KJSB Korean Journal of Sport Biomechanics 2019; 29(2): 61-70
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2019.29.2.61
http://e-kjsb.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

The Structural Characteristics of the Ankle Joint Complex and Declination of the Subtalar Joint Rotation Axis between Chronic Ankle Instability (CAI) Patients and Healthy Control

만성 발목 불안정성(CAI) 환자와 건강 대조군 간의 발목 관절 복합체 구조적 특징과 목말밑 관절 회전 축 기울기

Chang Young Kim[1], Ji Hye Ryu[3], Tae Kyu Kang[1], Byong Hun Kim[1], Sung Cheol Lee[1,2,3], Sae Yong Lee[1,2,3]

[1]Yonsei Institute of Sports Science and Exercise Medicine (YISSEM), Yonsei University, Seoul, South Korea
[2]Department of Physical Education, Yonsei University, Seoul, South Korea
[3]Graduate School of Education, Yonsei University, Seoul, South Korea

Received : 13 March 2019
Revised : 02 May 2019
Accepted : 02 May 2019

Corresponding Author
Sae Yong Lee
Department of Physical Education, Yonsei University, Sports Complex building #310, Seoul, 03722, South Korea
Tel : +82-2-2123-6189
Fax : +82-2-2123-4729
Email : sylee1@yonsei.ac.kr

Objective: This study aimed to investigate the characteristics of the declination of the subtalar joint rotation axis and the structural features of the ankle joint complex such as rear-foot angle alignment and ligament laxity test between chronic ankle instability (CAI) patients and healthy control.

Method: A total of 76 subjects and CAI group (N=38, age: 23.11 ± 7.63 yrs, height: 165.67 ± 9.54 cm, weight: 60.13 ± 11.71 kg) and healthy control (N=38, age: 23.55 ± 7.03 yrs, height: 167.92 ± 9.22 cm, weight: 64.58 ± 13.40 kg) participated in this study.

Results: The declination of the subtalar joint rotation axis of the CAI group was statistically different from healthy control in both sagittal slope and transverse slope. The rear-foot angle of CAI group was different from a healthy control. Compared to healthy control, they had the structure of rear-foot varus that could have a high occurrence rate of ankle varus sprain. CAI group had loose ATFL and CFL compared to the healthy control.

Conclusion: The results of this study showed that the deviation of the subtalar joint rotation axis and the structural features of the ankle joint complex were different between the CAI group and the healthy control and this difference is a meaningful factor in the occurrence of lateral ankle sprains.

Keywords: Subtalar joint axis, Chronic ankle instability, Rear-foot angle, Talar tilt test, Anterior drawer test

INTRODUCTION

경쟁적인 스포츠 활동을 포함한 스포츠 관련 부상이 많이 발생하고 있으며(Cho, Kim, Moon, Cho, & Lee, 2010), 가장 빈번히 발생하는 부상은 과도한 발목의 발바닥굽힘(족척굴곡, plantar flexion), 안쪽번짐(내번, inversion), 후족(rear-foot)의 과도한 뒤침(회외, supination) 움직임과 종아리(하퇴, leg)의 가쪽 돌림(외 회전, external rotation) 움직임을 통해 발생한다고 알려져 있는 발목가쪽염좌(lateral ankle sprain) 부상이다(Croy, Koppenhaver, Saliba, & Hertel, 2013; Hertel, 2002). 스포츠 관련

Copyright © 2019 Korean Journal of Sport Biomechanics
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 noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

부상 중 약 77%가 하지(Lower extremity)에서 발생한다고 보고되었으며, 이중 발목 부상은 18%를 차지한다고 알려져 있다(Beynnon, Murphy, & Alosa, 2002; Lynch, 2002; Tropp, Askling, & Gillquist, 1985). 발목 부상의 부위는 85% 이상이 앞목말종아리인대(전거비 인대, anterior talofibular ligament, ATFL)나 발꿈치종아리인대(종비인대, calcaneofibular ligament, CFL)와 같은 외측 인대(lateral ligament) 손상이라고 보고되고 있으며(Balduini & Tetzlaff, 1982; Beynnon et al., 2002; Kim, Kim, Kang, Cho, & Lee, 2018), 해당 인대들의 불완전한 치유(incomplete healing)는 만성 발목 불완전성 환자로의 발전에 미치는 영향이 크다고 하였다(Bahr et al., 1997; Hollis, Blasier, & Flahiff, 1995; Hollis, Blasier, Flahiff, & Hofmann, 1995; Hubbard & Cordova, 2009). 만성 발목 불안정성(chronic ankle instability)은 첫 번째 발목 염좌 부상 이후 부상 부위의 관리 소홀 및 방치 그리고 재활 운동의 부족 등의 여러 이유로 발생한다고 알려져 있으며(Jeon, Kim, Ryew, & Hyun, 2018), 만성적인 발목의 불안정성과 휘청거림(giving-way) 그리고 통증(pain)과 부종(swelling) 등이 발생하는 질환이며, 외상 후(post-traumatic) 발목 관절염의 주요 원인이라고 하였다(Doherty et al., 2014; Hubbard & Hertel, 2006). 반복적인 발목 염좌 부상은 관련 인대들의 과도한 신전, 찢어짐 유발 및 앞 목말종아리관절(거퇴 관절, anterior talocrural joint)의 느슨함 발생과 연관이 있다고 하였고 이를 검사하기 위해 전방 끌림 검사(앞당김 검사, anterior drawer test, ADT)와 목말뼈 경사 검사(거골 기울기 검사, talar tilt test) 등을 사용하여 측정한다고 하였다(Croy, Saliba, Saliba, Anderson, & Hertel, 2013; Lynch, 2002). 첫 발목 염좌 이후 반복적인 발목 염좌를 통해 만성 발목 불안정성(chronic ankle instability) 환자로 발전되는 경우는 약 31~40%의 비율이라고 하였으며(Freeman, 1965), 만성 발목 불안정성을 가진 환자의 약 10~15%는 목말밑 관절(거골하 관절, subtalar joint, STJ) 불안정성과 관련이 있다고 하였다(Larsen, 1988).

목말밑 관절은 목말뼈(거골, talus)과 발꿈치뼈(종골, calcaneus)가 이루는 발목 내에 위치한 관절로 발의 엎침과 뒤침 동작을 가능하게 하는 관절이라고 하였으며(Kirby, 2001; Rockar, 1995), 보행 시 추진 구간(propulsive phase)에서 시상면(sagittal plane)의 안정성 유지 및 발의 뒤침 움직임을 가능 하게 하고, 불규칙한 지면에 발을 지지 시 발의 엎침 움직임을 가능하게 한다고 하였다(Kirby, 2001). 엎침(pronation) 및 뒤침(supination) 발의 안정성과 부상 발생에 있어 매우 중요한 움직임이라고 알려져 있으며, 목말밑 관절 회전 축 측정을 위한 임상 장비의 개발도 진행되는 등(Spooner & Kirby, 2006) 목말밑 관절의 축 측정이 발목 부상 발생을 비롯한 임상적 측면에서 매우 중요한 관절임을 알 수 있다. 목말밑 관절 축의 위치에 따라 관절 내 엎침 및 뒤침 모멘트의 발생 가능성은 내측으로 편위(deviated)된 관절 축의 경우 발꿈치뼈에 작용된 지면반력(GRF

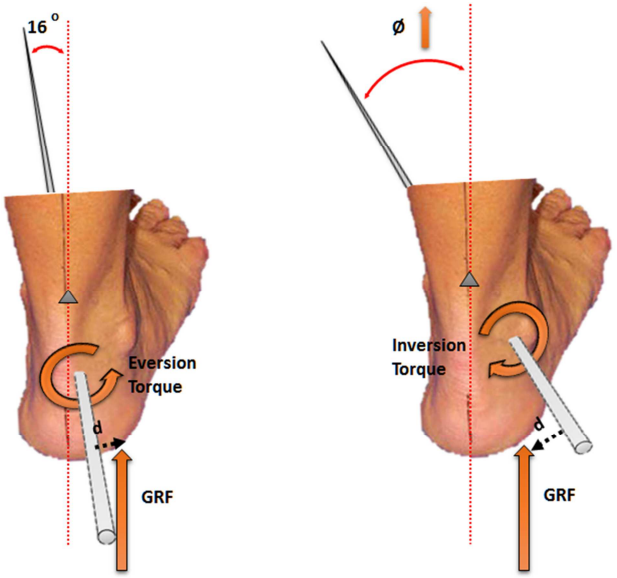

Figure 1. Normal and medial deviated axis of subtalar joint

C)은 목말밑 관절 뒤침 모멘트를 일으킬 수 있는 모멘트 암이 감소하고 발의 바깥쪽에 작용된 지면반력(GRF FF)은 목말밑 관절 엎침 모멘트를 발생시키는 모멘트 암이 증가하여 목말밑 관절의 엎침 모멘트가 생성된다고 하였으며, 외측 편위의 경우 이와 반대로 엎침 모멘트가 생성된다고 하였다(Kirby, 2001), (Figure 1). 이처럼 관절 축 편위 방향에 따라 발생될 수 있는 모멘트의 방향이 달라질 수 있다는 것은 발목 부상 발생과 직결되는 중요한 변인이라는 것을 의미하며, 축의 편위를 파악하는 것이 매우 중요한 부분이라는 것을 알 수 있다.

후족 각도는 중립 위치의 정강뼈(경골, tibia) 먼쪽(원위, distal) 1/3과 발꿈치뼈가 이루는 각도로 정의 하며, 발목 외측 인대 염좌 부상의 잠재적 위험 요인이라고 보고되고 있다(Morrison & Kaminski, 2007). 하지 정렬의 범위는 힘이 신체 구조에 적용되는 방향에 영향을 줄 수 있고 비정상적인 발의 정렬 상태는 부상 또는 부상 위험이 있는 범위에서의 힘 적용으로 인해 부정적인 영향을 줄 수 있다고 하였으며(Friel, McLean, Myers, & Caceres, 2006; Nigg, Cole, & Nachbauer, 1993), 체중 지지 제한 상태(non-weight bearing)에서의 정렬 각도는 걷기와 달리기 동안의 운동학에 영향을 준다고 하였다(Monaghan et al., 2014; Monaghan et al., 2013). 정상 범위의 후족 각도는 발목과 목말밑 관절의 과도한 안쪽번짐에 의한 부하로부터 보호해 주는 역할을 한다고 알려져 있지만 이와 반대로 정상 범위를 벗어난 경우 발목 염좌 부상에 위험 요인이 될 수 있다고 하였다(Beynnon, Renstrom, Alosa, Baumhauer, & Vacek, 2001). 특히 후족 내반(rear-foot varus) 정렬(alignment) 구조는 목말밑 관절의 과도한 안쪽번짐 움직임을 유발할 수 있다고 하였는데

Table 1. Inclusion criteria (CAI)

List	Criteria
A history of at least 1 significant ankle sprain • The initial sprain must have occurred at least 12 months prior to study enrollment • Was associated with inflammatory symptoms (pain, swelling, etc.) • Created at least 1 interrupted day of desired physical activity **A history of the previously injured ankle joint 'giving way', and/or recurrent sprain and/or 'feelings of instability'** • Ankle Instability Instrument (AII): answer 'yes' to at least five yes/no questions (This should include question 1, plus four others) **A general self-reported foot and ankle function questionnaire is recommended to describe the level of disability of the cohort, but should only be an inclusion criterion if the level of self-reported function is important to the research question (FAAM)**	
Ankle Instability Instrument	≧5
Foot and Ankle Ability Measure -Sports subscale-	<80
Foot and Ankle Ability Measure -Activities of Daily Living subscale-	<90

Table 2. Characteristic subject (Mean ± SD)

Variables	CAI (n=38)	Healthy (n=38)
Age (years)	23.11 ± 7.63	23.55 ± 7.03
Height (cm)	165.67 ± 9.54	167.92 ± 13.40
Weight (kg)	60.13 ± 11.71	64.58 ± 13.40

(Donatelli et al., 1999; Souza et al., 2009; Tomaro, 1995) 후족 각도는 발의 안쪽번짐 움직임과 직접적인 연관이 있는 만큼 발목 염좌 부상과 관련하여 중요한 변인이 될 수 있다고 할 수 있다. 목말밑 관절 축 위치, 주요 인대의 특성, 그리고 후족 각도와 같이 발 구조의 생체 역학적 특성은 발목에서 발생할 수 있는 움직임은 물론이고 부상이 발생할 때 영향을 줄 수 있는 변인이라고 할 수 있으며, 만성 발목 관절 불안정성 환자들은 첫 번째 발목 부상 이후 관리 소홀과 치료 부족 등으로 지속적인 발목의 부상이 발생되는 상황을 의미한다. 발목의 부상은 인간의 움직임에 있어 기본적인 부분이자 일상생활 및 스포츠 활동을 함에 있어 더 나은 삶의 질을 영위하는데 있어 직결된 부분으로 알려져 있는 만큼 발목 부상의 예방은 매우 중요하다는 것을 짐작해 볼 수 있다. 본 연구의 목적인 만성 불안정성 환자들과 control 그룹 간의 목말밑 관절 축 및 발 구조의 특징을 파악하여 발목 부상과 관련된 기초자료를 제공한다면 발목 부상 발생의 원인 또는 예방하는데 있어 이후에 발생할 의료적 비용의 절감은 물론이고 무엇보다 일상생활 및 스포츠 활동을 함에 있어 더 나은 삶의 질을 영위할 수 있는 가능성이 증가한다는 점에서 목말밑 관절 축 위치, 주요 인대의 특성, 그리고 후족 각도와 같은 발목 움직임에 영향을 주는 변인들에 대해 알아볼 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 만성 발목 불안정성 환자들과 control 그룹 간의 목말밑 관절 축 위치, 주요 인대의 특성, 그리고 후족 각도들을 파악하여 발목 부상과 관련된 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

METHOD

1. 실험 참여자

본 연구는 국제발목협회(International Ankle Consortium, IAC)에서 권고하는 CAI 환자의 표준 포함 기준에 만족하는 만20~55세의 사람들로 모집하였다(Gribble et al., 2014). 국제발목협회의 권고에 따라 만성 발목 불안정성 환자(CAI) 선별 관련 설문지로 Ankle Instability Instrument (AII), (Doherty et al., 2014)와 Foot and Ankle Ability Measure (FAAM), (Sports subscale, Activities of Daily Living subscale), (Carcia, Martin, & Drouin, 2008)를 사용하여 최소한 한 번의 심각한 발목 염좌 병력이 있는 인원을 대상으로 자가 입력 방식으로 산출된 점수를 아래 Table 1의 점수에 근거해 CAI 군을 선발하였고 제외 기준은 최근 3개월간 하지 부상 경험이 있거나 수술 및 골절 경험이 있을 경우 대상자에서 제외시켰다. Control 그룹은 신체 건강한 사람들을 무작위로 모집하였다. 모집 결과, CAI 그룹 38명 그리고 control 그룹 38명으로 총 76명으로 선정하여 실험을 진행하였다(Table 2). 모집된 모든 피험자들은(n=76) 실험에 참여하기 전 실험 과정에 대한 설명과 충분한 이해를 한 후 참여 의사 및 동의서와 만성 발목 불안정성 환자(CAI) 선별 관련 설문지를 자가 입력 방식으로 진행하였다.

2. 연구 측정

선별된 CAI 환자군, control 그룹을 바탕으로 목말밑 관절 기울기, 후족 각도, 전방 끌림 검사, 목말뼈 경사 검사를 실시하였으며, 사용된 장비들은 Table 3과 같다(Table 3).

Table 3. Research equipment

Item	Instrument	Unit
Subtalar locator	The subtalar joint axis locator (Spooner & Kirby, 2006) -Based on research and self-produced	1
Digital goniometer	Level box mini digital inclinometer	1
Circular goniometer	Baseline 12-1000-25 plastic goniometer 360 degree gead 12 inch arms	1

1) 목말밑 관절 회전축 측정

Spooner & Kirby의 연구에서 개발된 Sub talar locator를 바탕으로 자체 제작한 locator를 사용하여 CAI 그룹과 control 그룹 간 목말밑 관절 회전 축 기울기를 측정하였으며, Subtalar locator 측정 방법은 목말뼈(거골, talus) 안쪽과 발꿈치뼈(종골, calcaneus) 바깥쪽에 볼펜으로 X표시를 여러 개 그린 후 발목을 좌우로 움직여 보면서 가장 움직임이 없다고 생각되는 X표를 그린 곳에 빨간색으로 표시한다. 가장 움직이지 않는 곳을 찾는 이유는 그곳이 축이라 가정 하기 때문이다. 목말뼈와 발꿈치뼈에 각각 축을 표시한 후 고정대로 고정하고 표시한 목말밑 관절 회전 축에 포인터를 맞춰 회전 축을 고정시킨 뒤 디지털 수평 계를 사용하여 시상면과 수평면의 각도를 측정하는 방법으로 목말밑 관절 회전 축 기울기를 측정하였다(Spooner & Kirby, 2006), (Figure 2).

Figure 2. Subtalar locator measurement

2) 후족 각도 측정

후족 각도 측정은 먼저 피험자를 침대 끝에 다리 1/3 지점이 나오도록 엎드리게 한 후, 장딴지근(비복근, Gastrocnemius)의 근-건 연접 부에서부터 발꿈치뼈 끝부분까지 이분선(bisecting line)을 긋고 발의 중립 자세(neutral position)를 찾기 위해 엄지와 검지를 사용하여 발목 양쪽에서 목말뼈를 촉진하여 손에 느껴지는 목말뼈의 느낌이 양 손가락에 동일하게 느껴진다고 생각되는 위치를 통해(Smith, Clarke, Hamill, & Santopietro, 1986) 중립 자세를 찾은 뒤 피험자에게 중립 위치에서 고정을 하고 최대한 움직이지 않게 한 상태에서 원형 각도계를 장딴지 근과 발꿈치뼈 위에 위치시킨 후 그 상태에서 후족 각도를 측정하였다(Garbalosa, McClure, Catlin, & Wooden, 1994), (Figure 3).

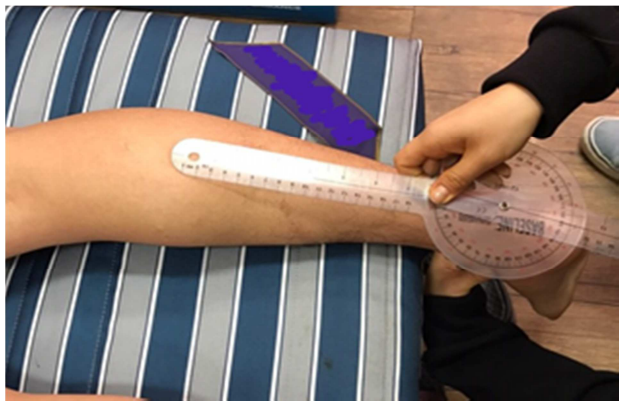

Figure 3. Rear-foot angle measurement

3) 전방 끌림 검사, 목말뼈 경사 측정

CAI 그룹이 어느 정도 기계적인 불안정성을 지니고 있는지 파악하기 위하여 전방 끌림 검사와 목말뼈 경사 검사를 실시하였다. 앞 목말 종아리인대의 느슨함을 검사해 봄으로써 손상 여부를 진단하는 검사인 전방 끌림 검사는 발목을 발바닥쪽 굽힘 한 상태에서 검사자는 한 손으로 피험자의 정강뼈를 고정시키고 다른 손으로 발꿈치 뼈를 전방 전위시키는 동안 발이 앞으로 밀리거나 덜컥거리는 느낌 또는 소리를 통해 전방 거비인대의 손상을 확인하는 검사이며, 자료 수집은 피험자

의 발꿈치뼈를 전방 전위시켰을 때 발이 앞으로 밀려나오거나 덜컥거리는 느낌이나 소리가 나면 양성반응(Positive)으로 기록하고, 그렇지 않은 경우 음성반응(Negative)으로 기록하였다. 발꿈치종아리인대의 손상 여부를 진단하는 검사인 목말뼈 경사 검사는 발을 하지와 90도가 되도록 고정한 상태에서 검사자는 한 손으로 정강뼈를 고정시키고 다른 손으로는 발꿈치를 잡고 내번시키는 방법을 통해 발꿈치종아리인대의 손상을 확인하는 방법으로 자료 수집과 분석은 피험자의 발꿈치를 잡고 안쪽번짐 시켰을 때 목말뼈가 지나치게 움직이면 양성반응으로 기록하고, 반대의 경우 음성반응으로 기록하였다. 이 두 개의 테스트는 인증받은 선수 트레이너(certificated athletic trainer)가 직접 측정을 하여 결과를 기록하였다.

3. 통계 분석

본 연구의 통계 처리는 SPSS 21.0 (IBM, USA)을 이용하였고, 발목 불안정성 여부에 따른 두 집단(CAI, Healthy)의 목말밑 관절 특징의 크기 차이를 분석하기 위하여 Hedges'를 통해 효과크기(effect size)와 신뢰구간(confidence interval)을 분석하였다(유의수준 $\alpha < .05$).

RESULTS

1. 신뢰도 측정

거골하 중립 상태에서 후족 각도 측정, 목말밑 관절 기울기 각도 측정의 신뢰도를 확보하기 위해 첫 번째 측정 후, 24시간이 지난 후 재 측정하여 신뢰도를 측정하였다. 후족 각도의 급내 상관계수 값은 .912으로 아주 높은 상관관계를 보였으며, 목말밑 관절 기울기 각도의 급내 상관계수는 시상면(.942), 가로면(.921)로 매우 높게 나타났다(Table 4).

Table 4. Intra-class correlation coefficient (ICC) of all measure

Measures	ICC	SE
Rear foot (prone)	0.912	2.683
STJ sagittal	0.942	2.473
STJ transverse	0.921	3.532

SE: Standard Error

2. 목말밑 관절 측정 결과

CAI 그룹과 Control 그룹의 목말밑 관절 기울기 비교 결과, 아래의 표와 같이 시상면(sagittal) 그리고 가로면(transverse)에서의 기울기 크기 차이는 두 기울기에서 모두 차이가 나타났으며, 크기 차이도 상당히 큰 것(Hedges'g>.5)으로 나타났고 통계적으로도 유의한 차이가 나타났다(Table 5).

3. 후족 각도 측정 결과

CAI 그룹과 control 그룹의 Rear-foot angle 비교 결과, 아래의 표와 같이 두 그룹 간 후족각의 차이는 상당히 큰 것

Table 5. Result of subtalar joint locator (Mean ± SD)

Variables	Group	N	Results	Hedges'g	CI	
STJ sagittal (°)	CAI	38	44.30 ± 3.90	0.55	Lower	Upper
	H	38	42.09 ± 4.04		0.09	1.01
STJ transverse (°)	CAI	38	17.64 ± 1.40	0.66	Lower	Upper
	H	38	16.67 ± 1.51		0.2	1.12

CAI: Chronic ankle instability, H: Healthy

Table 6. Result of rear-foot angle (Mean ± SD)

Variables	Group	N	Results	Hedges'g	CI	
Rear-foot angle (°)	CAI	38	8.94 ± 3.57	0.71	Lower	Upper
	H	38	6.74 ± 2.46		0.25	1.17

Rear-foot angle (prone position): + inversion, varus, CAI: Chronic ankle instability, H: Healthy

(Hedges'g>.5)으로 나타났으며, 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(Table 6).

4. 전방 끌림 검사, 목발뼈 경사 검사 측정 결과

전방 끌림 검사에서는 CAI 그룹에서는 4명이 양성반응을 보였으며, control 그룹에서는 모두 음성반응을 보였다. 목말뼈 경사 검사에서는 CAI 그룹에서는 17명이 양성반응을 보였으며 control 그룹에서는 4명만이 양성반응을 나타내었으며, 두 그룹 간 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 7).

Table 7. Result of anterior drawer test and talar tilt test (Mean ± SD)

Variables	Group	P (positive)	N (negative)
Anterior drawer test	CAI	4	34
	H	0	38
Talar tilt test	CAI	17	21
	H	4	34

CAI: Chronic ankle instability, H: Healthy

DISCUSSION

본 연구의 목적은 만성 발목 불안정성 환자들과 control 그룹 간의 목말밑 관절 회전 축의 형태, 후족 각도 그리고 발목 염좌와 관련된 인대의 구조적 특성들을 파악하여 발목 부상과 관련된 기초자료를 제공하는데 있다. 이 연구의 주요 결과는 목말밑 관절 회전 축의 형태, 전방 끌림 검사, 목말뼈 경사 검사 그리고 후족 각도 등의 발목의 구조적 특성에서 두 그룹 간 차이가 있음을 확인했다는 것이며, 특히 만성 발목 불안정성 환자 그룹의 결과는 선행연구에서 언급된 결과들에 비추어 보아 발목 부상의 발생과 관련이 있는 위험 범위에 해당하는 결과를 보이는 것으로 확인되었다. 이는 발의 구조적 특성에 따라 발목 염좌의 발생에 영향을 줄 수 있을 수 있다는 것을 의미함과 동시에 만성 발목 불안정성 환자군이 control 그룹 군에 비해 발목 부상의 발생과 관련하여 좀 더 불리한 구조적 특성을 가지고 있다고 볼 수 있다.

1. 목말밑 관절 회전축과 발목 부상

목말밑 관절 회전 축에 따른 각도를 살펴보면 시상면 각도는 통제그룹(42.09°±4.04°)에 비해 CAI 환자(44.30°±3.90°) 그룹이 평균 2.21° 위쪽으로 더 많이 기울어져 있었으며, 가로면 각도는 통제그룹(16.67°±1.51°)에 비해 CAI 환자(17.64°±1.40°) 그룹이 평균 0.97° 더 많이 안쪽 편위(medial deviated)된 것을 확인할 수 있었다(Figure 1). Kirby의 연구에 따르면 목말밑 관절의 위치와 발 구조에 따라 관절 축의 공간적 위치가 달라진다고 하였고 이 공간적 위치는 발목의 뒤침 또는 엎침의 모멘트 크기와 균형, 즉 발의 회전 평형(rotational equilibrium)에 직접적인 영향을 준다고 하였는데(Kirby, 2001) 본 연구 결과에서 나타난 CAI 환자군의 더 큰 목말밑 관절의 기울기는 뒤침 또는 엎침의 모멘트에 영향을 줄 수 있을 것이라 생각된다. 일반적으로 목말밑 관절의 정상 축은 뒤꿈치 외측에서 엄지발가락 쪽을 향하며(Kirby, 2001), 보행 패턴의 초기 접지 시 발뒤꿈치의 외측이 닿게 되는 순간 수평면에서의 회전 축이 내측으로 기울어질수록 뒤침 모멘트팔의 길이가 짧아지게 되어 외측 발목 관절 염좌의 위험 요인이 될 수 있다고 하였는데 이를 본 연구의 결과에 비춰보면 control 그룹 군에 비해 더 내측으로 편위된 만성 발목 불안정성 환자군의 목말밑 관절의 기울기는 뒤침 모멘트의 생성하여 발목 가쪽 염좌의 발생을 유발할 수 있다(Figure 1). 이와 더불어 목말밑 관절의 회전 축이 외측으로 편위될 경우 모멘트팔의 길이에 의해 반대로 엎침이 발생하게 바뀌게 됨을 주지해야 한다.

본 연구에서는 이러한 이유로 발목 염좌 손상의 기전에서 목말뼈 관절의 형태학적인 특성이 미치는 영향을 확인해 보기 위해 진행되었고 앞서 Kirby가 언급하였듯이 관절 회전 축의 기울기는 발의 회전 평형을 결정하는 요인이기 때문에 발의 이마면(frontal plane) 움직임과 관련하여 매우 중요시 되는 요인이 될 것이다. 목말밑 관절이 중요한 또 다른 이유는 관절 축의 공간적 위치가 변하면 지지구간에 따라 발의 해당 움직임에 영향을 주기 때문이라고 하였는데(Kirby, 1987) CAI 환자군의 더 큰 목말밑 관절의 기울기는 발의 해당 움직임에 영향을 줄 것이라 예상되며, 발목 관절 염좌 발생과 관련한 보행 시 지지구간인 초기 접지부터 loading response까지의 첫 번째 rocker 구간에서 목말뼈 관절의 내측 기울기가 커질수록 발 뒤침 동작의 저항성이 떨어져 반복적인 발목 염좌의 원인이 될 수 있다고 하였다(Kirby, 1992). 또한 이러한 모멘트팔의 변화는 Figure 4에서 보는 바와 같이 신발을 신었을 경우 모멘트팔의 변화로 인해 현저하게 뒤침의 저항성이 떨어지고 엎침 모멘트 발생 가능성이 높아지게 됨을 알 수 있다(Figure 4).

본 연구의 결과에서 나타난 목말밑 관절의 시상면 기울기는 CAI 환자인 경우 경사가 급한 것으로 나타났는데 Brockett & Champman의 연구에 의하면 시상면에서의 기울기가 클수록 발에서의 동작은 몸쪽(proximal) 분절로의 전이양이 더욱 커진다고 하였다(Brockett & Chapman, 2016). 따라서 CAI 환자들은 동적인 상황에서 몸 쪽으로의 동작 전이가 더욱 커짐을 유의하여야 할 것이고 이로 인해 발생 가능한 과사용(overuse)에 의한 손상의 위험도 고려해 봐야 할 것이다(Lilley, Herb, Hart,

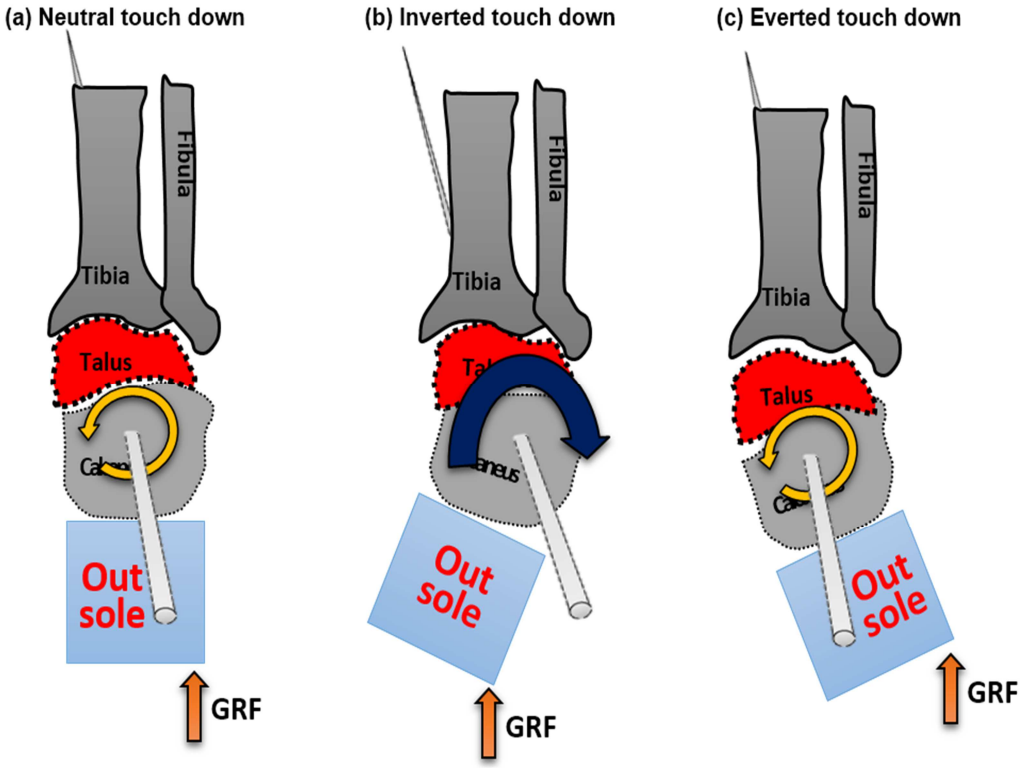

Figure 4. Normal inclination of subtalar joint axis of rotation with shoes on

& Hertel, 2018). 따라서 CAI 환자들이 가진 특성에 의한 과사용 손상 발생의 위험성이 높다는 것을 인지하여 생체역학적인 이상(irregularity) 동작들을 중재할 수 있는 전략적인 접근도 이해해야 할 것이다. 즉, 만성 발목 관절 불안정성을 지닌 환자들의 기계적인 느슨함과 고유수용성 기능의 저하로 인하여 (Delahunt et al., 2010) 발에서의 피드백을 통한 정상 보행 패턴으로의 회귀가 어려울 것이라 판단됨에 따라 발의 기계적 수용기의 피드백 정보를 통한 동작 조절 기능을 향상시킬 수 있는 근 신경훈련의 적용 및 아울러 몸쪽 부의 과도하지 않은 가로면 동작의 내회전이 원활하게 발생하는지를 확인하여 발에서의 엎침 동작이 지속적으로 발생할 수 있도록 하는 근위부의 동작 조절을 통하여 원활한 정상 보행을 훈련시키는 전략적인 접근이 필요할 것으로 보인다.

본 연구의 결과를 살펴보면 CAI 환자군의 각도가 시상면(2.21˚)이 더 크고, 가로면(0.97˚)이 안쪽으로 내측 편위되는 등 모두 control 그룹에 비해 더 큰 기울기를 나타내는 것으로 확인하였고 선행연구의 결과에 비춰보아 CAI 환자군 각도가 정상 범위의 각도를 벗어나는 것을 알 수 있었다. 연구 결과를 통해 control 그룹과 CAI 환자군의 목말밑 관절 회전 축의 범위가 다르다는 것을 알 수 있었으며, 더 나아가 CAI 환자군의 목말밑 관절 회전 축의 범위가 발목 염좌 발생 가능성과 관련하여 control 그룹에 비해 더 위험한 위치에 있다는 것을 알 수 있었다.

목말밑 관절의 축이 정상 범위에서 벗어난 경우, 축의 위치에 따른 발생 모멘트와 발에 전달되는 지면반력의 크기로 인해 발목 염좌 부상의 발생이 유발될 수 있다고 판단되며, 본 연구의 결과에 비춰보면 CAI 환자군의 목말밑 관절 축이 정상 범위에서 벗어난 것은 물론 그 범위가 위험 범위에 있으므로 control 그룹에 비해 더 발목 염좌 부상 위험에 노출되어 있다고 볼 수 있다.

2. 후족각도와 발목 부상

후족 각도에서는 CAI 그룹이 control 그룹에 비해 후족 내반(rear foot varus)으로 평균 2.2˚ 더 varus alignment를 보이는 것으로 확인되었으며, 후족 내반의 특성을 가진 상태에서 발 안쪽이 돌출된 지면을 디딜 때 발목 관절이 쉽게 안쪽번짐 되기 쉽기 때문에 발목 안쪽번짐 염좌로 이어질 확률이 높다는 McPoil (1988)의 선행연구 결과로 보아 CAI 환자들이 control 그룹에 비해 발목 부상을 당할 가능성이 더 높다고 볼 수 있다 (McPoil, Knecht, & Schuit, 1988), (Figure 5). CAI 환자들의 목말밑 관절 회전 축이 control 그룹에 비해 위쪽과 안쪽으로 더

많이 기울어져 있었는데, 후족 각도 또한 안쪽으로 더 많이 기울어져 있는 발의 형태를 가지고 있는 것으로 나타났다. 후족 각도는 보행 시 지면 접지 순간 발의 외측 뒤꿈치가 지면에 가장 먼저 닿을 가능성을 높여주고 접지 위치가 목말밑 관절 회전 축의 안쪽으로 옮겨지게 되어 뒤침 모멘트의 원인이 되는데 이러한 특성으로 인해 CAI 환자들은 잦은 발목 뒤침 염좌의 발생 가능성이 높아질 수 있을 것이다.

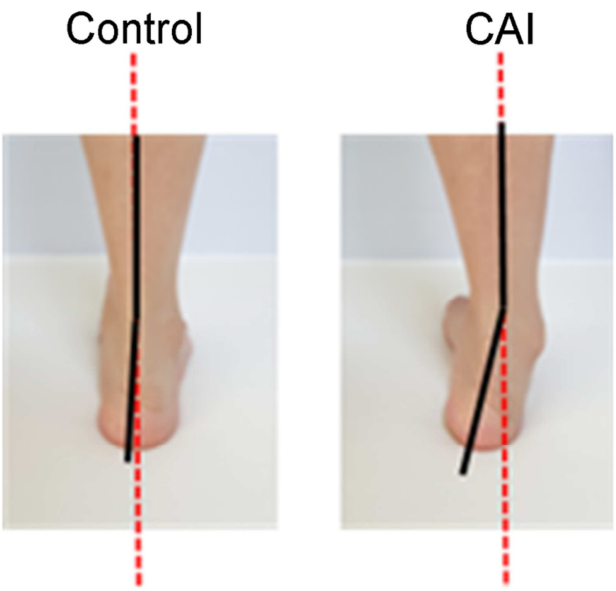

Figure 5. Rear foot angle alignment between two groups

발목 후족 내반(rear foot varus) 변형이 심한 발의 경우 후족의 뒤침 불안정성(supination instability)이 증가한다고 하며 이의 원인은 뒤침 모멘트 암이 증가하기 때문이다. 즉, 목말밑 관절 축의 기울기와 후족각 즉, 목말뼈 관절의 중립 위치에 따라 뒤침/엎침 모멘트의 발생 가능성의 정도가 달라지는 것을 알 수 있으며, 후족 각도는 발목 뒤침/엎침 모멘트의 발생 및 발에 미칠 수 있는 영향을 예측할 수 있는 주요한 변인이라고 판단된다.

3. 전방 끌림 검사, 목말밑 경사 검사 그리고 발목 부상

앞 목말 종아리인대의 상태(integrity)를 측정하기 위한 전방 끌림 검사의 양성반응은 목말뼈의 과도한 움직임을 의미하며, 이는 앞 목말 종아리인대의 파열 또는 느슨한 상태를 의미한다(Dubin, Comeau, McClelland, Dubin, & Ferrel, 2011). 목말뼈 경사 검사(talar tilt test)의 경우 발꿈치종아리인대의 상태를 측정하기 위한 방법으로 양성의 반응은 발꿈치종아리인대의 파열 또는 느슨한 상태를 의미 한다(Dubin et al., 2011).

전방 끌림 검사의 경우 CAI 그룹에서는 4명, control 그룹에서는 0명, 그리고 목말뼈 경사 검사는 CAI 그룹에서 17명, control 그룹에서는 4명이 각각 양성의 반응을 나타내었다. 이는 CAI 환자 그룹이 잦은 발목 염좌로 인해 인대의 상태가 느슨한 상태가 반영된 결과라고 할 수 있으며, 발목이 만성적으로 불안정성을 갖게 되는 기계적 발목 불안정성(MAI) 유형이거나, 인대 뿐만 아니라 발목 주변에 있는 근-건(Musculotendinous) 조직과 신경 조직이 손상, 기계적 감각 수용기(Mechanoreceptor)와 같은 감각(Sensory) 손상으로 위치감각(Joint position sense) 등이 떨어지게 된 기능적 발목 불안정성(FAI)까지 함께 갖고 있는 유형일 수도 있는 것으로 생각된다.

또한, 만성 발목 불안정성 환자 중 전방 끌림 검사와 목말뼈 경사 검사에서 음성판정을 받은 환자들이 과반수 이상 이라는 것은 인대의 기계적인 느슨함은 존재하지 않더라도 목말밑 관절 축의 특성에서 이미 언급된 위험 인자들을 가진 상태에 있다면 반복적인 발목 염좌가 발생할 수도 있다는 것을 의미하는 것이라 판단된다. 따라서 발목 인대의 기계적인 결손이 있는 기계적 발목 불안정성(MAI)이 아니라고 무조건 기능적 발목 불안정성(FAI)에 의한 것이라고 단정 짓기보다는 목말밑 관절 축과 후족 각도 등 다른 추가적인 변인을 확인하는 것이 의미 있는 방법이라고 생각한다.

종합해보면, 목말밑 관절 축 기울기, 후족 각도, 전방 끌림 검사와 목말뼈 경사 검사에서 CAI 환자 그룹과 control 그룹 간 차이가 있는 것으로 나타났으며, CAI 환자 그룹에서 여러 선행연구들에서 언급되었던 발목 염좌 부상 요인 및 특성들과 일치되는 결과가 확인되었는데 이는 발목과 발의 구조적인 특성이 control 그룹과 같은 정상인 그룹과는 차이가 있는 것을 확인함과 동시에 발목 염좌 부상 위험에 더 노출되어 있다는 것을 확인할 수 있는 결과들 이라고 판단된다.

CONCLUSION

본 연구의 결과를 통해 CAI 환자들과 정상 control 그룹 간 목말밑 관절 회전 축의 기울기, 후족 각도, 발목 관절 인대의 구조적 특징의 차이를 확인할 수 있었으며, 이와 같은 결과를 바탕으로 CAI 환자 또는 경계선에 있는 발목 불안정성 환자들과 정상 control 그룹과 비교하여 실제 발목 부상의 유발과 관련된 여러 변인들 간에 유의한 차이가 있는 것을 확인하였다. 이는 해당 변인들의 특성 파악을 통해 발목 염좌 부상의 가능성을 미리 예측하고 예방하는데 기초가 되는 자료가 될 수 있을 것이라 생각된다. 즉, 반복적으로 발목의 염좌가 발생할 가능성이 높은 만성 발목 불안정성 환자들의 치료를 할 경우 후족 각도를 파악해 봄으로써 목말뼈 관절의 중립 위치가 후족 내반으로 편향되어 있다면(Figure 5), 가급적 보행교육을 통해

중립으로 접지할 수 있도록 교육하는 것이 필요하며 이와 동시에 목말뼈 관절의 기울기를 파악하여 환자들이 지니고 있는 형태적인 문제점들을 인지하고 치료하는 것이 바람직할 것이다. 후속 연구에서는 발목 부상 전과 첫 번째 발목 염좌 부상 후에 목말밑 관절 회전 축의 기울기, 후족 각도, 발목 관절 인대의 구조적 특징에서 차이가 발생하는지 여부를 알아보는 연구 즉, 발목 염좌로 인해 구조적 특징이 발생하는지 아니면 구조적 특징으로 인해 부상이 발생하는지를 알아보는 연구가 필요하다고 생각된다. 이를 위해서 발목 부상을 당하지 않은 피험자를 모집하여 부상 전 사전 데이터 수집 후 발목 염좌 부상을 당했을 경우 붓기가 감소하고 보행이 가능한 상태에서 피험자를 불러 사후 데이터를 수집하는 전향적 비교 연구를 한다면 발목 염좌가 발의 여러 구조적 특성에 미치는 영향을 파악하는데 큰 도움을 줄 수 있을 것이라 보인다.

ACKNOWLEDGEMENT

I'm so thankful to our colleagues who provided expertise that greatly assisted the research, with all of the interpretations provided in this paper.

REFERENCES

Bahr, R., Pena, F., Shine, J., Lew, W. D., Lindquist, C., Tyrdal, S. & Engebretsen, L. (1997). Mechanics of the anterior drawer and talar tilt tests. A cadaveric study of lateral ligament injuries of the ankle. *Acta Orthopaedica*, *68*(5), 435-441.

Balduini, F. C. & Tetzlaff, J. (1982). Historical perspectives on injuries of the ligaments of the ankle. *Clinical Journal of Sport Medicine*, *1*(1), 3-12.

Beynnon, B. D., Murphy, D. F. & Alosa, D. M. (2002). Predictive Factors for Lateral Ankle Sprains: A Literature Review. *Journal of Athletic Training*, *37*(4), 376-380.

Beynnon, B. D., Renstrom, P. A., Alosa, D. M., Baumhauer, J. F. & Vacek, P. M. (2001). Ankle ligament injury risk factors: a prospective study of college athletes. *Journal of Orthopaedic Research*, *19*(2), 213-220.

Brockett, C. L. & Chapman, G. J. (2016). Biomechanics of the ankle. *Orthop Trauma*, *30*(3), 232-238.

Carcia, C. R., Martin, R. L. & Drouin, J. M. (2008). Validity of the Foot and Ankle Ability Measure in athletes with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, *43*(2), 179-183.

Cho, J. H., Kim, K. H., Moon, G. S., Cho, Y. J. & Lee, S. C. (2010). Analysis of Injury Mechanism on Ankle and Knee during Drop Landings According to Landing Directions. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *20*(1), 67-73.

Croy, T., Koppenhaver, S., Saliba, S. & Hertel, J. (2013). Anterior talocrural joint laxity: diagnostic accuracy of the anterior drawer test of the ankle. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *43*(12), 911-919.

Croy, T., Saliba, S., Saliba, E., Anderson, M. W. & Hertel, J. (2013). Talofibular interval changes after acute ankle sprain: a stress ultrasonography study of ankle laxity. *Journal of Sport Rehabilitation*, *22*(4), 257-263.

Delahunt, E., Coughlan, G. F., Caulfield, B., Nightingale, E. J., Lin, C. W. & Hiller, C. E. (2010). Inclusion criteria when investigating insufficiencies in chronic ankle instability. *Medicine & Science in Sports Exercise*, *42*(11), 2106-2121.

Doherty, C., Delahunt, E., Caulfield, B., Hertel, J., Ryan, J. & Bleakley, C. (2014). The incidence and prevalence of ankle sprain injury: a systematic review and meta-analysis of prospective epidemiological studies. *Sports Medicine*, *44*(1), 123-140.

Donatelli, R., Wooden, M., Ekedahl, S. R., Wilkes, J. S., Cooper, J. & Bush, A. J. (1999). Relationship between static and dynamic foot postures in professional baseball players. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *29*(6), 316-325; discussion 326-330.

Dubin, J. C., Comeau, D., McClelland, R. I., Dubin, R. A. & Ferrel, E. (2011). Lateral and syndesmotic ankle sprain injuries: a narrative literature review. *Journal of Chiropractic Medicine*, *10*(3), 204-219.

Freeman, M. A. (1965). Instability of the foot after injuries to the lateral ligament of the ankle. *Journal of Bone and Joint Surgery British*, *47*(4), 669-677.

Friel, K., McLean, N., Myers, C. & Caceres, M. (2006). Ipsilateral hip abductor weakness after inversion ankle sprain. *Journal of Athletic Training*, *41*(1), 74-78.

Garbalosa, J. C., McClure, M. H., Catlin, P. A. & Wooden, M. (1994). The frontal plane relationship of the forefoot to the rearfoot in an asymptomatic population. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *20*(4), 200-206.

Gribble, P. A., Delahunt, E., Bleakley, C. M., Caulfield, B., Docherty, C. L., Fong, D. T. & Wikstrom, E. A. (2014). Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the International Ankle Consortium. *J Athl Train*, *49*(1), 121-127.

Hertel, J. (2002). Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, *37*(4), 364-375.

Hollis, J. M., Blasier, R. D. & Flahiff, C. M. (1995). Simulated lateral ankle ligamentous injury. Change in ankle stability. *American Journal of Sports Medicine*, *23*(6), 672-677.

Hollis, J. M., Blasier, R. D., Flahiff, C. M. & Hofmann, O. E. (1995). Biomechanical comparison of reconstruction techniques in simulated lateral ankle ligament injury. *American Journal of Sports Medicine*, *23*(6), 678-682.

Hubbard, T. J. & Cordova, M. (2009). Mechanical instability after an acute lateral ankle sprain. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *90*(7), 1142-1146.

Hubbard, T. J. & Hertel, J. (2006). Mechanical contributions to chronic lateral ankle instability. *Sports Medicine*, *36*(3), 263-277.

Jeon, K. K., Kim, K. W., Ryew, C. C. & Hyun, S. H. (2018). Effect of Functional Ankle Instability and Surgical Treatment on Dynamic Postural Stability and Leg Stiffness Variables during Vertical-Drop Landing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *28*(2), 135-141.

Kim, B. H., Kim, C. Y., Kang, T. K., Cho, Y. J. & Lee, S. Y. (2018). Immediate Effects of Joint Mobilization Techniques on Clinical Measures in Individuals with CAI. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *28*(4), 219-225.

Kirby, K. A. (1987). Methods for determination of positional variations in the subtalar joint axis. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *77*(5), 228-234.

Kirby, K. A. (1992). The medial heel skive technique. Improving pronation control in foot orthoses. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *82*(4), 177-188.

Kirby, K. A. (2001). Subtalar joint axis location and rotational equilibrium theory of foot function. *Journal of the American Podiatric Medical Association, 91*(9), 465-487.

Larsen, E. (1988). Tendon transfer for lateral ankle and subtalar joint instability. *Acta Orthopaedica*, *59*(2), 168-172.

Lilley, T., Herb, C. C., Hart, J. & Hertel, J. (2018). Lower extremity joint coupling variability during gait in young adults with and without chronic ankle instability. *Sports Biomechanics*, *17*(2), 261-272.

Lynch, S. A. (2002). Assessment of the Injured Ankle in the Athlete. *Journal of Athletic Training*, *37*(4), 406-412.

McPoil, T. G., Knecht, H. G. & Schuit, D. (1988). A Survey of Foot Types in Normal Females between the Ages of 18 and 30 Years*. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *9*(12), 406-109.

Monaghan, G. M., Hsu, W. H., Lewis, C. L., Saltzman, E., Hamill, J. & Holt, K. G. (2014). Forefoot angle at initial contact determines the amplitude of forefoot and rearfoot eversion during running. *Clinical Biomechanics*, *29*(8), 936-942.

Monaghan, G. M., Lewis, C. L., Hsu, W. H., Saltzman, E., Hamill, J. & Holt, K. G. (2013). Forefoot angle determines duration and amplitude of pronation during walking. *Gait Posture*, *38*(1), 8-13.

Morrison, K. E. & Kaminski, T. W. (2007). Foot characteristics in association with inversion ankle injury. *Journal of Athletic Training*, *42*(1), 135-142.

Nigg, B. M., Cole, G. K. & Nachbauer, W. (1993). Effects of arch height of the foot on angular motion of the lower extremities in running. *Journal of Biomechanics*, *26*(8), 909-916.

Rockar, P. A., Jr. (1995). The subtalar joint: anatomy and joint motion. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *21*(6), 361-372.

Smith, L. S., Clarke, T. E., Hamill, C. L. & Santopietro, F. (1986). The effects of soft and semi-rigid orthoses upon rearfoot movement in running. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *76*(4), 227-233.

Souza, T. R., Pinto, R. Z., Trede, R. G., Kirkwood, R. N., Pertence, A. E. & Fonseca, S. T. (2009). Late rearfoot eversion and lower-limb internal rotation caused by changes in the interaction between forefoot and support surface. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *99*(6), 503-511.

Spooner, S. K. & Kirby, K. A. (2006). The subtalar joint axis locator: a preliminary report. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *96*(3), 212-219.

Tomaro, J. (1995). Measurement of tibiofibular varum in subjects with unilateral overuse symptoms. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *21*(2), 86-89.

Tropp, H., Askling, C. & Gillquist, J. (1985). Prevention of ankle sprains. *Am J Sports Med*, *13*(4), 259-262.