation	138.76 ± 98.19	325.62 ± 173.89	-2.918	.022*	142.84 ± 127.60	431.50 ± 199.54	-3.344	0.012*	-.947	.360

^aAnkle sensorimotor training program (ASTP).

^bAnkle sensorimotor training program combined with hip strengthening exercise (ASTPCHSE).

^cMean ± standard deviation.

^dPaired t-test was used for intragroup comparison with significance at ($p < .05^*$).

^eIndependent t-test was used for intergroup comparison with significance at ($p < .05^*$).

Table 5. Changes in the Static Balance after the Intervention

Static balance	ASTP ^a (N = 8)				ASTPCHSE ^b (N = 8)				Z	p ^e
	Pre-test ^c	Post-test ^c	t	p ^d	Pre-test ^c	Post-test ^c	t	p ^d		
Opened Eyes	Trace length (mm)	287.00 ± 82.37	294.84 ± 92.02	.835	288.58 ± 95.42	277.93 ± 66.25	.807	.420	.721	
	Area (mm ²)	204.48 ± 87.45	279.57 ± 234.56	.348	244.16 ± 345.91	248.31 ± 218.56	.949	-.210	.878	
	Velocity (mm/s)	9.59 ± 2.73	9.82 ± 3.06	.849	9.51 ± 3.19	9.26 ± 2.21	.872	.525	.645	
Closed Eyes	Trace length (mm)	350.17 ± 57.58	400.24 ± 179.20	.441	397.78 ± 106.04	363.91 ± 87.38	.521	-.945	.382	
	Area (mm ²)	212.09 ± 86.75	220.94 ± 96.10	.721	233.05 ± 169.58	288.09 ± 213.51	.878	.420	.721	
	Velocity (mm/s)	11.67 ± 1.92	13.26 ± 3.53	.849	13.34 ± 5.97	12.06 ± 3.02	.872	.630	.572	

^aAnkle sensorimotor training program (ASTP).

^bAnkle sensorimotor training program combined with hip strengthening exercise (ASTPCHSE).

^cMean ± standard deviation.

^dWilcoxon signed-rank test was used for intragroup comparison with significance at (p < .05^{*}).

^eMann-Whitney U test was used for intergroup comparison with significance at (p < .05^{*}).

Table 6. Changes in the Dynamic Balance after Intervention

Dynamic balance	ASTP ^a (N = 8)				ASTPCHSE ^b (N = 8)				t	p ^e
	Pre-test	Post-test	t	p ^d	Pre-test	Post-test	t	p ^d		
Forward	4.95 ± 1.29	5.75 ± 1.055	-2.405	.047 [*]	5.27 ± .99	5.49 ± .81	-.708	.502	1.304	.213
Rearward	4.19 ± 1.09	4.39 ± .81	-0.339	.744	3.79 ± .82	4.94 ± .75	-3.058	.018 [*]	-1.326	.206
Leftward	6.29 ± 1.11	7.10 ± .35	-2.016	.084	5.74 ± .75	7.31 ± 1.21	-3.241	.014 [*]	-1.211	.246
Rightward	6.58 ± 1.51	7.63 ± .59	-2.132	.070	6.25 ± .76	7.44 ± 1.01	-4.807	.002 [*]	-0.237	.816

^aAnkle sensorimotor training program (ASTP).

^bAnkle sensorimotor training program combined with hip strengthening exercise (ASTPCHSE).

^cMean ± standard deviation.

^dPaired t-test was used for intragroup comparison with significance at (p < .05^{*}).

^eIndependent t-test was used for intergroup comparison with significance at (p < .05^{*}).

2. 정적 균형(Static balance) 능력 비교

1) 군 내 비교

ASTP 군과 ASTPCHSE 군 내에서 눈을 뜨거나 감았을 때 이동거리, 이동면적, 이동속도 모두 유의한 차이가 없었으며 군간 차이에도 유의한 차이가 없었다(p > .05)(Table 5).

2) 군 간 비교

ASTP 군과 ASTPCHSE 군 간 눈을 뜨거나 감았을 때 이동거리, 이동면적, 이동속도 모두 유의한 차이가 없었다(p > .05)(Table 5).

3) 동적 균형(Dynamic balance) 능력 비교

(1) 군 내 비교

ASTP 군에서 전진(Forward)(p < .05)은 통계학적으로 유의미한 차이가 있었지만 후진(Reward), 좌진(Leftward), 우진(Rightward)에는 통계학적으로 유의한 결과가 없었다(p > .05).

ASTPCHSE 군에서 전진에 있어서 통계학적으로 유의미한 차이가 없었지만(p > .05) 후진, 좌진, 우진에는 통계학적으로 유의한 결과가 있었다(p < .05)(Table 6).

(2) 군 간 비교

ASTP 군과 ASTPCHSE 군 간의 전진, 후진, 좌진,

우진 모두 유의미한 차이가 없었다($p > .05$)(Table 4).

IV. 논 의

본 연구에서는 발목 불안정성을 가진 젊은 성인을 대상으로 발목만 운동하는 것과 과 발목운동과 엉덩 관절 통합 운동이 발목관절 근력 과 동적 및 정적 균형 능력에 어떠한 미치는 영향을 분석하였다. 분석을 하여 얻은 결과를 선행 연구와 비교한 고찰은 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 ASTP 군과 ASTPCHSE 군의 근력을 측정하였다. 군 간 근력 비교 결과 모든 변인에서 통계학적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

군 내 근력 비교 결과 ASTP 군에서는 발목관절의 안쪽 변집, 가쪽 변집, 발등 굽힘, 엉덩 관절 벌림, 바깥 돌림이 유의한 차이를 보였다. 이는 Kalra 등[25]의 연구와도 일치한다. 발목의 기능적 불안정성이 있는 대상자를 6주간의 보수반구와 워블 보드 훈련 후 발목의 안쪽 변집, 바깥 변집, 발등 굽힘, 발바닥 굽힘 flexion이 증가 되었다고 보고 하였다. ASTP 군에서 발목 관절 근육 뿐 아니라 엉덩 관절의 벌림과 바깥돌림이 유의하게 증가하였는데, 그 이유는 다음과 같이 사료될 수 있다. 이전 선행 연구에서 발염 염좌와 동측 엉덩 관절 근 활성화 관련 연구가 있었으며, 엉덩 관절 근육과 발목의 근력은 상호 보완적 관계에 있다[26]. 이는 발목의 감각-운동 프로그램으로 발목의 고유수용성 감각증진이 발목의 안정성과 근력강화로 이어지고, 이는 엉덩 관절의 벌림과 바깥 돌림의 근력 강화로 이어졌다고 사료된다.

ASTPCHSE 군에서는 발목관절의 안쪽 변집, 발등 굽힘, 발바닥 굽힘, 엉덩 관절 벌림, 바깥 돌림이 유의한 차이가 있었다. 이는 Smith 등[27]의 연구의 결과와 일치한다. 발목 불안정성을 가진 피험자가 주 3회 4주간 총 12회 엉덩 관절 근력 강화 프로그램을 경험한 군에서 실험전보다 엉덩 관절 운동 후 Hip abduction이 86.3 (N), Hip external rotation이 평균 48.6(N) 통계학적으로 유의하게 증가하였다. 또한 Silva 등[28]의 발목 근전도 연구에서도 발목의 불안정성을 가진 피험자가 4주의 워블 보드 균형 운동 이후 근력이 증가되었

다고 보고하였다. 이는 발목관절 뿐 아니라 엉덩 관절의 운동이 발목관절과 엉덩 관절 근육의 근력 강화로 이어졌으므로 사료된다.

둘째, 본 연구에서는 ASTP 군과 ASTPCHSE 군의 동적 균형을 측정하였다. 동적 균형 능력 비교 결과 군간 모든 변수에서 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 군 내 비교 결과 ASTPCHSE 군에서는 ASTPCHSE 군 모두 통계학적으로 유의한 차이가 나타났다. 이는 Smith 등[27]의 연구의 결과와 일치한다. 발목 불안정성을 가진 피험자가 주 3회 4주간 총 12회 엉덩 관절 운동 프로그램을 경험한 군에서 실험전보다 실험 후에 동적 균형 능력이 향상되었다.

이러한 결과는 발목과 엉덩 관절 중심 근력운동이 발목과 엉덩 관절 근력 증가에 영향을 주어 동적 균형 능력 향상에 도움을 준 것으로 사료된다. 또한 감각운동 자극과 근력운동으로 인한 말초신경 자극이 중추 신경계에 영향을 주었다고 사료된다. 이는 감각 정보와 관련된 앙상블 이론(Theory of ensemble coding)과 관련이 있다. 이 이론에 따르면, 근방추(Muscle spindle)과 골지건기관(Golgi-tendon organ), 관절낭과 인대조직의 기계적 수용기(Mechanoreceptors)와 피부감각 수용기(Cutaneous receptors)에서의 다양한 말초수용기에서의 구심성 정보(Afferent information)가 몸의 중추에서 해석되어 감마운동뉴런(γ -motor neuron)을 통하여 근방추에 전달된다. 그리고 근방추는 알파운동뉴런(α -motor neuron)을 통하여 복합적인 신호를 액틴과 마이오신으로 전달한다. 이러한 복합적인 신호는 신경근 조절에(Neuromuscular control facilitation)매우 핵심적인 역할을 한다[29].

셋째, 본 연구에서는 ASTP 군과 ASTPCHSE 군의 정적 균형을 측정하였다. 두 군간 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 군 내 비교에서도 유의미한 결과가 나타나지 않았다. 이는 Sefton 등[30]의 연구 결과에서도 볼 수 있다. 발목의 불안정성이 있는 12명의 피험자에게 주 3회씩 6주간 18회의 Wobble board상 한다리로 서기와 두다리로 서기의 감각-운동 훈련을 시킨 결과 정적 균형능력에서 유의한 차이를 보이지 않았다. Eils 등[31]에서도 30명의 피험자에게 6주간의 감각-운동 훈

련 프로그램을 적용한 결과 대조군과 실험군에 있어서 유의한 차이를 보이지 않았다. Power 등[32]은 38명의 피험자가 6주후의 근력 강화와 감각-운동 훈련 후 정적 균형 능력에 유의한 차이가 보이지 않았다고 보고하였다. 정적 균형에서 유의한 차이가 나타나지 않은 이유는 두가지로 될 수 있다. 첫째, 뇌졸중이나 심각한 신경계 환자군과 달리 발목의 불안정성을 가진 정상인은 정상적인 전정감각, 시각, 체성 감각 시스템을 가지고 있다. 심지어 눈을 가려 시각을 차단하더라도 나머지 두 감각은 제대로 작동한다. 이러한 정상인에게 정적 균형 검사는 그리 어려운 과제가 아니라 사료된다. 둘째, 주 2회 4주간의 치료 횟수는 무의식적인 선행자세 조절(Unconscious feed-forward mechanism)을 변화시키는 너무 기간도 짧고 횟수도 적다 사료된다.

이러한 조절을 변화시키려면 운동 횟수 기간 모두 증가되어야 한다고 사료된다. 훈련 후 ASTP 군과 ASTPCHSE 군 정적 균형에서는 차이가 없었지만 동적 균형에서 군내 차이에서는 유의한 차이를 보였다. 이는 Blackburn 등[33] 선행연구에서도 동일하게 확인된다.

본 연구는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, ASTPCHSE 군이 발목운동을 포함한 운동프로그램으로 구성되어 있어 연구결과가 온전히 엉덩 관절 중심 근력운동의 효과인지 정확히 알 수 없다는 것이 제한점이라 사료된다. 추후에는 이를 보완하여 엉덩 관절 중심 근력운동만을 실시한 연구가 필요하다고 사료된다. 둘째, 대상자의 수와 연령대가 한정적임으로 모든 기능적 발목 불안정성 환자들에게 대해 연구를 일반화하기에는 한계가 있다. 향후 연구에서는 발목의 다양한 불안정성에 따른 훈련 효과에 대해 추가적인 연구가 필요하며, 이에 맞는 훈련 프로그램의 개발이 필요하다고 사료된다. 다음 연구에서는 본연구의 제한점을 인정하고 중재기간이나 표본의 수를 보완한다면 더 나은 연구 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 발목 불안정성을 가진 20대 대학생 16명을

대상으로 4주간의 발목운동과 엉덩 관절 중심 근력운동이 발목 및 엉덩 관절의 근력과 균형능력에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 본 연구 결과, 첫째, ASTPCHSE 군과 ASTPCHSE 군의 군 간 비교에서 근력, 동적균형, 및 정적 균형에서 모두 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 둘째, 군 내 비교에서는 두 군 모두 유의미한 근력 상승을 보였다. 셋째, ASTPCHSE 군에서 유의미한 동적균형능력 향상이 나타났다.

이러한 결과를 종합하여 볼 때 발목 감각-운동과 엉덩 관절 근력 강화 통합 훈련 프로그램이 발목 감각-운동 프로그램보다 뛰어나다 볼 수는 없지만 발목 감각-운동과 엉덩 관절 근력 강화 통합 훈련 프로그램과 발목 감각-운동 프로그램 모두 기능적 발목 불안정성 대상자에게 근력과 동적 균형에 효과를 줄 수 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgements

이 연구는 2021년도 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것임(221A380122).

References

- [1] Morrison KE, Kaminski TW. Foot characteristics in association with inversion ankle injury. *J Athl Train.* 2007;42(1):135-42.
- [2] Fong, D.TP., Hong, Y., Chan, LK. et al. A Systematic Review on Ankle Injury and Ankle Sprain in Sports. *Sports Med* 2007;37(1):73-94.
- [3] Funk, J. R. Ankle injury mechanisms: lessons learned from cadaveric studies. *Clin anat.* 2011;24(3):350-61.
- [4] Magee DJ, Manske RC. *Orthopedic physical assessment.* Canada. Elsevier. 2009.
- [5] Zampagni ML, Corazza I, Molgora PA, Marcacci M. Can ankle imbalance be a risk factor for tensor fascia late muscle weakness? *J Electromyogr Kinesiol.*

- 2009;19(4):651-59,
- [6] Wilson J, Ferris E, Heckler A, Maitland L, Taylor C. A structured review of the role of gluteus maximus in rehabilitation. *New Zealand J Physiother.* 2005;33(3): 95-100
- [7] Senciw A, Neate R, Pizzari T. Running related gluteus medius function in health and injury: a systematic review with meta-analysis. *J Electromyogr Kinesiol.* 2016;30: 98-110.
- [8] Earl JE. Gluteus medius activity 3 variations of isometric single-leg stance. *J of sport rehab.* 2005;14(1):1-11.
- [9] Choi WH, Kim MJ. Effects of Eccentric Exercise of Hip Abductors on Gait Balance. *J Kor Acad Ortho Man Phys Ther.* 2003;9(2):59-67.
- [10] Konradsen L, Voight M, Hojsgaard C. Ankle inversion injuries: the role of the dynamic defense mechanism. *Am J Sports Med.* 1997; 25(1):54-8.
- [11] Beckman SM, Buchanan TS. Ankle inversion injury and Hypermobility: Effect on Hip and Ankle Muscle Electromyography Onset Latency. *Arch Phys Med Rehabil.* 2003;76(12):1138-45.
- [12] Khamis S, Yizhar Z. Effect of feet hyper pronation on pelvic alignment in a standing position. *Gait Posture.* 2007;25(1):127-34.
- [13] Friel K, McLean N, Myers C, et al. Ipsilateral Hip abductor Weakness after Inversion Ankle Sprain. *J Athl Train.* 2006;41(1):74-8.
- [14] Maria L, Zampagni I, Corazza A, et al. Can ankle imbalance be a risk factor for tensor fascia lata muscle weakness? *J Electromyogr Kinesiol.* 2009;19(4):651-59.
- [15] Shim JK. Effect of sensorimotor training focused on hip abductor muscle in subjects with functional ankle instability, Doctor degree. Daejeon University. 2016.
- [16] Jung SM, Lee JN, Jeon JH. The Effect of Ankle stability exercise and Mobilization on Hip Muscle Strength and Gait in Patients with Acute Ankle Sprain. *J Kor Acad Ortho Man Phys Ther.* 2018;24(1):39-46
- [17] Rou SK, Lee CH. Effects of the presence of disease on the ankle joint in isokinetic muscular function of hip joint. *Korean J Sport Sci.* 2012;21(2):1239-48
- [18] Higgins M. Therapeutic exercise from theory to practice. Philadelphia, davis plus. 2011;280-317.
- [19] Kisner C, Colby LA. Therapeutic exercise: foundations and techniques (3rd ed). F A Davis. 1996.
- [20] Kim KJ. The effect of strength and proprioception combined training on functional ankle instability. Graduate School of Dongshin University. Master's thesis. 2012.
- [21] Sawkins K, Refshauge K, Kilbreath S. The placebo effect of ankle taping in ankle instability. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(5):781-7.
- [22] Hwang Hs, Kim JH, Choi BR Comparison of the effects of visual feedback training and unstable surface training on static and dynamic balance in patients with stroke. *Phys Ther Sci.* 2017;29(10):1720-22.
- [23] Jadelis K, Miller ME, Ettinger EW, Messier SP. Strength, Balance, and the Modifying Effects of Obesity and Knee Pain: Results from the Observational Arthritis Study in Seniors. *J Am Geriatric Soc.* 2001;49(7):884-91.
- [24] Yu JA, P JH. The Effects of Dual Task Training on the Balance, Upper Extremity Function, and Activities of Daily Living in the Chronic Stroke Patients. *J Converge for Inform Tech.* 2020;10(6). 217-27. 85-89
- [25] KALRA S, PAL S, PAWARIA S, et al. Comparative Study of Wobble Board and Bosu Ball along with Strength Training on Lower Limb Strength, Dynamic Balance, Agility and Functional Performance of Runners with Lateral Ankle Instability. *J Athl Train.* 2021;15(5).
- [26] O'Driscoll J, Delahunt EJ. Neuromuscular training to enhance sensorimotor and functional deficits in subjects with chronic ankle instability: a systematic review and best evidence synthesis. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol.* 2011;3(1):1-20.
- [27] Smith BI, Curtis D, Docherty. Effects of hip strengthening on neuromuscular control, hip strength, and self-reported functional deficits in individuals with chronic ankle

- instability. 2018;27(4):364-70.
- [28] Silva PB, Oliveira AS, Mrachacz-Kersting N, et al. Effects of wobble board training on single-leg landing neuromechanics. *Scand J Med Sci Sports*. 2018;28(3): 972-82.
- [29] Pedersen J. Effects exerted by chemosensitive muscle afferents and muscle fatigue on the γ -muscle-spindle system and on proprioception: implications for the genesis and spread of muscle tension and pain. Univ. 1997.
- [30] Sefton JM, Yarar C, Hicks-Little CA, et al. Six weeks of balance training improves sensorimotor function in individuals with chronic ankle instability. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2011;41(2):81-9.
- [31] Eils E, Rosenbaum D. A multi-station proprioceptive exercise program in patients with ankle instability. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(12):1991-8.
- [32] Powers ME, Buckley BD, Kaminski TW, et al. Six weeks of strength and proprioception training does not affect muscle fatigue and static balance in functional ankle instability. *J Spor Rehabil*. 2004;13(3):201-27.
- [33] Blackburn T, Guskiewicz KM, Petschauer MA, et al. Balance and Joint Stability: The Relative Contributions of Proprioception and Muscular Strength. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2000;9(4):315-28.