

기능적 발목관절 불안정성의 등속성 근력과 균형 및 보행 중에 근활성도와 발바닥압의 평가

이선아 · 김아람¹ · 유경태¹ · 이호성[†]

단국대학교 대학원 운동의과학과, ¹남서울대학교 물리치료학과

Evaluation of Muscle Activity and Foot Pressure during Gait, and Isokinetic Strength and Balance in Persons with Functional Ankle Instability

Sun-Ah Lee, MSc · Ah-Ram Kim, PhD, PT¹ · Kyung-Tae Yoo, PhD, PT¹ · Ho-Seong Lee, PhD[†]

Department of Kinesiological Medical Science, Graduate, Dankook University

¹Department of Physical Therapy, Namseoul University

Received: May 31, 2018 / Revised: June 7, 2018 / Accepted: June 29, 2018

© 2018 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: The purpose of this study was to investigate and evaluate muscle activity and foot pressure during gait, and isokinetic strength and balance in persons with functional ankle instability (FAI).

METHODS: Nine healthy subjects (CON, n=9) without FAI and 11 patients (FAI, n=11) with FAI participated in the study after having been screened with an ankle instability instrument and a balance error scoring system. In addition, FAI was classified as non-involved (FAI-N) or involved (FAI-I), and CON was classified as dominant or non-dominant. All subjects were evaluated for isokinetic strength (plantar flexion, dorsiflexion, inversion and eversion of

30°/sec and 60°/sec), balance (static and dynamic), muscle activity (tibialis anterior, peroneus longus and gastrocnemius) and foot pressure (static and dynamic) during gait.

RESULTS: Results showed that plantar flexion ($p<.05$), dorsiflexion ($p<.05$), inversion ($p<.01$) and eversion ($p<.00$) of 60°/sec were significantly decreased in FAI-I compared to those in FAI-N and CON. C 90 of static balance with eyes open ($p<.01$) and closed ($p<.00$) were significantly increased in FAI compared to those in CON. Forward position of dynamic balance ($p<.01$) was significantly decreased in FAI compared to that in CON. Gastrocnemius and peroneus longus of dynamic muscle activity ($p<.01$), left and right weight distribution of static foot pressure ($p<.00$) and pressure distribution of dynamic foot pressure ($p<.00$) were significantly decreased in FAI-I compared to those in FAI-N.

CONCLUSION: We demonstrated that ankle strength, balance, muscle activity and foot pressure were significantly correlated with FAI.

Key Words: Balance, Foot pressure, Functional ankle instability, Isokinetic strength, Muscle activity

†Corresponding Author : Ho-Seong Lee

hoseh28@dankook.ac.kr, <https://orcid.org/0000-0002-5779-1080>

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.

I. 서론

발목관절은 종아리뼈(tibia)와 목말뼈(talus)로 구성되어 있는 경첩관절이면서(Leardini 등, 2014), 목말뼈를 중심으로 관절을 구성하고 있는 뼈의 배열 때문에 높은 뻘(strain)의 비율을 갖고 있으며(Omar 등, 2016), 급성 손상(acute injury)이 빈번하게 발생한다고 하였다(Golanó 등, 2010). 발목관절의 운동범위는 종아리뼈의 가쪽 복사뼈(lateral malleolus)가 정강이뼈(fibula)의 안쪽 복사뼈(medial malleolus)보다 아래쪽에 위치하게 됨으로써 가쪽변짐보다 안쪽변짐의 운동범위가 더욱 커지게 되고(Leardini 등, 2014), 이러한 복사뼈의 구조적 특징 때문에 발목관절의 인대 손상은 주로 발목관절의 움직임 중 안쪽변짐에서 손상을 입게 된다. 따라서 앞목말종아리인대(anterior talofibular ligament), 발꿈치종아리인대(calcaneofibular ligament) 및 뒤목말종아리인대(posterior talofibular ligament)와 같은 가쪽인대의 손상이 주로 발생한다고 하였다(Omar 등, 2016). 이와 같은 인대손상이 반복적으로 발생하게 되면 주관적 불안정감(giving way), 부종 및 염증을 동반하게 되고 이러한 증상을 만성 발목 불안정성(chronic ankle instability; CAI)이라고 부른다(Golanó 등, 2010).

일반적으로, CAI는 기능적불안정성(functional ankle instability; FAI)과 기계적불안정성(mechanical ankle instability; MAI)으로 분류된다. FAI는 발목이 뻘 후에 충분하지 못한 재활로 인해 발목관절 주위를 지지하고 있는 근육, 인대 및 힘줄이 이전의 정상상태로 회복하지 못한 결과, 근력의 약화, 균형과 협응 능력의 저하 등과 같은 증상이 나타나고, 이러한 증상들을 원인으로 발목관절의 불안정감이나 반복적인 손상이 주관적인 형태로 나타나게 된다고 보고하였다(Gribble 등, 2014). 반면에, MAI는 방사선학적 또는 임상학적 평가로 측정된 정상범위 이상의 관절 운동 또는 앞목말종아리인대, 뒤목말종아리인대 및 발꿈치종아리인대와 같은 인대의 이완(ligament laxity) 및 파열(ligament rupture)등의 객관적인 형태를 나타내며(Leardini 등, 2014), 의료 현장에서는 MAI의 객관적 평가방법으로 안쪽변짐 스트레스 방사선 검사(stress X-ray)를 주로 이용한다고 보고

하였다(Lim et al., 2015). 하지만, 방사선 검사는 목말뼈 경사각(talar tilt angle)과 목말뼈 앞당김(anterior talar translation)을 통해 MAI의 인대의 이완 및 정렬(alignment)과 같은 해부학적 인자를 객관적인 형태로 측정 가능하지만, 목말뼈의 회전 불안정성, 발목의 휘청거림과 불안정성과 같이 주관적인 형태인 FAI은 평가하기 어렵다고 보고하였다(Waterman 등, 2010). 또한 Leardini 등(2014)은 발목관절 인대의 해부학적 불안정성이 없는 경우라도 기능적 불안정성으로 인해 발목관절의 불안정감을 경험하게 된다고 하였으며, Schmidt 등(2011)은 CAI는 구조적인 불안정성과 관계없이 고강도 운동 시 발목관절에 기능저하를 나타내며, 그 결과 발목관절의 재 손상을 야기시킨다고 보고하였다. 따라서 CAI의 반복적인 손상 예방과 기능을 회복하기 위해서는 발목관절의 MAI와 별개로 FAI를 구체적으로 평가할 필요가 있다고 생각된다.

CAI는 높은 재발률을 보이며, 그 원인은 발목관절 주변 구조들의 기능 부전에 있다고 보고하였다(Walls 등, 2016). Bowker 등(2016)은 FAI는 발목관절의 고유수용감각, 위치감각 및 근력이 저하되어 있으며, 특히 종아리근의 근수축 반응시간이 유의하게 낮게 나타났다고 보고하였다. 통상, 종아리근은 발목관절의 과안쪽변짐(hyperinversion)을 조절하는 근육으로써 근력이 약화되면 점차적으로 발목관절의 기능 부전을 야기시키며(Gribble 등, 2014), 결국 약화된 발목관절 주변 근육은 신체활동 시 근피로를 유발시킨다고 보고하였다(Courtney 등, 2016). 또한 발목관절의 근피로는 발바닥 압 중심을 크게 이동시켜 동적 안정성을 감소시키는 원인이 되고, 결과적으로 재 손상의 위험률을 증가시킨다고 보고하였다(Kim, 2016). 따라서 FAI의 원인은 발목관절 주변 근기능과 밀접한 관련성이 있기 때문에 발목관절 주변 근육의 근력과 동적 근활성도를 분석하는 것은 FAI를 평가하는데 중요하다고 생각된다. 선행 연구에 의하면, 발목관절에 지속적인 손상이 발생하게 되면 들신경(afferent nerve)에 영향을 미쳐서 발목 주변 근육의 약화와 손상된 관절낭 및 인대의 구심성 신경 섬유 기능 감소로 발목의 고유수용성감각의 저하 등의 기능적인 문제를 나타낼 수 있다고 보고하였고

Table 1. Physical Characteristics of Subjects

Index	FAI	CON	χ^2/t
Gender (male)	5	4	
Gender (female)	6	5	.964
Age (yrs)	21.72±.78	22.33±1.58	-1.118
Height (cm)	172.74±8.95	173.48±5.81	1.049
Weight (kg)	83.28±24.75	76.33±13.6	.716
Body Mass Index (kg/m ²)	27.66±6.98	25.22±3.46	.886
AII	5.36±.5	1.1±1.2	10.217***
BESS	24.72±11.2	8.4±5.2	3.3551**

mean±SD. AII; ankle instability instrument, BESS; balance error scoring systems. **p<.01, ***p<.001

(Bowker 등, 2016), Brendan 등(2015) FAI를 겪고 있는 배구 선수들은 고유수용감각의 저하로 인해 점프, 착지 및 방향전환과 같은 움직임 중 발목관절의 손상을 나타내기 쉽고, Kim (2016)은 FAI는 점프 후 착지 시 발목관절의 움직임을 최소화시키기 위해 엉덩관절과 무릎관절의 보상작용이 나타나서 발목압력중심(center of pressure; COP)의 변화가 발생한다고 보고하였다. 따라서 발목관절과 연관된 운동 감각의 감소는 FAI의 주요 원인이며, FAI를 객관적으로 평가하기 위해서는 균형 및 보행 중에 발바닥압의 변화까지 분석할 필요가 있다고 생각된다.

전술한 바와 같이, FAI와 관련된 근력과 여러가지 조건 즉, 정적 및 동적 조건에서 균형, 근활성 및 발바닥압의 평가를 분석하는 것은 현장에서 운동치료 및 재활 운동을 보다 정확한 평가를 통하여 구조적 및 기능적 회복을 위한 기초자료로 활용될 것으로 생각된다.

이에 이 연구에서는 FAI의 등속성 근력과 균형 및 보행 중에 근활성도 및 발바닥압의 평가를 분석하는데 그 목적이 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상

이 연구는 C지역 소재 N대학에 재학중인 대학생을 대상으로 발목관절 기능 평가 도구인 발목관절 불안정성 설문지(ankle instability instrument; AII)에서 5점 이상

(Donahue 등, 2011), 발목관절 균형 평가인 균형 오차 점수 평가(balance error scoring system; BESS)에서 24점 이상(Bell 등, 2011)을 기록한 대상자를 기능적 발목관절 불안정성군(functional ankle instability; FAI, n=11) 및 기능적 발목관절 불안정성을 가지고 있지 않는 건강한 대상자를 통제군(healthy subjects; CON, n=9)으로 선정하였다. 또한 AII를 통해 FAI는 건측군(functional ankle instability non-involved side group; FAI-N)과 환측군(functional ankle instability involved side group; FAI-I)으로 구분하였으며. CON은 주로 사용하는 발을 우세군(control group dominant; CON-D)으로, 반대쪽 발을 비우세군(control group non-dominant; CON-ND)으로 분류하였다. AII는 발목관절 뺨의 과거력, 발목관절 치료 경험, 스포츠활동 및 일상생활 중 느끼는 불안정성의 총 9가지 항목으로 이루어져 있으며, 각 항목당 ‘예’ 라고 답한 항목은 1점, ‘아니오’ 라고 답한 항목은 0점으로 한다. 1-4점은 약간의 불안정성을 나타내며, 5점 이상은 CAI로 분류된다(Donahue 등, 2011). 이 연구에서는 연구 대상자 선정을 위해 G-power 3.1.9.2 프로그램을 이용하였으며, 유의수준 <.05, 효과크기 <.025, 검정력 <.95에서 산출하였을 때 적절한 총 표본수는 20명이 요구되었다(Faul 등, 2007). 모든 피험자에게는 연구의 취지 내용을 충분히 설명한 후에 참가 동의를 얻었으며, 병력, 건강상태, 수술 경력 및 다리 손상이 없는 자로 선정하였다. 연구 대상의 신체적 특성은 Table 1에 제시한 바와 같다.

2. 측정 항목

1) 신체 조성

신체 조성은 체성분 측정기(inbody 720, biospace, Korea)를 사용하여 체중(kg)과 체질량지수(kg/m^2)를 측정 및 산출하였다. 피험자는 간편한 복장으로 전해질 티슈를 이용하여 손바닥과 발바닥을 닦은 후 발 전극을 정확히 밟고, 손 전극을 권 후 양팔을 30° 정도 넓힌 자세에서 측정하였으며, 측정 오차를 최소화하기 위해 측정 2시간 이전에 식사, 음료, 알코올 및 카페인 등의 섭취 및 격렬한 신체활동을 제한하였다.

2) 등속성 근력

등속성 근력은 등속성 장비(primus RS, BTE Tech, USA)를 사용하여 발목관절 움직임의 4가지 방향인 안쪽번짐(inversion), 가쪽번짐(eversion), 발바닥굽힘(plantarflexion) 및 발등굽힘(dorsiflexion)의 가동범위를 설정한 후에 측정하였다. 발바닥 굽힘근 근력과 발등굽힘근 근력은 바로 누운 자세로 의자를 조정한 후 외측 복사뼈와 동력계(dynamometer)의 회전 축을 일치시킨 후 측정하였다. 안쪽번짐근 근력과 가쪽번짐근 근력은 앉은 자세에서 80° 무릎관절 굽힘 상태로 의자를 조정한 후 정강이뼈 몸통(tibia shaft) 및 무릎과 동력계의 회전 축을 일치시킨 후 측정하였다. 측정 중 피험자가 최대 근력을 발휘할 수 있도록 어답터(short input adapt)와 발 고정플레이트(foot plate)의 조정 축 거리를 종아리뼈(fibula)와 일치시켰으며, 스트랩으로 발목, 어깨 및 반대측 넓다리를 고정하여 불필요한 움직임을 최소화시켰다(Kim 등, 2004). 각속도 별 근력의 차이를 확인하기 위해 $30^\circ/\text{sec}$ 에서 3회, $60^\circ/\text{sec}$ 에서 5회 중 최대 근력(average peak torque)을 측정하여, FAI-I와 FAI-N, FAI-I와 CON-D 및 FAI-N과 CON-D를 각각 비교하였으며, FAI에서 두 다리의 근력 차이(%)를 비교하였다(Muehlbauer 등, 2011).

3) 균형

균형은 균형 능력 측정 장비인 BT4 (Balance Trainer 4, HUR, Finland)를 사용하여 피험자의 앞, 뒤, 오른쪽 및 왼쪽 방향의 안정성 한계와 압력 중심점(center of pressure, COP)의 이동거리(trace length), 이동 범위(C90

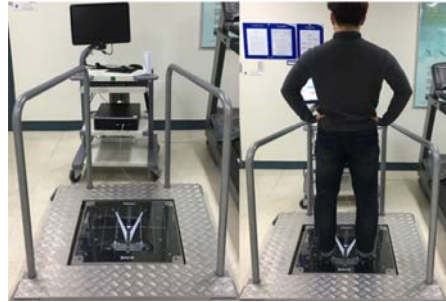


Fig. 1. Balance training system (BT4)

area) 및 이동 각도(C90 angle)를 측정하였다(Chun과 Choi, 2009). 이동거리는 COP가 움직인 거리, 이동 범위는 COP가 움직인 범위를 나타내며, 수치가 클수록 균형이 저하됨을 나타낸다. 이동 각도는 신체 중심축이 안쪽-가쪽으로 움직인 각도를 나타내며 수치가 클수록 자세 비대칭이 있음을 의미한다(Hwang 등, 2017). 정적 안정성은 양 발로 선 자세의 안정성을 확인하기 위하여 양 손을 몸통에 붙인 뒤 앞을 주시하며 서 있는 자세에서 눈을 뜬 상태와 감은 상태를 각각 30초간 수행하는 중에 COP의 이동 거리, 범위 및 각도를 측정하여 FAI와 CON을 비교하였다(Sheehan과 Katz, 2013). 동적 안정성은 안정성 한계(limit of stability)의 검사방법을 사용하여 측정하였다. 측정 자세는 뒤꿈치 간격을 2 cm, 각 발끝은 중심선을 기준으로 양 발을 각각 15° 로 벌렸으며 똑바로 선 자세에서 발을 지지면에, 팔은 몸통에 고정된 후 몸을 앞, 뒤, 오른쪽 및 왼쪽 방향으로 최대한 기울이는 자세를 8초간 수행하는 중에 COP의 최대 이동 거리 값을 측정하여 FAI와 CON을 비교하였다(Jadelis 등, 2001).

4) 근활성도

근활성도는 무선표면 근전도(Free EMG, BTS Inc, Italy)를 사용하여 근전도의 표본 수집률(sampling rate)은 1,000 Hz로 하였고, 초기 잡음(baseline noise)은 1 mV 이하 및 입력 저항값(input impedance)은 100 mOhms 이상, 주파수 대역폭은 20-45 Hz의 대역통과필터(bandpass filter)를 적용하고, 동상제거비율(common mode rejection ratio)은 100 dB 이상으로 설정하여 측정하였다(Park 등, 2012). 전극은 피부저항으로 생기는 오차를 최대한 줄



Fig. 2. Muscle activity (BTS freeEMG)

이기 위해 에틸 알코올솜으로 피부표면을 깨끗이 닦은 후 측정하였다. 무선 근전도 기기의 표면전극은 SENIAM (surface electromyography for non-invasive assessment of muscle)에서 제안하는 권고사항에 따라 종아리근, 앞정강근 및 장딴지근에 부착하였으며, 종아리근(peroneal muscle)은 종아리뼈 머리 끝과 가쪽 복사뼈의 끝 사이의 1/4 지점에, 앞정강근(tibialis anterior)은 종아리뼈 끝 지점과 내측 복사뼈 끝 사이의 1/3 지점에, 장딴지근(gastrocnemius)은 종아리의 가장 두꺼운 부위에 부착하였다. 보행 중 근육 별 동적 근활성도를 확인하기 위해 무선 근전도를 부착 후 50 cm 압력 센서 매트 위를 30초간 밟고 반복 보행하는 동안 동적 근활성도와 동적 발바닥압을 측정하여(Choi과 Nam, 2014), FAI-I와 FAI-N, FAI-I와 CON 및 FAI-N과 CON을 각각 비교하였다.

5) 발바닥압

발바닥압은 양 발에 가해지는 압력을 측정하는 도구인 Pedoscan (Pedoscan, DIERS, Germany)을 사용하여 왼쪽, 오른쪽, 앞쪽 및 뒤쪽으로 발바닥압 영역을 각각 1/4 로 각각 나누어 세분화된 압력 지수를 측정하였다(Choi와 Nam, 2014). 정적 발바닥압 측정을 위해 피험자는 신발을 벗고 양 발을 50 cm 압력 센서 매트 위에 바로 선 상태에서 시선은 정면을 바라본 채 30초간 정적 자세로 측정하였다. 동적 발바닥압은 보행 중 압력 분포를 확인하기 위해 50 cm 압력 센서 매트 위를 30초간 보행 중 반복하여 측정하였다. 집단에 따른 정적 및 동적 자세의 압력중심점(COP)를 비교하기 위해 각 단계별 기록된 정보를 통해 몸통의 평균 이동 속도, 평균 압력, 왼쪽, 오른쪽, 앞쪽 및 뒤쪽의 평균 압력을 측정하



Fig. 3. Electrode placement



Fig. 4. Foot pressure (Pedoscan)

여(Gong 등, 2009), FAI-I과 FAI-N, CON-D 및 CON-ND를 각각 비교하였다.

3. 자료 처리

이 연구에서 수집된 모든 자료는 SPSSWIN Ver. 20.0을 이용하여 평균과 표준 편차를 산출하였다. 균형 및 동적 근활성도는 두 집단간의 차이를 비교하기 위하여 독립 표본 *t*-검증(independent *t*-test)을 사용하였으며, 등속성 근력과 발바닥압은 세 집단간의 차이 및 네 집단간의 차이를 분석하기 위하여 일원 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 조건 간에 유의한 차이가 있을 경우 사후검정(post-hoc)에 따른 다중비교를 실시하였다. 가설의 검정을 위해 G*power (version 3.1.9.2)를 이용하여 일원 분산분석의 효과크기(effect size) .25에서 통계적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 설정하였을 때 *F*-분포의 임계값이 3.34로 가설의 통계적 성립을 위해 통계적 유의수준은 $F=3.34$ 및 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

Table 2. Differences in Isokinetic Strength between Groups

Index	Movement	FAI-I	FAI-N	CON	F
30°/sec Peak Torque (Nm)	PF	122.07±21.77†	142.10±23.42	164.70±19.94	9.393**
	DF	87.29±23.33†	101.35±20.37	123.37±21.10	6.893*
	I	106.38±13.19†	123.16±17.10	130.30±17.60	5.849*
	E	101.79±28.65	111.95±32.79	138.84±27.60	3.965
60°/sec Peak Torque (Nm)	PF	115.76±19.66†	138.30±22.23	148.82±19.85	6.819*
	DF	93.92±15.86†	111.01±17.92	124.73±17.70	10.181**
	I	104.66±9.72†	123.62±11.92	128.80±16.58	13.921**
	E	98.91±10.99†	121.78±11.85	126.11±15.06	13.921**

mean±SD. PF; plantarflexion, DF; dorsiflexion, I; inversion, E; eversion. *p<.05, **p<.01, ***p<.001, †p<.05 vs. CON, ‡p<.05 vs. FAI-N

Table 3. Differences in Opened and Closed Eyes on Static Balance between Groups

Index	Variable	FAI	CON	t
Opened Eyes	Trace Length (mm)	314.39±59.59	253.33±47.10	-2.49*
	C90 area (mm ²)	343.77±84.65	186.7±29.30	5.29***
	C90 angle (°)	-51.30±47.11	-77.51±12.05	3.18
Closed Eyes	Trace Length (mm)	430.78±69.38	388.77±70.25	.00
	C90 area (mm ²)	377.76±95.51	240.25±44.49	3.96**
	C90 angle (°)	23.53±65.35	8.6±69.13	3.26**

mean±SD. *p<.05, **p<.01, ***p<.00

III. 연구결과

1. 일반적 특성

일반적 특성은 Table 1에 제시한 바와 같다. AII (p<.00)와 BESS (p<.01)는 CON과 비교해서 FAI에서 각각 유의하게 높게 나타났다.

2. 등속성 근력

등속성 근력은 Table 2에 제시한 바와 같다. 30°/sec에서 발바닥굽힘근(p<.01), 발등굽힘근(p<.05) 및 안쪽변집근(p<.05)의 근력은 CON과 비교해서 FAI-I에서 각각 유의하게 나타났다. 60°/sec에서 발바닥굽힘근(p<.05), 발등굽힘근(p<.01), 안쪽변집근(p<.01) 및 가쪽변집근(p<.01)의 근력은 FAI-N 및 CON과 비교해서 FAI-I에서 각각 유의하게 낮게 나타났다.

3. 균형

정적 균형은 Table 3에 제시한 바와 같다. 눈을 뜬 상태에서 trace length (p<.05)와 C90 area (p<.00)은 CON과 비교해서 FAI에서 각각 유의하게 높게 나타났으며, 눈을 감은 상태에서 C90 area (p<.01)은 CON과 비교해서 FAI에서 유의하게 높게 나타났다. 동적 균형은 Table 4에 제시한 바와 같다. Forward (p<.05)은 CON과 비교해서 FAI에서 유의하게 낮게 나타났다.

4. 동적 근활성도

동적 근활성도는 Table 5에 제시한 바와 같다. GCM (p<.01)은 FAI-N 및 CON과 비교해서 FAI-I에서 유의하게 낮게 나타났으며, PL (p<.05)은 CON과 비교해서 FAI-I에서 유의하게 낮게 나타났다.

Table 4. Differences in Dynamic Balance between Groups

Index	FAI	CON	<i>t</i>
Forward (°)	5.70±.80	6.70±.70	2.90**
Backward (°)	3.70±.60	4.20±.50	1.88
Leftward (°)	7.30±.70	7.10±.90	-.55
Rightward (°)	7.60±.70	7.20±.90	-1.06

mean±SD. ***p*<.01

Table 5. Differences in Dynamic Muscle Activity between Groups

index	FAI-I	FAI-N	CON	<i>t</i> ₁	<i>t</i> ₂	<i>t</i> ₃
TA (%)	48.60±9.59	53.64±6.53	55.98±11.06	-.70	-2.02	-1.02
PL (%)	37.62±11.70	47.33±10.77	55.16±12.52	-2.02	-3.23*	-1.50
GCM (%)	60.64±12.32	76.52±7.87	91.05±24.14	3.60**	-3.43**	-1.88

mean±SD. TA; tibialis anterior, PL; peroneus longus, GCM; gastrocnemius. T1; FAI-I vs. FAI-N, T2; FAI-I vs. CON, T3; FAI-N vs. CON. **p*<.05, ***p*<.01

Table 6. Differences in Static Foot Pressure between Groups

Index	FAI-I	FAI-N	CON-D	CON-ND	<i>F</i>
MP (N/cm ²)	2.24±.39	2.60±.44	2.60±.44	2.16±.48	2.817
AP (N/cm ²)	.47±.07	.51±.09	.51±.09	.51±.08	.555
LRWD (%)	53.52±3.66†	46.57±3.66	46.57±3.66	50.70±3.48	7.432**
APWD (%)	49.34±2.56	50.83±2.72	50.83±2.72	48.82±51.16	.736
SF (cm ²)	169.3±24.98	167.87±24.31	167.87±24.31	183.63±23.24	.878
FAA (°)	9.31±2.77	5.50±1.16	5.51±1.35	7.52±1.31	.998

mean±SD. MP; maximum pressure, AP; average pressure, LRWD; left and right of weight distribution, APWD; left and right of weight distribution, SF; surface, FAA; foot axis angle. ***p*<.01, †*p*<.01 vs. FAI-N

Table 7. Differences in Dynamic Foot Pressure between Groups

Index	FAI-I	FAI-N	CON-D	CON-ND	<i>F</i>
PD (N/cm ²)	43.91±4.60†	56.32±5.10	48.32±3.49	51.77±3.38	16.556***

mean±SD. PD; pressure distribution. ****p*<.00, †*p*<.00 vs. FAI-N

5. 발바닥압

정적 발바닥압은 Table 6에 제시한 바와 같다. LRWD (*p*<.01)는 FAI-N과 비교해서 FAI-I에서 유의하게 높게 나타났다. 동적 발바닥압은 Table 7에 제시한 바와 같다. PD (*p*<.00)는 FAI-N와 비교하여 FAI-I에서 유의하게 낮게 나타났다.

IV. 고찰

이 연구에서는 기능적 발목관절 불안정성의 등속성 근력과 균형 및 보행 중에 근활성도와 발바닥압의 평가를 검토한 결과, 등속성 근력, 정적 및 동적 균형, 동적 근활성도, 그리고 정적 및 동적 발바닥압은 기능적 발

목관절 불안정을 가진 대상에서 전반적으로 부정적인 결과를 보였으며, 특히 정적인 상태뿐만 아니라 동적인 상태에서도 부정적인 결과를 초래하였다는 사실을 확인하였다.

발목관절 주변의 근력 약화는 FAI를 발생시키는 주요 원인으로써 발목관절의 역학적 움직임의 변화를 야기시켜서 걷기 중에 보행 장애의 위험성을 증가시킨다(Ko 등, 2016). 이 연구에서 모든 발목관절 움직임의 방향에서 발목관절의 등속성 근력은 FAI-N 및 CON과 비교해서 FAI-I에서 유의하게 낮게 나타났으며, 특히 FAI-N과 비교해서 FAI-I에서 평균 19% 이상의 근력 차이를 보였다. 선행연구에 의하면, 초기 발목관절의 손상 이후에 충분하지 못한(완전하지 못한)재활은 발목관절 주위를 지지하고 있는 근육, 인대 및 힘줄을 정상상태로 회복하지 못하게 하여 반복적인 손상을 유발하게 된다고 하였다(Gribble 등, 2014). 또한 Eniseler 등(2012)은 환측과 건측의 최대 근력 비율의 차이가 10%를 초과하는 경우에는 양측의 동요가 커지게 되면서 자세 안정성(postural stability)이 감소한다고 보고하였으며, Kelli 등(2014)은 빈번한 손상에 의한 근육의 약화는 발목관절의 기능적 움직임과 안정성을 약화시킨다고 보고하였다. 따라서 이 연구에서 FAI를 가진 대상자가 등속성 근력이 낮게 나타난 이유는 발목관절의 주변 근육의 약화와 움직임에 관여하는 근육의 불완전한 회복 및 근력의 차이 때문인 것으로 추측된다. 또한 이 연구에서 각속도의 근력 차이가 크지 않았던 것은 저속의 각속도로만 측정이 이루어졌기 때문이라고 생각된다.

균형은 체중을 지지한 상태에서 한 방향으로 치우치지 않고 안정적으로 신체의 중심을 유지하는 기능과 능력을 말하며, 체중의 분포를 균등하게 하는 대칭성과 움직임 시 균형의 손실을 최소화한 동적 안정성의 요소를 포함한다고 하였다(Kelli 등, 2014). 또한 균형은 시각, 전정계 및 체성 감각을 포함한 고유수용감각의 상호작용에 의해 조절되며, 보행과 움직임에 중요한 역할을 한다고 보고하였다(Han 등, 2015). 이 연구에서 눈을 뜬 및 감은 상태에서 정적 균형, 그리고 앞 방향에서 동적 균형은 CON과 비교해서 FAI에서 유의하게 낮게

나타났다. 선행연구에 의하면, 장딴지근의 근력 약화는 앞쪽으로 체중의 중심 이동을 제한시키고(Lima 등, 2014), 발목관절의 반복 손상은 자세안정성과 고유수용감각의 장애를 야기시켜서 동적 안정성에 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다(Leardini et al., 2014). 따라서 이 연구에서 정적 균형능력의 저하는 고유수용성 감각의 장애와 관련성이 있어 보이며, 특히 앞쪽 방향의 동적 균형의 저하는 장딴지근의 근력 약화와 관련성이 있다고 생각된다. 즉, 앞쪽 방향의 동적 균형 동작 시 체중을 버티는 힘과 신체 중심을 안정적으로 유지하는 고유수용성 능력이 감소하였기 때문이라고 생각된다.

일반적으로 보행 중에 안정적인 입각기를 위해서는 발목관절이 발바닥굽힘의 움직임을 유지하는 것이 구조적으로 용이하며(Shamaei 등, 2013), 입각기(Stance phase)중에 발바닥굽힘이 원활하지 않을 경우 발바닥 전체가 땅에 닿거나, 후족부가 아닌 전족부가 먼저 땅에 닿아서 비정상적인 보행 패턴을 갖게 된다고 하였다(Gigi 등, 2015). 이 연구에서 보행 중에 장딴지근의 근활성도는 FAI-N 및 CON과 비교해서 FAI-I에서 유의하게 낮게 나타났으며, 종아리근의 활성도는 FAI-N과 비교해서 FAI-I에서 유의하게 낮게 나타났다. 장딴지근은 종아리뼈머리(femoral condyle)에서 시작하여 발목과 무릎관절을 연결하는 근육으로 발바닥굽힘에 영향을 미치며(Avancini 등, 2015), Gigi 등(2015)은 발목관절의 반복 손상으로 인해 약화된 장딴지근은 발바닥굽힘의 저운동성(hypomobility)을 야기시켜서 입각기에 부정적인 영향을 미친다고 하였다. 또한 갑작스러운 안쪽변짐은 종아리근의 반응시간을 연장시키고, 손상된 발목관절의 압력수용기로부터 감각 신호 전달이 느려지게 되면서 발목관절 주변 근육의 운동 능력이 감소될 수 있다고 하였다(Hagen 등, 2015). 따라서 이 연구에서 보행 중에 근활성도가 낮게 나타난 것은 발목관절의 반복 손상으로 약화된 장딴지근이 입각기 시 발바닥굽힘에 부정적인 영향을 미쳤기 때문인 것으로 생각된다. 또한 발목관절이 손상되어 나타난 압력수용기의 감각신호전달의 지연으로 보행 중에 안정적인 자세를 유지하는데 필요한 발목관절 주변 근육의 근수축 반응시간과 관련된

운동능력이 감소되었기 때문이라고 생각된다.

한편, 발바닥압은 발의 기능뿐만 아니라 신체의 균형 및 보행의 변화를 평가할 수 있는 중요한 요인이다 (Kim, 2016). 이 연구에서 정적 발바닥압의 LRWD는 FAI-N과 비교해서 FAI-I에서 유의하게 높게 나타났으며, 동적 발바닥압의 PD는 FAI-N과 비교해서 FAI-I에서 유의하게 낮게 나타났다. 통상, 고유수용감각의 약화는 발바닥의 감각을 저하시켜서 발바닥압의 중심을 전족부와 외측으로 편향시키는 경향이 있으며, 평균 압력과 동적 움직임에 부정적인 영향을 미친다고 보고하였다(Schmidt, 2011). 또한 Ludwig 등(2016)은 과안쪽 변질을 조절하는 종아리근의 약화는 보행 중에 입각기 시 발바닥압의 중심을 외측 편위 시킨다고 알려져 있으며, John 등(2014)은 보행 중에 발목관절은 안쪽변짐과 가쪽돌림의 움직임이 증가하게 되며, 자세의 안정성이 저하하여 몸통의 동요가 높게 나타난다고 보고하였다. 따라서 이 연구에서 정적과 동적의 발바닥압의 저하는 발목관절의 움직임을 조절하는 고유수용감각의 결함과 발바닥압 중심 변위의 폭이 증가하여 자세 움직임의 변화가 높았기 때문인 것으로 생각된다.

V. 결론

이 연구에서는 기능적 발목관절 불안정성의 등속성 근력과 균형 및 보행 중에 근활성도와 발바닥압의 평가를 검토한 결과, 등속성 근력, 정적 및 동적 균형, 동적 근활성도, 그리고 정적 및 동적 발바닥압은 기능적 발목관절 불안정을 가진 대상에서 전반적으로 부정적인 결과를 보였으며, 특히 정적인 상태뿐만 아니라 동적인 상태에서도 부정적인 결과를 초래하였다는 사실을 확인하였다. 이 연구의 결과를 바탕으로 향후에는 기능적 발목관절 불안정성을 개선하기 위한 운동치료, 운동프로그램의 개발 및 개발된 운동프로그램의 효과 등을 검증할 필요가 있다고 생각된다.

References

Avancini C, Oliveira, Luciano, et al. Variations in the spatial

distribution of the amplitude of surface electromyograms are unlikely explained by changes in the length of medial gastrocnemius fibres with knee joint angle. *PLoS One*. 2015;10(5):e0126888.

Bell DR, Guskiewicz KM, Clark MA, et al. Systematic review of the balance error scoring system. *Sports Health*. 2011;3(3):287-95.

Bowker S, Terada M, Abbey C, et al. Neural excitability and Joint laxity in chronic ankle instability, coper, and control groups. *J Athl Train*. 2016;51(4):336-43.

Brendan J, Kenneth L Cameron, et al. Management and prevention of acute and chronic lateral ankle instability in athletic patient populations. *World J Orthop*. 2015;18(6(2):161-71.

Choi HJ, Nam KW. The effect of horseback riding simulator on static balance of cerebral palsy. *J Korean Soc Phys Ther*. 2014;26(4):269-73.

Chun SY, Choi OJ. The ankle joint position sense, strength and functional ability of the soccer player with functional ankle instability. *The Korean Society of Sports Science*. 2009;18(3):1119-30.

Courtney A, Webster, Maury A, et al. Localized ankle fatigue development and fatigue perception in adults with or without chronic ankle instability. *J Athl Train*. 2016;51(6): 491-7.

Donahue M, Simon J, Docherty CL. Critical review of self-reported functional ankle instability measures. *Foot Ankle Int*. 2011;32(12):1140-6

Eniseler N, Şahan C, Vurgun H, et al. Isokinetic strength responses to season-long training and competition in turkish elite soccer players. *J Hum Kinet*. 2012; 31:159-68.

Faul, F, Erdfelder E, Lang A. G, et al. G*Power 3: A flexible statistical power analysis pro-gram for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods*. 2007;39(2):175-91.

Gigi R, Haim A, Luger E, et al. Deviations in gait metrics in patients with chronic ankle instability: a case control

- study. *J Foot Ankle Res.* 2015;8(1):1-8.
- Golanó P, Vega J, Peter A. J, et al. Anatomy of the ankle ligaments: a pictorial essay. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(5):557-69.
- Gong WT, Cho GY, Han JM. The analysis of static foot pressure on functional leg length inequality. *J of the Kor Data Anal Soci.* 2009;11(3):1245-56.
- Gribble PA, Delahunt E, Bleakley C, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the international ankle consortium. *J Athl Train.* 2014;49(1):121-7.
- Hagen M, Lescher S, Gerhardt A, et al. Shank muscle strength training changes foot behaviour during a sudden ankle supination. *PLoS One.* 2015;10(6):e0130290.
- Han J, Anso J, Waddington G, et al. The role of ankle proprioception for balance control in relation to sports performance and Injury. *Biomed Res Int.* 2015; 2015:842804.
- Hermie J, Hermens, Roberto M, et al. European recommendations for surface electromyography, results of the SENIAM project. *Roessingh Research and Development.* 1999.
- 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. *J Phys Ther Sci.* 2017;29(10):1720-2. *J Sport Health Sci.* 2013;2(3):131-7.
- Jadelis K, Miller ME, Ettinger WH, et al. Strength, balance, and the modifying effects of obesity and knee pain: results from the observational arthritis study in seniors (oasis). *J Am Geriatr Soc.* 2001;49(7):884-91.
- John E, Kovaleski, Robert J, et al. Joint stability characteristics of the ankle complex in female athletes with histories of lateral ankle sprain, part II: clinical experience using astrometric measurement. *J Athl Train.* 2014; 49(2):198-203.
- Kelli R, Snyder, Todd A, et al. Developing a framework for ankle function: a delphi study. *J Athl Train.* 2014;49(6):747-57.
- Kim HS. The effect of the plantar pressure on dynamic balance by fatigue of leg in the subjects with functional ankle instability. *The Journal of the Korea Contents Association.* 2016;16(1):734-42.
- Kim YJ, Ji JG, Kim JT. The 20-year-old women's shoes steps according to the type of comparative study on the low-pressure zones. *J Kor of sports Bio.* 2004;14(3): 83-98.
- Ko SU, Eleanor M, Simonsick, et al. Ankle proprioception associated gait patterns in older adults: results from the BLSA. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(11):2190-4.
- Leardini A, Connor, Giannini S. Biomechanics of the natural, arthritic, and replaced human ankle joint. *J Foot Ankle Res.* 2014;7:8.
- Lim JH, Choi SH, Seo SK, et al. The comparison of ultrasound images on trunk muscles according to gender. *J Korean Soc Phys Med.* 2015;10(2):73-80.
- Lima BN, Lucareli PR, Gomes WA, et al. The acute effects of unilateral ankle plantar flexors static- stretching on postural sway and gastrocnemius muscle activity during single-leg balance tasks. *J Sports Sci Med.* 2014;13(3):564-70.
- Ludwig O, Kelm J, Fröhlich M. The influence of insoles with a peroneal pressure point on the electromyographic activity of tibialis anterior and peroneus longus during gait. *J Foot Ankle Res.* 2016;9(1):33.
- Muehlbauer T, Roth R, Mueller S, et al. Intra and intersession reliability of balance measures during one-leg standing in young adults. *J Strength Cond Res.* 2011;25(8): 2228-34.
- Omar A. Mohrej AI, Nader S, et al. Acute ankle sprain: conservative or surgical approach? *EFORT Open Rev.* 2016;1(2):34-44.
- Park HJ, Sim SM, Choi JD, et al. The effects of isometric lower limb contraction on the activation of contralateral trunk muscles in healthy young adults in supine position. *Phys Ther Korea.* 2012;19(3):11-9.

Schmidt H, Sauer LD, Lee SY, et al. Increased in-shoe lateral plantar pressures with chronic ankle instability. *Foot Ankle Int.* 2011;32(11):1075-80.

Shamaei K, Gregory S, Sawicki, et al. Estimation of quasi-stiffness and propulsive work of the human ankle in the stance phase of walking. *PLoS One.* 2013;8(3):e59935.

Sheehan DP, Katz L. The effects of a daily, 6-week exergaming

curriculum on balance in fourth grade children.

Walls J, Ross KA, Fraser EJ, et al. Football injuries of the ankle: A review of injury mechanisms, diagnosis and management. *World J Orthop.* 2016;18(1):8-19.

Waterman BR, Owens BD, Davey S, et al. The epidemiology of ankle sprains in the united states. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92(13):2279-84.