KJSB

Korean Journal of Sport Biomechanics 2021; 31(1): 1-15
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2021.31.1.1
http://e-kjsb.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

Differences in Static Lower Extremity Alignment according to the History of Lateral Ankle Sprain: Efficacy and Limitation of Static Lower Limb Alignment Measurement as a Predictor of Lateral Ankle Sprain

외측 발목 염좌 병력에 따른 정적 하지 정렬 차이: 외측 발목 염좌의 예측인자로서 정적 하지 정렬 검사의 효용성과 한계점

Hyung Gyu Jeon[1,2], Sunghe Ha[1,2], Inje Lee[1,2], Tae Kyu Kang[1], Eun Sung Kim[3], Sae Yong Lee[1,2,4]

[1]Department of Physical Education, Yonsei University, Seoul, South Korea
[2]International Olympic Committee Research Centre KOREA, Yonsei University, Seoul, South Korea
[3]Dongwon High School, Suwon, South Korea
[4]Institute of Convergence Science, Yonsei University, Seoul, South Korea

Received : 28 September 2020
Revised : 14 January 2021
Accepted : 18 January 2021

Corresponding Author
Sae Yong Lee
Department of Physical Education, Yonsei University, 310, Sports Science Complex Building, Seoul, 03722, South Korea
Tel : +82-2-2123-6189
Fax : +82-2-2123-8375
Email : sylee1@yonsei.ac.kr

Objective: The aim of this study was to investigate 1) the difference in static lower extremity alignment (SLEA) according to a history of lateral ankle sprain (LAS), 2) to identify SLEA factors affecting LAS, and 3) to present the cut-off value and 4) the usefulness and limitations of the SLEA measurement.

Method: This case-control study recruited 88 men (age: 27.78±4.69 yrs) and 39 women (age: 24.62±4.20 yrs) subjects with and without LAS. SLEA measurement protocol included Q angle, tibiofemoral angle, genu recurvatum, rear foot (RF) angle, tibal varum and torsion, navicular drop, ankle dorsiflexion range of motion (DF ROM). Independent *t*-test, logistic regression and receiver operating characteristic (ROC) curve were used for statistical analysis.

Results: Men with a history of LAS had significantly smaller Q angles both in standing and in supine position, while women with a history of LAS had significantly greater DF ROM in non-weight bearing (NWB; $p < 0.05$). Logistic regression model suggests tibial varum ($OR = 0.779$, $p = 0.021$) and WB DF ROM ($OR = 1.067$, $p = 0.045$) were associated with LAS in men. In case of women, there were no significant SLEA factors for LAS, however, ROC curve analysis revealed standing RF angle (AUC = 0.647, $p = 0.028$) and NWB DF ROM (AUC = 0.648, $p = 0.026$) could be affecting factors for LAS.

Conclusion: There are differences in SLEA according to the history of LAS, furthermore, the identified items were different by sex. In case of men, tibial varum and WB DF ROM affect LAS occurrence. Standing RF angle and NWB DF ROM of women could be a predictor for LAS. However, since the sensitivity and specificity in most of the SLEA measurements are low, kinematic in dynamic tasks should be considered together for a more accurate evaluation of LAS risk.

Keywords: Risk factor, Injury predictor, Kinetic chain system, Chronic ankle instability, Compensation mechanism, Q angle

INTRODUCTION

발목 복합체는 근골격계 부상이 빈번하게 발생하는 부위 중 하나이며, 그 중 과도한 내번(inversion)과 족저굴곡(plantar flexion)으로 인해 발생하는 외측 발목 염좌(lateral ankle sprain)는 전체 운동선수 부상의 14.9%를 차지한다(Hootman, Dick & Agel, 2007). 외측 발목 염좌는 종아리근 힘줄(peroneal tendon), 앞목말종아리인대(anterior talofibular ligament), 발꿈치종아리인대(calcaneofibular ligmanet) 등의 외측 구조물에 손상을 입히며(Al-Mohrej & Al-Kenani, 2017), 이로 인해 근신경 조절 능력 및 고유수용성 감각을 감소시켜 관절 기능이 저하될 뿐만 아니라, 구조적 강도가 약해지는 등의 문제점을 야기한다(Hertel, 2000; Hubbard & Wikstrom, 2010). 또한, 외측 발목 염좌는 부상 이후

Copyright © 2021 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.

최대 6.5년까지 통증, 부종, 관절 불안정성 증상이 나타나는 등의 장기적 악영향을 미치고(Kalichman, Lachman & Freilich, 2016), 외측 발목 염좌를 경험한 약 40%가 지속적인 발목관절의 불편함과 불안정성을 경험하는 만성 발목 불안정성(chronic ankle sprain)으로 악화된다(Doherty et al., 2016; Hertel & Corbett, 2019). 결과적으로 외측 발목 염좌는 환자에게 많은 시간적, 경제적 손해를 발생시키기 때문에, 부상 방지를 위해서 위험요인(risk factor)을 확인하여 사전 예방하는 것이 매우 중요하다.

부상은 개인이 가진 내재적 위험요인과 외재적 위험요인이 상호작용하여 발생하기 때문에(Meeuwisse, Tyreman, Hagel & Emery, 2007), 부상 예방 전략을 수립하기 위해서 부상 발생에 기여하는 요인을 확인하는 과정이 필수적이다(Finch, 2006; Van Mechelen, Hlobil & Kemper, 1992). 선행연구는 외측 발목 염좌의 위험요인으로서 10, 20대의 나이, 과체중 및 높은 신체질량지수, 과거 외측 발목 염좌 부상 병력, 발목 및 엉덩관절의 근력, 감소된 정적 및 동적 자세 조절 능력, 격렬한 스포츠 종목 참여 등을 제시하여 다양한 요소들이 외측 발목 염좌 발생에 기여할 수 있다고 보고하였다(Delahunt & Remus, 2019). 특히, 내재적 위험요인 중 하나인 정적 하지 정렬은 해부학적 구조를 나타내는 대표적인 요소로서, 관절에 가해지는 부하와 움직임 동작에서 나타나는 운동학적 요인에 영향을 미칠 수 있기 때문에 부상 발생의 주요 위험요인으로 언급된다(Kettelkamp, Hillberry, Murrish & Heck, 1988; Mueske et al., 2019). 하지 부상 중 많은 연구가 진행된 무릎관절 부상과는 달리, 외측 발목 염좌에 기여하는 정적 하지 정렬을 검사한 연구는 소수에 불과하고 상반되는 결과를 보고하고 있어 추가적인 연구가 필요하다(Delahunt & Remus, 2019).

정적 하지 정렬과 외측 발목 염좌의 관계를 검사한 선행연구에 따르면, 과도한 후족(rear foot, RF) 각 및 양측 RF 각의 불균형은 발목 손상을 예측하는 위험요인으로 확인되었으며(Ha, Kim, Yoon & Park, 2014), 만성 발목 불안정성 환자들은 발목 부상이 없는 집단보다 더욱 내번된 RF 각을 가지고 있는 것으로 나타났다(Kim et al., 2019; Van Bergeyk, Younger & Carson, 2002). 또한, 발목관절의 배측굴곡 가동범위의 감소(Willems et al., 2005)와 정강뼈 내번의 증가(Krause & Seidel, 2018)는 외측 발목 염좌의 위험요인으로 보고되어, 정적 정렬 특성은 부상 위험요인 확인 및 예측 인자로서 매우 중요하다고 할 수 있다. 그러나 외측 발목 염좌의 위험요인을 검사한 다수의 선행연구는 발목관절의 정렬에 한정하여 검사한 제한점이 존재한다. 엉덩, 무릎, 발목관절은 하지 연결 사슬에 의해서 상호 보완적으로 기능하기 때문에(Sciascia & Cromwell, 2012), 몸쪽(proximal) 관절의 정적 정렬 또한 발목관절 부상에 영향을 미칠 수 있는 점을 고려해야 한다. 따라서 외측 발목 염좌 부상 평가 시 발목관절뿐만 아니라 하지의 종합적 정적 정렬 검사가 필요하며, 이를 통해 외측 발목 염좌에 영향을 미치는 정렬 항목을 확인해야 한다.

같은 종목의 스포츠에 참여하는 남녀 운동선수의 경우 외측 발목 염좌의 발생률은 동일한 것으로 보고되어(Beynnon, Vacek, Murphy, Alosa & Paller, 2005; Roos et al., 2017), 외측 발목 염좌 발생은 성별에 의해 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 그러나 여성 선수들의 외측 발목 염좌의 재부상률은 남성 선수들보다 높은 것으로 나타나(Roos et al., 2017), 남녀 간 정적 정렬 특성 차이의 분석을 통해 반복적인 발목 염좌 발생의 메커니즘을 규명할 필요가 있다. 선행연구에 따르면, 여성은 더욱 큰 대퇴사두 각과 반장슬 각을 갖는 등 남성과는 다른 정적 하지 정렬 특성을 가진 것으로 보고된다(Medina McKeon & Hertel, 2009). 이러한 정적 정렬 특성 차이는 성별에 따른 하지 부상 발생 및 움직임 패턴의 차이를 야기하고(Arendt, Agel & Dick, 1999; Sinclair, Brooks & Stainton, 2019) 이동운동기술 중 이마면에서 발목관절의 운동학에 영향을 미치기 때문에(Sakaguchi et al., 2014), 남녀의 정적 하지 정렬 특성과 외측 발목 염좌 발생 여부와의 관계 규명이 필요하다. 그러므로 여성과 남성의 엉덩, 무릎, 발목관절 정적 정렬 특성을 각각 확인할 필요가 있으며, 외측 발목 염좌와 정적 하지 정렬 간 관계성을 규명하는 연구가 필요하다.

정적 자세에서 측정한 정렬은 정상범위에서 벗어날 경우 착지 및 방향전환과 같은 역동적인 움직임에서 그 특징이 더욱 뚜렷하게 나타나므로(Mueske et al., 2019; Nguyen, Shultz & Schmitz, 2015), 부정렬(malalignment)의 판단은 매우 중요하다고 할 수 있다. 그러나 일정 수준의 정적 부정렬이 부상 발생 위험성을 증가시키는지에 대한 기준값(cut-off value)을 보고한 연구는 부족하기 때문에, 특정 정적 정렬의 기준값이 외측 발목 염좌 부상의 발생에 영향을 미치는지 확인이 필요하다. 외측 발목 염좌 위험성에 대한 정적 하지 정렬의 기준값을 제시할 수 있다면, 잠재적으로 높은 부상 위험성을 가진 대상들을 사전 확인하고 부상 예방 전략을 적용함으로써, 발목 부상 발생률의 감소에 기여할 수 있을 것이다. 잠재적 부상 위험요인 식별을 위해 종합적 정적 하지 정렬 검사법의 효용성을 평가하고 외측 발목 염좌에 기여하는 정적 정렬 항목의 도출이 선행될 필요가 있다.

따라서, 본 연구는 다음과 같은 목적을 가지고 수행되었다: 1) 남녀 외측 발목 염좌 경험자의 종합적인 정적 하지 정렬 특성을 확인하는 것이다; 2) 외측 발목 염좌 발생에 영향을 미치는 정적 하지 정렬 항목을 도출하는 것이다; 3) 외측 발목 염좌의 위험성을 증가시키는 정적 하지 정렬 기준값을 제시하는 것이다; 4) 외측 발목 염좌에 대한 정적 하지 정렬 검사의 민감도와 특이도를 제시하는 것이다. 이러한 연구목적을 달성하기 위해 다음과 같은 가설을 설정하였다: 1) 남녀 모두 외측 발목 염좌 병력에 따른 정적 하지 정렬의 차이가 있을 것이며, 그 항목은 성별에 따라 다르게 나타날 것이다; 2) 정적 정렬 중 외측 발목 염좌 병력에 유의한 영향을 미치는 항목 있을 것이다; 3) 외측 발목 염좌의 위험성을 나타내는 기준값이 제시될 것이다; 4) 정적 하지 정렬 검사 중 일부 방법에서 높은 민감도와 특이도를 보일 것이다.

METHODS

1. 연구대상

본 연구의 대상자 수는 표본 수 계산 프로그램(G*power, version 3.1.9.2, University of Kiel, Kiel, Germany)을 이용하여 산출하였다. 로지스틱 회귀분석 수행을 위해 30명의 피험자를 모집한 선행연구의 발목관절 배측굴곡 가동범위 변인을 고려하고(odds ratio: 1.80; Wyndow et al., 2016), 유의수준 0.05와 검정력 0.80으로 설정한 결과 필요한 표본의 수는 120명으로 나타났다. 따라서 필요한 최소 표본 수를 고려하고, 추가적인 연구 대상자 모집을 통해 최종적으로 자발적 실험 참여 의사를 밝힌 127명의 성인 남녀가 본 연구의 실험에 참여하였다. 본 연구에서 외측 발목 염좌 부상은 "발목관절의 과도한 족저굴곡 및 내

Table 1. Demographic characteristics of the subjects (M ± SD)

	Men (n = 88)		Women (n = 39)	
	LAS (n = 58)	No sprain (n = 30)	LAS (n = 19)	No sprain (n = 20)
Age (yrs)	27.71±5.17	27.97±3.75	25.05±3.79	24.20±4.61
Height (cm)	178.65±6.96	176.11±5.02	165.54±3.87	165.67±3.80
Weight (kg)	80.54±12.92	74.12±7.43	55.71±6.64	56.15±5.39
AII (number of 'yes')	2.26±0.91	0.0±0.0	2.21±0.71	0.0±0.0
Number of LAS (rep)	2.56±1.45	0.0±0.0	1.05±1.18	0.0±0.0
FAAM-ADL (%)	92.28±13.80	99.92±0.30	94.02±6.42	99.94±0.27
FAAM-Sports (%)	87.74±14.39	99.90±0.55	83.83±16.98	99.85±0.67

ADL, Activities of daily living; AII, Ankle instability instrument; FAAM, Foot and ankle ability measurement; LAS, Lateral ankle sprain

번으로 인한 발목관절 외측 인대 복합체의 급성 손상"으로 정의되었다(Gribble et al., 2014). 외측 발목 염좌 병력을 가진 집단의 포함 기준은 국제 발목 컨소시엄(Gribble et al., 2014)에서 제시되고 선행연구에서 사용되는 기준을 기반으로 정의하였으며(Ko, Rosen & Brown, 2018), 본 연구에서 참고한 내용은 다음과 같다: 1) 최소 1번 심각한 외측 발목 염좌의 경험이 있는 자; 2) 외측 발목 염좌 부상 당시 통증 및 부종 증상을 경험한 자; 3) 외측 발목 염좌로 인해 최소 1일 이상 신체활동이 제한된 자; 4) 실험 실시일 기준으로 3개월 이전에 외측 발목 염좌를 경험한 자.

대조군은 외측 발목 염좌를 경험하지 않고(Moisan, Mainville, Descarreaux & Cantin, 2020), 발목관절의 기능이 정상인 대상자(Plante & Wikstrom, 2013)를 모집하기 위해 선행연구의 기준을 종합하였으며, 본 연구에서 참고한 내용은 다음과 같다: 1) 외측 발목 염좌 경험이 없는 자; 2) 개정 발목 불안정성 조사지(Ankle Insatiability Instrument, AII)의 '예' 문항 답변 개수가 0개이며, 발목관절의 불안정성이 없는 자; 3) 발/발목 운동 능력 조사지(Foot and Ankle Ability Measure, FAAM)의 일상생활 및 스포츠 활동 척도의 점수가 모두 99% 이상이며, 두 활동 중 발목관절 기능에 이상이 없는 자.

연구 대상자 제외 기준은 선행연구의 기준을 바탕으로 정의하였으며(Moisan et al., 2020), Tegner Activity Score (TAS) 설문지를 추가적으로 이용하여 신체활동 수준 차이에 따른 오류(bias)를 최소화하였다. 세부 연구 제외 기준은 다음과 같다: 1) 하지 골절 및 수술을 경험한 자; 2) 사이클 또는 조깅 수준의 신체활동(TAS level 4)이 불가능한 자. 본 연구에 참여한 대상자의 인구통계학적 특성, 외측 발목 염좌 횟수, 주관적 발목 기능 점수는 (Table 1)과 같다.

2. 연구절차

본 실험에 참가한 연구 대상자에게 측정 변인 및 수집되는 정보에 대해 설명한 후, 병력 조사, 주관적 설문지 작성, 정적 하지 정렬 측정 순서로 진행되었다. 연구 대상자 선정 및 집단 분류를 위해 부상 병력 조사, 주관적 발목관절 설문 조사지(AII, FAAM-ADL/Sports), TAS 신체활동 수준 설문지를 사용하였다. 정적 하지 정렬은 스마트폰에 장착된 자이로(gyro) 센서와 카메라를 활용한 어플리케이션(Alignment, alpha version 1.0.2, Yonsei University, Seoul, South Korea)을 이용하였다(Figure 1).

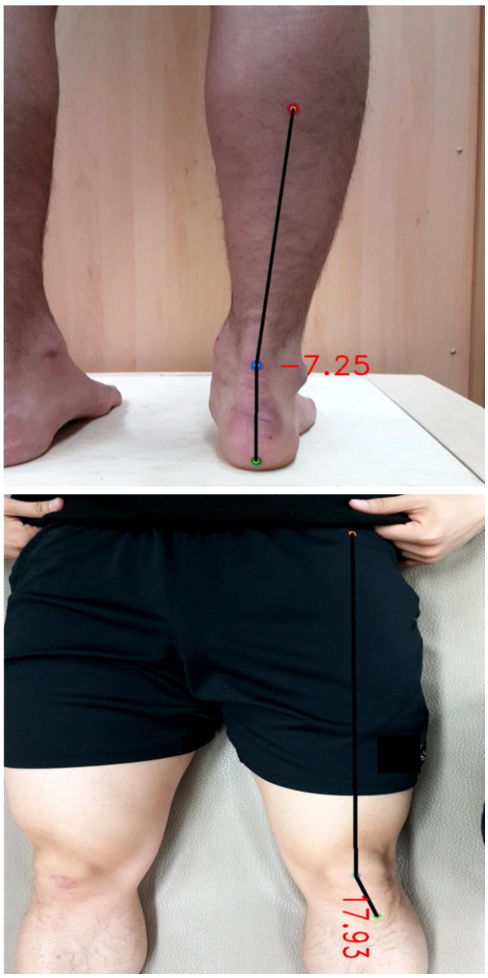

Figure 1. Static lower extremity alignment measurements on alignment application

Table 2. Measurement variables of static lower extremity alignment

	Position			Range of motion
	Supine	Prone	Standing	
Measurement variable	Genu recurvatum	Rear foot angle	Quadriceps angle	Ankle dorsi flexion
	Quadriceps angle	Tibial varum	Rear foot angle	
	Tibiofemoral angle	Tibial torsion	Tibiofemoral angle	
			Navicular drop	

3. 측정

정적 하지 정렬은 누운 자세, 엎드린 자세, 선 자세에서 측정하였으며, 발목관절 배측굴곡 가동범위(dorsiflexion range of motion, DF ROM)는 체중부하 자세(weight bearing, WB)와 비 체중부하 자세(non-WB)에서 검사하였다. 각 자세에서 측정된 변인은 (Table 2)와 같다. 정적 하지 정렬 검사는 대퇴사두(quadriceps, Q) 각, 대퇴경골(tibiofemoral, TF) 각, 반장슬(genur recurvatum), 정강뼈 비틀림(tibia torsion) 및 내번(tibia varum) 각, RF 각, 발배뼈 하강(navicular drop) 높이, DF ROM 등 12가지 항목을 포함한다(Figure 2).

1) 대퇴사두 각

Q 각은 누운 자세와 선 자세에서 측정되었다. 표준화된 측정을 위해 피험자는 무릎관절을 최대 신전시켰으며, 관절의 근육을 수축하지 않도록 지시하여 무릎뼈의 위치에 영향을 주지 않도록 하였다. 선 자세의 경우 두 번째 발허리뼈가 전방을 향하고 좌우 평행이 되도록 하였다. Q 각 측정을 위해 전상장골극(anterior superior iliac spine, ASIS), 슬개골의 중앙(center of patella), 그리고 정강뼈 거친면(tibia tuberosity)를 해부학적 표시점(anatomical landmark)으로 정의하였으며(Caylor, Fites & Worrell, 1993), 세 지점에 마커를 붙여 Alignment 어플리케이션에 인식될 수 있도록 하였다. Alignment 어플리케이션은 전상장골극과 슬개골의 중앙을 연결한 선과 슬개골 중심과 정강뼈 거친면을 연결한 선을 표시하고, 이 두 개의 선이 이루는 각도를 계산하여 Q 각을 나타내었다(Figure 2A). 선행연구는 Q 각 측정의 급내상관계수(Intraclass Correlation Coefficient, ICC)를 0.840으로 보고하였으며(Caylor et al., 1993), 본 연구에서 측정 ICC는 누운 자세 측정 시 0.868, 선 자세 측정 시 0.955으로 나타났다.

2) 대퇴경골 각

TF 각 측정은 누운 자세와 선 자세에서 측정되었다. 누운 자세의 경우 대퇴의 좌우 관절융기(epicondyle)가 평행한 위치로 정렬시켰으며, 선 자세 측정 시 피험자는 두 번째 발허리뼈가 전방을 향하도록 지시받았다. TF 각 측정을 위해 전상장골극과 대퇴골의 대결절(greater tuberosity) 사이의 중앙점, 슬개골의 중앙점, 외/내측 복사뼈(malleolus)의 중앙점을 해부학적 표시점으로 정의하였다(Moreland, Bassett & Hanker, 1987). Alignment 어플리케이션은 해부학적 표시점에 부착된 마커를 인식하였으며, 전상장골극과 슬개골의 중앙점의 연결선을 대퇴의 긴축, 그리고 슬개골의 중앙점과 복사뼈의 중앙점 연결선을 하퇴의 긴축으로 인식하여 두 선이 이루는 각도를 계산하여 TF 각을 나타내었다(Figure 2B). 선행연구의 TF 각 측정 시 ICC는 0.930으로 보고되었으며(Nguyen, Boling, Slye, Hartley & Parisi, 2013), 본 연구의 ICC는 누운 자세 측정 시 0.973, 선 자세 측정 시 0.844으로 나타났다.

3) 반장슬

반장슬을 측정하기 위해 피험자는 누운 자세를 취했으며, 측정 하지를 수축하지 않고 발뒤꿈치를 35 cm 높이의 딱딱한 재질의 지지대 위에 두게 하였다. 반장슬 각 측정을 위해 대결절 및 바깥 무릎관절 선(joint line)의 중앙, 그리고 외측 복사뼈의 중앙을 해부학적 표시점으로 정의하였으며(Shultz et al., 2006), Alignment 어플리케이션이 인식할 수 있도록 마커를 부착하였다. 피험자의 대퇴사두근과 슬괵근 및 둔근이 수축하지 않도록 지시하여 하지관절이 이완된 자세에서 반장슬 각 측정을 진행하였다. Alignment 어플리케이션은 피험자의 측면에서 대결절과 무릎관절 선의 중앙의 연결선과 무릎관절 선의 중앙과 외측 복사뼈의 연결선을 표시하였고, 이 두 선의 사이 각을 반장슬 각으로 계산하였다(Figure 2C). 선행연구의 반장슬 각 측정 시 ICC는 0.950으로 보고되었으며(Ahn et al., 2020), 본 연구의 측정 ICC는 0.881으로 나타났다.

4) 경골 비틀림 각

정강뼈 비틀림 각 측정을 위해 피험자는 엎드린 자세로 위치한 후, 대퇴의 내/외측 상과(epicondyle)가 수평하도록 정렬되었다. 내측과 외측 복사뼈의 중앙 지점을 각각 해부학적 표시점으로 정의하였다(Shultz, Nguyen & Schmitz, 2008). 원활한 Alignment 어플리케이션의 인식을 위해 해부학적 지점과 동일한 수직선 상의 발바닥에 마커를 부착하였다(Figure 2D). Alignment 어플리케이션은 양측 마커를 연결한 선과 가상의 수평선을 사이의 각도를 계산하여 정강뼈 비틀림 각을 나타내었다. 정강뼈 비틀림 각 측정 시 선행연구의 ICC는 0.870으로 보고되었으며(Shultz et al., 2008), 본 연구 측정의 ICC는 0.929으로 나타났다.

5) 경골 내번 각

정강뼈 내번 각 측정을 위해 피험자를 엎드린 자세에서 대퇴의 내/외측 관절융기가 수평이 되도록 위치시켰다. 대퇴의 양측 상과의 중앙

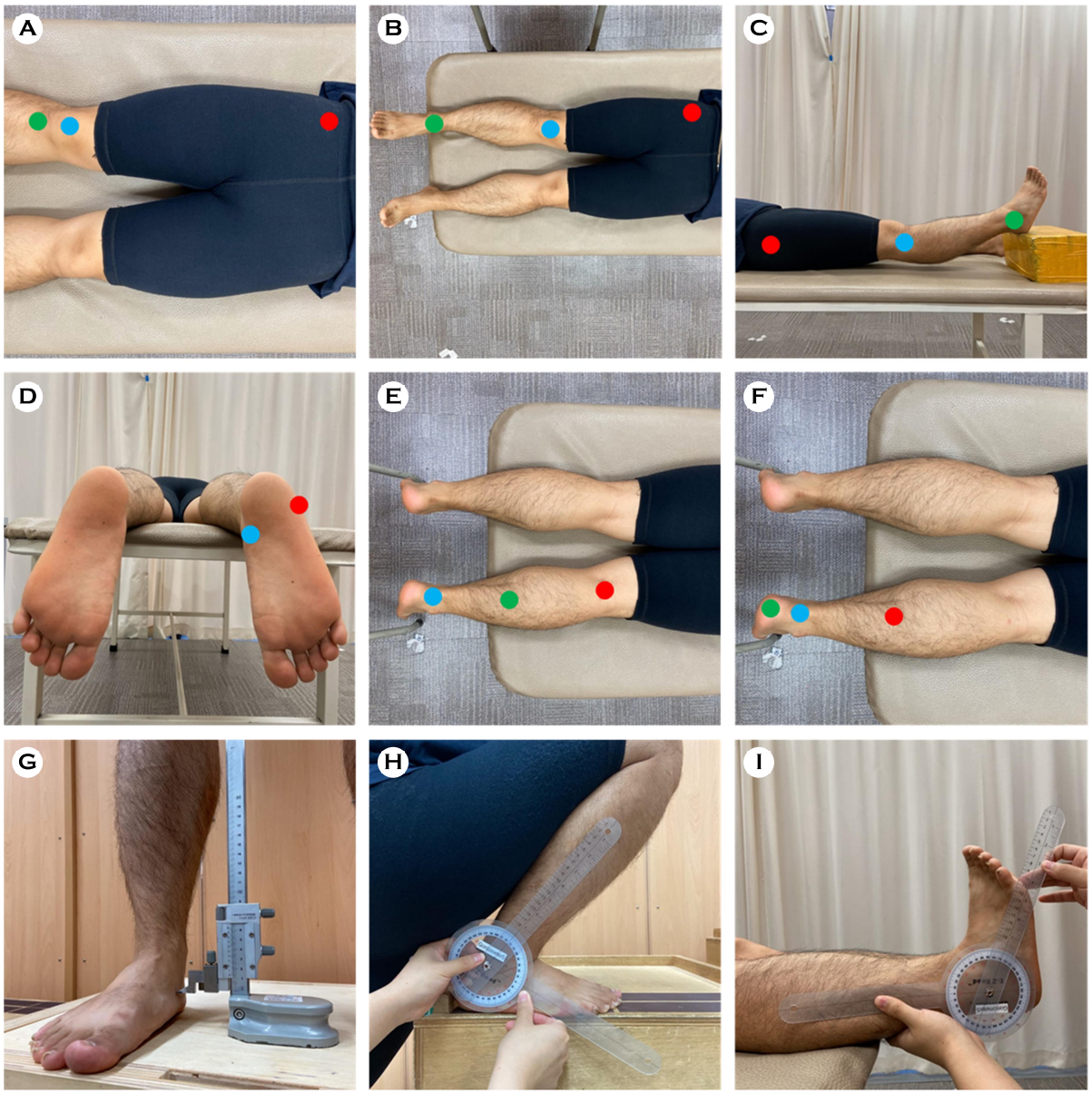

Figure 2. Measurement procedure of static lower extremity alignment. (A), Q angle; (B), TF angle; (C), genu recurvatum; (D), tibia torsion; (E), tibia varum; (F) rear foot angle; (G) navicular drop; (H) WB DF ROM, weight bearing dorsi flexion range of motion; (I) NWB DF ROM, non-weight bearing dorsi flexion range of motion

점, 하퇴의 3분의 1 중앙점, 그리고 양측 복사뼈의 중앙 지점을 해부학적 표시점으로 정의하였으며(Medina McKeon & Hertel, 2009), 이 세 지점에 마커를 부착하였다. Alignment 어플리케이션은 대퇴 관절융기의 중앙점과 복사뼈 중앙 지점의 연결선, 그리고 하퇴 중앙점과 복사뼈 중앙 지점의 연결선을 표시하였고, 이 두 선 사이의 각도를 계산하여 정강뼈 내번 각을 나타내었다(Figure 2E). 선행연구에서 실시한 정강뼈 내번 각 측정의 ICC는 0.880으로 보고되었으며(Hubbard, Carpenter & Cordova, 2009), 본 연구의 측정 ICC는 0.802으로 나타났다.

6) 후족 각

RF 각 측정은 체중이 부하된 선 자세와 엎드린 자세의 목말밑관절(subtalar joint) 관절 중립 위치에서 측정되었다. 측정을 위해 발꿈치뼈(calcaneus)의 뒤쪽 아래 거친면의 중앙점, 양측 복사뼈 중앙 지점, 그리고 하퇴의 3분의 1 지점의 중앙을 해부학적 표시점으로 정의하여 마커를 부착하였다(Jonson & Gross, 1997). 첫 번째, 선 자세에서는 양측 하지에 동일하게 체중이 부하되고, 두 번째 발배뼈가 정면을 향하게 위치한 후 RF 각을 측정하였다.

두 번째, 엎드린 자세에서는 피험자의 목말밑관절을 중립(neutral) 위치시킨 후 RF 각을 측정하였다. 목말밑관절의 중립은 목말뼈의 내외측면이 동일하게 촉지되며, 내번과 외번 되지 않은 자세로 정의된다(McPoil & Cornwall, 1994). Alignment 어플리케이션은 발꿈치뼈의 중앙과 복사뼈의 중앙을 연결한 선과 복사뼈 중앙 지점과 하퇴의 중앙을 연결한 선을 나타내었고, 이 두 선의 사이 각을 계산하여 RF 각으로

나타내었다(Figure 2F). 선행연구의 RF 각 측정 ICC는 0.880으로 보고되었으며(Jonson & Gross, 1997), 본 연구의 측정 ICC는 엎드린 자세의 경우 0.969, 선 자세의 경우 0.914으로 나타났다.

7) 발배뼈 하강

발배뼈 하강 검사를 실시하기 위해 피험자는 선 자세와 목말밑관절 중립 자세를 취했다. 선 자세는 양발을 어깨너비로 벌린 후 양측 하지에 체중이 동등하게 분산된 상태를 의미한다. 마커를 부착하여 내측 복사뼈의 전/하방 방향에 위치한 발배뼈 거친면(tuberosity of navicular)을 해부학적 표시점으로 나타냈다. 먼저, 선 자세에서 바닥에서부터 발배뼈 거친면까지의 높이를 측정한 후, 두 번째로 목말밑관절 중립 자세에서 발배뼈의 높이를 재측정하였다(Figure 2G). 두 자세 간 측정된 발배뼈 높이의 차이 값을 발배뼈 하강 높이로 정의하였다(Lee & Hertel, 2012). 선행연구의 발배뼈 하강 높이 측정 시 ICC는 0.930으로 보고되었으며(Lee & Hertel, 2012), 본 연구의 측정 ICC는 0.841로 나타났다.

8) 발목관절 배측굴곡 가동범위

발목관절의 배측굴곡 가동범위(dorsi flexion range of motion, DF ROM) 측정은 정상범위와 제한범위의 제시가 용이하다고 보고된 두 가지 자세(WB, non-WB)에서 실시되었다(Dill, Begalle, Frank, Zinder & Padua, 2014). Non-WB DF ROM 측정의 경우 발목관절의 최대 수동(passive) ROM을 검사하기 위해 선행연구에서 제시된 측정법을 수정하여 적용하였다. 바닥에 발을 위치시킨 선행연구와는 달리, 85 cm 높이 상자에 발을 올려 상체를 포함한 신체의 모든 체중이 측정 발에 부하될 수 있도록 하였으며(Figure 2H), 무릎관절 또한 더 많이 굴곡하여 피험자의 최대 수동 DF ROM을 측정하였다. 측정을 위해 종아리뼈 머리(fibula head), 외측 복사뼈 중앙, 그리고 5번째 발허리뼈 머리(head of 5th metatarsal)를 해부학적 지점으로 정의하였다(Norkin & White, 2016). 종아리뼈 머리와 외측 복사뼈의 연결선이 측정 바닥면을 기준으로 수직이 되는 자세를 중립(0˚)으로 정의했으며, 중립과 전방으로 체중을 실어 배측굴곡 동작을 취한 자세 간 각도 차이를 WB DF ROM으로 측정하였다. 선행연구에서 WB DF ROM 측정 시 ICC는 0.850~0.960으로 보고되었으며, 본 연구의 측정 ICC는 0.938로 나타났다.

NWB DF ROM 측정은 누운 자세에서 발바닥의 외측 경계면이 지면으로부터 수직인 지점을 중립(0˚)으로 정의했으며, 연구 대상자가 중립 자세를 유지한 후 자의적 수축을 통해 몸쪽 방향으로 최대 굴곡한 각도를 NWB DF ROM으로 측정하였다(Figure 2I). NWB DF ROM 측정의 경우 선행연구는 0.900의 ICC를 보고하였으며(Fong, Blackburn, Norcross, McGrath & Padua, 2011), 본 연구의 측정 ICC는 0.840으로 나타났다.

4. 데이터 수집

Alignment 어플리케이션은 정확한 정적 측정을 위해 올바른 수평, 수직 상태에서만 측정이 가능하게 설계되어 각도에 따른 오류를 최소화하였다. Alignment 어플리케이션은 색이 다른 마커를 통해 표시된 해부학적 표시점을 인식하여 점들이 이루는 선을 표시하고, 선 사이의 각을 계산하여 정적 하지 정렬 값으로 나타냈다. 모든 정적 하지 정렬 검사의 측정 항목은 피험자의 양측을 각각 3회 반복 측정하여 평균값을 기록하였다.

5. 통계 분석

본 연구에서 수집된 모든 데이터의 통계처리는 SPSS 25.0 (IBM, USA)을 사용하여 분석되었다. 외측 발목 염좌 경험자와 대조군 간 종합적인 정적 하지 정렬 특성 차이 확인을 위해 남성과 여성 집단 각각 독립표본 *t* 검정(independent *t*-test)을 사용하였다. 정적 하지 정렬이 외측 발목 염좌 병력에 미치는 영향을 검증하기 위해 로지스틱 회귀분석(logistic regression analysis)을 실시하였다. 발목 염좌의 위험성을 증가시키는 하지 정렬 항목들의 기준값을 제시하고, 각 정렬 검사 항목의 민감도와 특이도 및 검정우도비(likelihood ratio, LR)를 보고하기 위해 수신자 조작 특성 곡선(receiver operation characteristic curve, ROC curve) 분석을 실시하였다.

ROC curve의 면적(area under the curve, AUC)은 1에 가까울수록 높은 진단 정확성을 나타내며, 높은(high) 정확도(0.9 < AUC < 1.0), 중간(moderate) 정확도(0.7 < AUC ≤ 0.9), 낮은(less) 정확도(0.5 < AUC ≤ 0.7), 유용하지 못함(AUC ≥ 0.5)으로 구분된다(Swets, 1988). 민감도 및 특이도를 통해 계산되는 LR은 측정법 및 진단의 정확성을 나타내는 방법 중 하나로서 양성우도비(positive likelihood ratio, PLR)와 음성우도비(negative likelihood ratio, NLR)으로 분류된다(McGee, 2002). PLR은 강함(strong; PLR >10), 중간(moderate; 10 > PLR > 5), 작음(small; 5 > PLR > 2), 매우 작음(very small; 2 > PLR > 1) 등급으로 나뉘고, NLR의 경우 강함(0.1 > NLR), 중간(0.2 > NLR > 0.1), 작음(0.5 > NLR > 0.2), 매우 작음(1.0 > NLR > 0.5) 등급으로 구분된다. 모든 통계치의 유의수준은 α = 0.05로 설정하였다.

RESULTS

1. 외측 발목 염좌의 병력에 따른 정적 하지 정렬 차이

외측 발목 염좌 경험자와 대조군 간 종합적인 정적 하지 정렬 특성 차이 확인을 위해 독립표본 *t* 검정을 실시한 결과, 남성의 경우 외측 발목 염좌를 경험한 집단이 누운 자세(t = -2.550, p = 0.012)와 선 자세(t = -2.121, p = 0.035)에서 대조군 남성보다 Q 각이 유의하게 작은 것으로 나타났다(Table 3).

외측 발목 염좌를 경험한 여성의 경우, 대조군 여성보다 유의하게 큰 NWB DF ROM (t = 2.130, p = 0.036)을 보였다(Table 4).

2. 정적 하지 정렬이 외측 발목 염좌 발생에 미치는 영향

정적 하지 정렬 요소들이 발목 염좌 발생에 미치는 영향을 검증하기 위해 로지스틱 회귀분석을 실시한 결과, 남성의 경우 회귀모형의 설명력은 21.6%로 나타났으며, 적합한 모델로 나타났다(R^2 = 0.216, χ^2 = 23.485, p = 0.024). 회귀계수의 유의성 검증 결과, tibial varum (*OR*

Table 3. Results of static lower extremity alignments in men with and without lateral ankle sprain

	Group				*t*-test results for group	
	LAS		No sprain			
	M	SD	M	SD	*t*	*p*
Supine						
Q angle (°)	15.04	6.50	17.20	4.45	-2.550	0.012*
TF angle (°)	8.68	3.61	8.88	3.78	-0.318	0.751
Genu-recurvatum (°)	-1.24	4.60	-0.06	3.61	-1.664	0.098
Prone						
RF angle (°)	4.72	4.56	4.65	4.36	0.094	0.925
Tibial varum (°)	2.57	2.81	3.40	1.94	-1.850	0.066
Tibial torsion (°)	23.97	7.35	25.82	6.48	-1.596	0.112
Standing						
Q angle (°)	13.92	6.19	15.92	4.67	-2.121	0.035*
TF angle (°)	10.67	4.05	10.15	3.12	0.837	0.404
RF angle (°)	-8.76	5.87	-7.71	6.94	-0.972	0.332
Navicular drop						
NP-WB height (cm)	0.88	0.40	0.77	0.40	1.770	0.079
Ankle DF ROM						
NWB (°)	20.39	6.39	21.04	5.29	-0.634	0.527
WB (°)	38.94	8.60	36.63	6.82	1.843	0.068

Note. significant at *p<.05
Negative value in genu recurvatum = hyperextension
Negative value in rear foot = valgus
LAS, lateral ankle sprain, NP, neutral position; NWB, non-weight bearing; Q, quadriceps; RF, rear-foot; TF, tibiofemoral; WB, weight bearing

Table 4. Results of static lower extremity alignments in women with and without lateral ankle sprain

	Group				*t*-test results for group	
	LAS		No sprain			
	M	SD	M	SD	*t*	*p*
Supine						
Q angle (°)	22.82	6.18	23.84	5.06	-0.800	0.426
TF angle (°)	10.29	3.04	10.56	1.91	-0.476	0.636
Genu-recurvatum (°)	-2.06	3.35	-1.68	3.93	-0.456	0.650
Prone						
RF angle (°)	4.06	4.67	3.06	4.22	0.993	0.324
Tibial varum (°)	3.34	2.36	3.22	1.85	0.257	0.798
Tibial torsion (°)	20.70	7.22	19.13	11.69	0.714	0.478
Standing						
Q angle (°)	21.82	5.27	21.44	6.99	0.271	0.787
TF angle (°)	12.50	2.46	12.19	2.64	0.551	0.583
RF angle (°)	-7.18	6.79	-10.03	5.97	1.944	0.056

Table 4. Results of static lower extremity alignments in women with and without lateral ankle sprain (Continued)

	Group				*t*-test results for group	
	LAS		No sprain			
	M	SD	M	SD	*t*	*p*
Navicular drop						
NP-WB height (cm)	0.85	0.49	1.05	0.52	-1.727	0.088
Ankle DF ROM						
NWB (°)	22.44	5.92	19.77	5.11	2.130	0.036*
WB (°)	43.08	8.12	41.03	8.89	1.064	0.291

Note. significant at *p<.05
Negative value in genu recurvatum = hyperextension
Negative value in rear foot = valgus
LAS, lateral ankle sprain, NP, neutral position; NWB, non-weight bearing; Q, quadriceps; RF, rear-foot; TF, tibiofemoral; WB, weight bearing

Table 5. Effects of static lower extremity alignments on lateral ankle sprain in men

DV	IV	*B*	*S.E*	*OR*	95% CI	*p*
Lateral ankle sprain	Supine					
	Q angle (°)	-0.052	0.050	0.949	(0.861~1.048)	0.302
	TF angle (°)	-0.089	0.100	0.915	(0.752~1.114)	0.377
	Genu-recurvatum (°)	-0.067	0.057	0.935	(0.836~1.046)	0.241
	Prone					
	RF angle (°)	0.014	0.050	1.014	(0.919~1.119)	0.777
	Tibial varum (°)	-0.250	0.108	0.779	(0.630~0.963)	0.021*
	Tibial torsion (°)	-0.060	0.032	0.941	(0.885~1.002)	0.057
	Standing					
	Q angle (°)	-0.027	0.053	0.974	(0.878~1.079)	0.611
	TF angle (°)	0.156	0.098	1.169	(0.964~1.417)	0.112
	RF angle (°)	-0.044	0.036	0.957	(0.892~1.027)	0.224
	Navicular drop					
	NP-WB height (cm)	0.116	0.586	1.123	(0.356~3.544)	0.843
	Ankle DF ROM					
	NWB (°)	-0.058	0.041	0.944	(0.871~1.022)	0.156
	WB (°)	0.065	0.032	1.067	(1.001~1.136)	0.045*
-2*LL* = 148.554, Nagelkerke R^2 = 0.216, χ^2 = 23.485 (p = 0.024)						

Note. significant at *p<.05
DV, dependent variable; IV, independent variable; NP, neutral position; NWB, non-weight bearing; Q, quadriceps; RF, rear-foot; TF, tibiofemoral; WB, weight bearing

= 0.779, p = 0.021)과 WB DF ROM (*OR* = 1.067, p = 0.045)이 발목 염좌 발생에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다(Table 5).

여성의 경우, 회귀모형은 약 22.2%의 설명력을 가졌으나, 적합하지 않은 것으로 나타났다(R^2 = 0.222, χ^2 = 13.832, p = 0.312). 여성 집단의 회귀계수의 유의성 검증 결과, 발목 염좌 발생에 유의한 영향을 미치는 변인은 나타나지 않았다(Table 6).

3. 수신자 조작 특성 곡선

외측 발목 염좌의 위험성을 증가시키는 정적 하지 정렬 평가의 기

Table 6. Effects of static lower extremity alignments on lateral ankle sprain in women

DV	IV	*B*	*S.E*	*OR*	95% CI	*p*
Lateral ankle sprain	Supine					
	Q angle (°)	-0.055	0.066	0.947	(0.831~1.079)	0.410
	TF angle (°)	-0.130	0.158	0.878	(0.644~1.198)	0.413
	Genu-recurvatum (°)	-0.009	0.087	0.991	(0.836~1.176)	0.921
	Prone					
	RF angle (°)	-0.053	0.089	0.948	(0.797~1.128)	0.546
	Tibial varum (°)	0.091	0.154	1.095	(0.811~1.480)	0.553
	Tibial torsion (°)	0.038	0.037	1.039	(0.966~1.117)	0.303
	Standing					
	Q angle (°)	-0.005	0.058	0.995	(0.888~1.116)	0.935
	TF angle (°)	0.090	0.125	1.094	(0.856~1.399)	0.474
	RF angle (°)	0.075	0.051	1.078	(0.975~1.192)	0.145
	Navicular drop					
	NP-WB height (cm)	-0.804	0.700	0.448	(0.113~1.765)	0.251
	Ankle DF ROM					
	NWB (°)	0.086	0.060	1.090	(0.970~1.226)	0.149
	WB (°)	0.019	0.035	1.019	(0.951~1.092)	0.595
-2*LL* = 91.526, Nagelkerke R^2 = 0.222, χ^2 = 13.832 (p = 0.312)						

DV, dependent variable; IV, independent variable; NP, neutral position; NWB, non-weight bearing; Q, quadriceps; RF, rear-foot; TF, tibiofemoral; WB, weight bearing

Table 7. Results of ROC curve analysis for prediction of lateral ankle sprain history in men

Test result variables	Area under the curve									
	Area	SE	*p*	95% CI		Cut-off value	Sens	Spec	(+) LR	(–) LR
				LB	UB					
Supine										
Q angle (°)	0.387	0.049	0.035*	0.291	0.483	16.71	0.379	0.390	0.621	1.592
TF angle (°)	0.490	0.053	0.849	0.385	0.595	8.44	0.437	0.463	0.814	1.216
Genu recurvatum (°)	0.422	0.050	0.143	0.323	0.520	-0.94	0.447	0.463	0.832	1.194
Prone										
RF angle (°)	0.496	0.051	0.942	0.395	0.597	4.18	0.485	0.488	0.947	1.055
Tibial varum (°)	0.403	0.052	0.070	0.300	0.506	3.09	0.417	0.439	0.743	1.328
Tibial torsion (°)	0.392	0.050	0.043*	0.293	0.490	25.67	0.398	0.390	0.652	1.544
Standing										
Q angle (°)	0.454	0.049	0.386	0.357	0.550	14.92	0.456	0.463	0.849	1.175
TF angle (°)	0.530	0.052	0.580	0.428	0.631	10.57	0.456	0.463	0.849	1.175
RF angle (°)	0.453	0.051	0.384	0.354	0.553	-9.29	0.476	0.488	0.930	1.074
Navicular drop										
NP-WB height (cm)	0.578	0.054	0.143	0.472	0.685	0.83	0.583	0.610	1.495	0.684

Table 7. Results of ROC curve analysis for prediction of lateral ankle sprain history in men (Continued)

Test result variables	Area under the curve									
	Area	SE	*p*	95% CI		Cut-off value	Sens	Spec	(+) LR	(–) LR
				LB	UB					
Ankle DF ROM										
NWB (°)	0.460	0.050	0.460	0.362	0.558	20.50	0.437	0.439	0.779	1.282
WB (°)	0.597	0.051	0.070	0.498	0.696	37.00	0.592	0.585	1.427	0.697

Note. significant at *p<.05
NP, neutral position; NWB, non-weight bearing; Q, quadriceps; RF, rear-foot; Sens, sensitivity; Spec, specificity; TF, tibiofemoral; WB, weight bearing

Table 8. Results of ROC curve analysis for prediction of lateral ankle sprain history in women

Test result variables	Area under the curve									
	Area	SE	*p*	95% CI		Cut-off value	Sens	Spec	(+) LR	(–) LR
				LB	UB					
Supine										
Q angle (°)	0.447	0.067	0.430	0.316	0.578	23.78	0.474	0.474	0.901	1.110
TF angle (°)	0.512	0.069	0.852	0.377	0.648	10.71	0.500	0.500	1.000	1.000
Genu recurvatum (°)	0.483	0.067	0.803	0.352	0.614	-1.38	0.447	0.474	0.850	1.167
Prone										
RF angle (°)	0.543	0.067	0.516	0.411	0.675	3.13	0.447	0.474	0.850	1.167
Tibial varum (°)	0.500	0.067	<0.001**	0.368	0.632	3.16	0.500	0.500	1.000	1.000
Tibial torsion (°)	0.487	0.067	0.844	0.355	0.619	19.95	0.553	0.553	1.237	0.808
Standing										
Q angle (°)	0.503	0.068	0.967	0.369	0.637	21.68	0.474	0.500	0.948	1.052
TF angle (°)	0.520	0.067	0.763	0.388	0.652	11.96	0.500	0.500	1.000	1.000
RF angle (°)	0.647	0.064	0.028*	0.521	0.772	-9.02	0.605	0.605	1.532	0.653
Navicular drop										
NP-WB height (cm)	0.364	0.064	0.041*	0.237	0.490	0.88	0.368	0.368	0.582	1.717
Ankle DF ROM										
NWB (°)	0.648	0.064	0.026*	0.523	0.773	20.25	0.632	0.632	1.717	0.582
WB (°)	0.552	0.067	0.436	0.421	0.683	43.50	0.421	0.526	0.888	1.101

Note. significant at *p<.05, **p<.001
NP, neutral position; NWB, non-weight bearing; Q, quadriceps; RF, rear-foot; Sens, sensitivity; Spec, specificity; TF, tibiofemoral; WB, weight bearing

준값을 제시하고, 민감도 및 특이도 도출을 위해 ROC curve 분석을 실시하였다. 남성의 경우, 선 자세 TF 각(AUC = 0.530, p = 0.580), ND (AUC = 0.578, p = 0.143), WB DF ROM (AUD = 0.597, p = 0.070) 항목이 낮은 정확도를 가진 것으로 확인되었으나, 통계적으로 유의하지 않음으로써 외측 발목 염좌 병력을 예측할 수 있는 하지 정렬 특성은 없는 것으로 나타났다(p > 0.05; Table 7).

여성의 경우, 누운 자세 TF 각(AUC = 0.512, p = 0.852), 엎드린 자세 RF 각(AUC = 0.543, p = 0.516), 선 자세 Q 각(AUC = 0.503, p = 0.967) 및 TF 각(AUC = 0.520, p = 0.763), WB DF ROM (AUC = 0.552, p = 0.436) 항목이 낮은 정확도를 가진 것으로 확인되었으나, 통계적으로 유의하지 않았다(p > 0.05). 선 자세 RF 각(AUC = 0.647, p = 0.028)과 NWB DF ROM (AUC = 0.648, p = 0.026) 항목은 외측 발목 염좌 병력을 예측할 수 있는 것으로 나타났으나, 낮은 정확도를 가진 것으로 확인되었다(Table 8).

AUC 0.5 이상인 변인의 검정우도비에 대한 결과는 다음과 같다. 남성의 경우, 선 자세 TF 각(PLR = 0.849, NLR = 1.175), ND (PLR = 1.495,

NLR = 0.684)와 WB DF ROM (PLR = 1.427, NLR = 0.697) 항목이 매우 작음 또는 유용하지 못함 등급을 나타냈다(Table 7). 여성의 경우, 누운 자세 TF 각(PLR = 1.000, NLR = 1.000), 엎드린 자세 RF 각(PLR = 0.850, NLR = 1.167), 선 자세 Q 각(PLR = 0.948, NLR = 1.052) 및 TF 각(PLR = 1.000, NLR = 1.000), WB DF ROM (PLR = 0.888, NLR = 1.101) 항목이 매우 작음 또는 유용하지 못함 등급을 나타냈다. ND (PLR = 1.495, NLR = 0.684)와 WB DF ROM (PLR = 1.427, NLR = 0.697) 항목은 매우 작음 등급을 나타냈다(Table 8).

DISCUSSION

본 연구는 남녀 외측 발목 염좌 경험자의 정적 하지 정렬 특성 파악과 외측 발목 염좌에 영향을 미치는 정렬 요소 및 기준값을 확인하고, 정적 하지 정렬 검사의 민감도 및 특이도를 제시하기 위한 목적으로 수행되었다. 본 연구의 결과, 남성은 외측 발목 염좌 병력에 따라 선 자세와 누운 자세에서 Q 각의 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 정강뼈 내번 각과 WB DF ROM 항목이 발목 염좌 발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 여성의 경우, 외측 발목 염좌 병력에 따라 NWB DF ROM의 유의한 차이가 확인되었다. 또한, 여성의 선 자세 RF 각과 NWB DF ROM은 외측 발목 염좌 발생 위험성을 판단할 수 있는 정적 하지 정렬 요소로 확인되었으나, 이를 제외한 나머지 정적 하지 정렬 검사법은 낮은 민감도와 특이도를 보임으로써 종합적 정적 하지 정렬 측정만으로 외측 발목 염좌 부상 발생 위험성 증가 여부를 판단하기에는 제한적인 것으로 나타났다.

본 연구에서 Alignment 어플리케이션을 이용하여 외측 발목 염좌 경험자의 정적 하지 정렬 특성을 평가한 결과, 외측 발목 염좌를 경험한 남성은 누운 자세와 선 자세 모두에서 약 2° 더 적은 Q 각을 가진 것으로 나타났다. 그러므로 Q 각과 같은 몸쪽관절의 정적 정렬 요소와 외측 발목 염좌 발생 간 연관성이 존재하는 것으로 보여진다. 선행연구는 정적 정렬 측정 후 시즌 중 하지 부상을 경험한 집단이 부상이 없는 집단에 비해 Q 각이 약 4.1° 크다고 보고하여 본 연구와 반대되는 결과를 보였으나(Shambaugh, Klein & Herbert, 1991), 이 중 대부분이 무릎관절에서 발생한 부상이기 때문에 외측 발목 염좌 부상과 Q 각의 연관성은 추가적인 논의가 필요할 것으로 판단된다.

선행연구는 20대 성인의 Q 각이 17° 이상일 경우 부정렬로 정의하였는데(Pantano, White, Gilchrist & Leddy, 2005), 본 연구에서 외측 발목 염좌를 경험한 남성은 이와 유사한 정렬을 가진 것으로 확인되어(17.2°) 몸쪽관절 부정렬에 의해 영향을 받은 것으로 보여진다. Q 각의 증가는 무릎관절의 외반(valgus) 각이 커짐을 의미하며, 이는 발의 엎침(pronation)과 상관관계를 갖는다(Letafatkar, Zandi, Khodaei & Belali, 2013). 발의 엎침은 외측 발목 염좌의 발생 기전인 내번과 반대되는 동작이기 때문에, 본 연구에서 Q 각이 큰 남성은 엎침된 발의 형태를 가짐으로써 외측 발목 염좌를 경험하지 않았을 가능성이 있다. 또한, Q 각의 증가는 하지 운동 사슬 내에서 넙다리뼈(femur) 앞굽음(anteversion)의 증가, 엉덩관절의 안쪽돌림 감소, TF 각의 증가 등 하지의 전반적 정렬에 영향을 미치기 때문에(Daneshmandi, Saki, Shahheidari & Khoori, 2011), 몸쪽관절의 부정렬이 말단 부위의 부상 발생 가능성에 영향을 미칠 수 있다는 사실을 뒷받침 한다.

외측 발목 염좌를 경험하지 않은 여성의 발배뼈 하강 높이는 1.05 cm로 나타났으며, 이는 선행연구에서 정의한 과도한 엎침 정렬에 해당하는 수치이다(1 cm ≥; Cote, Brunet, Gansneder, & Shultz, 2005). 발배뼈 하강 높이가 클수록 목말밑 중립 자세의 외번각 또한 증가된다고 보고되는데(r = 0.842; Lee & Hertel, 2012), 발목의 외번은 외측 발목 염좌의 발생 기전과 반대되기 때문에 이러한 여성의 발의 형태는 앞서 언급한 몸쪽관절의 정렬이 외측 발목 염좌에 미치는 긍정적 영향을 뒷받침한다고 할 수 있다. 선행연구에 따르면 발배뼈 하강 높이가 증가한 엎침 발(1 cm ≥)의 종아리근(peroneal)은 정상발 보다 내번 동작에 반응하는 속도가 늦다고 보고된다(Denyer, Hewitt & Mitchell, 2013). 따라서 부정렬은 관절 안정성에 기여하는 근육의 활성에 영향을 미치기 때문에 부상 발생과 관련된 움직임 특성에 기여할 수 있다. 발의 엎침은 발목관절의 배측굴곡 동작을 발생시키는 앞정강근(tibialis anterior)의 근 활성도를 증가시키고(Murley, Menz & Landorf, 2009) 상대적으로 발목 복합체를 닫힌 위치(closed pack position)로 만듦으로써, 단단한 관절 형태를 구성하여 안정성을 증가시키는 것으로 보고된다(Cote et al., 2005). 그러나 Q 각의 증가로 인한 발의 엎침은 외측 발목 염좌 부상에 긍정적 영향을 미칠 수 있지만, 이로 인해 하지 운동 사슬 내에서 발생되는 보상작용과 이와 관련된 위험성 또한 살펴보아야 한다. 발은 이동 운동기술 수행 중 지면과 접촉하는 디딤기(stance phase) 구간에서 엎침 동작을 통해 하지로 전달되는 충격을 흡수하는 구조를 가진다(Maharaj, Cresswell & Lichtwark, 2017). 그러나 선행연구는 과도하게 엎침된 대상자(발배뼈 하강 높이 = 1.27 cm)의 경우 지면반력의 크기가 증가하고 최고 지면반력힘에 보다 빠르게 도달한다고 보고하여(Farahpour, Jafarnezhad, Damavandi, Bakhtiari & Allard, 2016), 감소된 충격흡수 능력으로 인해 역동적인 동작 수행 중 미세 외상이 발생함으로써 안쪽 정강이 스트레스 증후군 등과 같은 하지 과사용 부상이 나타날 수 있다고 하였다(Tweed, Campbell & Avil, 2008). 그러므로 몸쪽관절의 정적 정렬 변화는 외측 발목 염좌 부상의 관점에서 긍정적으로 작용할 수 있지만, 이로 인해 과사용 부상 발생(Tweed et al., 2008), 무릎관절의 부상 증가(Ha et al., 2014), 인접한 관절의 정적 정렬을 변화시키는 등(Daneshmandi et al., 2011)의 보상작용이 발생하기 때문에 하지의 전반적 부상을 예방하기 위해서 모든 관절의 올바른 정렬을 고려해야 한다.

남성의 종합적 정적 하지 정렬 특성이 외측 발목 염좌에 미치는 영향을 확인한 결과, 정강뼈 내번 각이 증가할수록 외측 발목 염좌 부상이 적게 발생하는 것으로 나타났다(OR = 0.779). 이는 내번된 RF 각, 감소된 DF ROM, 정강뼈 내번의 증가와 같은 하지 부정렬이 외측 발목 염좌 발생에 영향을 줄 수 있다고 보고한 선행연구의 결과와 일치한다(Beynnon, Renström, Alosa, Baumhauer & Vacek, 2001; Kim et al., 2019; Willems et al., 2005). 정강뼈 내번 각의 증가는 하퇴의 질량이 외측 이동됨을 의미하는데(Lohmann, Rayhel, Schneiderwind & Danoff, 1987), 이로 인해 발목 내번 모멘트가 증가하여 적은 외력으로도 쉽게 외측 발목 염좌가 발생하는 것으로 판단된다. 실제로 선행연구에서는 정강뼈 내번 각의 증가를 외측 발목 염좌와 만성 발목 불안정성의 위험요인으로 보고하였다(Beynnon et al., 2001; Krause & Seidel, 2018).

남성의 정적 정렬 검사 결과, NWB DF ROM은 통계적 유의한 차이가 확인되지 않았으나, WB DF ROM이 증가할수록 외측 발목 염좌가 더 자주 발생하는 것으로 나타났다(OR = 1.067). 이는 달리기와 같은 역동적인 움직임 중 DF ROM이 감소할 경우 발목관절의 닫힌 위치

(closed pack position)가 제한되어 불안정한 상태를 야기하기 때문에, DF ROM의 감소를 외측 발목 염좌 및 만성 발목 불안정성의 위험요인으로 보고한 연구와 반대되는 결과이다(Drewes, McKeon, Kerrigan & Hertel, 2009). 또한 선행연구에서 외측 발목 염좌 병력을 가진 운동선수를 대상으로 무릎관절 폄 및 굴곡, 체중부하 및 비 체중부하 등의 다양한 자세에서 DF ROM을 측정한 결과, 부상이 없는 발목과 통계적 유의한 차이가 나타나지 않았다(Denegar, Hertel & Fonseca, 2002). 앞서 언급한 연구들과 동일하게 본 연구에서는 DF ROM과 외측 발목 염좌 간 관련성을 검사하였으나, 측정 방법의 차이가 있기 때문에 반대되는 결과가 나타났다고 판단된다. 본 연구에서 수행한 WB DF ROM 측정은 무릎을 굽힌 자세로 진행하여 종아리근의 구축을 배제하고 전신의 하중을 가함으로써 최대 수동 ROM을 측정하였기 때문에, WB DF ROM의 증가는 다른 요인들을 모두 배제한 발목관절의 최대 관절 이완성이 커짐을 의미한다고 할 수 있다. 따라서 외측 발목 염좌의 위험성 평가 시 발목관절의 가동범위를 제한하는 요소를 확인하고 관절 이완성을 검사할 필요가 있을 것으로 판단된다. 이를 위해 본 연구에서 사용된 최대 체중부하 DF ROM 측정 방법이 유용하게 활용될 것으로 기대한다. 추가적으로, 실제 대부분의 외측 발목 염좌는 무릎관절이 거의 폄되고 체중이 실린 상태로 발생하기 때문에(Friel, McLean, Myers & Caceres, 2006; Robbins & Waked, 1998), 부상 발생 기전 또한 고려하여 DF ROM 및 발목관절의 ROM 측정이 수행되어야 할 것으로 생각된다. 최근 메타 분석 연구에 따르면 외측 발목 염좌 집단과 비 부상자의 좌·우면/전·후면의 발목관절의 가동범위는 모두 차이가 없는 것으로 나타나(Kobayashi, Tanaka & Shida, 2016), DF ROM 뿐만 아니라 모든 발목관절의 가동범위가 실제로 외측 발목 염좌 부상을 발생시키는지 추후 연구를 통해 확인할 필요가 있다.

여성의 경우, ROC curve 분석 결과 선 자세의 RF 각과 NWB DF ROM이 외측 발목 염좌 병력을 예측하는 것으로 나타났다. 선행연구에 따르면 외측 발목 염좌 부상은 성별에 영향을 받지 않는 것으로 나타났으나(Beynnon et al., 2005; Roos et al., 2017), 재부상률이 가장 높은 상위 3개의 종목에서 남성은 19.1%(농구), 14.3%(테니스), 14.3%(육상)인 반면, 여성은 21.1%(농구), 21.1%(육상), 20.0%(필드하키)로 나타나 남녀 운동선수 간 재부상률 차이가 보고되었다(Roos et al., 2017). 또한, 남성 선수들의 만성 발목 불안정성 비율은 약 17%인데 반해 여성 선수의 만성 발목 불안정성 비율은 약 32%로 확인되어(Tanen, Docherty, Van Der Pol, Simon & Schrader, 2014), 남녀 간 가장 큰 신체적 차이 중 하나인 정적 정렬 특성이 높은 비율로 반복되는 외측 발목 염좌에 기여하는 것으로 판단된다. 그러므로 본 연구에서 나타난 선 자세의 RF 각과 NWB DF ROM 항목을 예측 인자로 활용한다면, 여성 운동선수들의 외측 발목 염좌 위험성을 사전 판별할 수 있을 것으로 기대한다. 추가적으로, 여성은 남성보다 Q 각, 정강뼈 비틀림, 발의 엎침, 반장슬 각이 큰 특징이 있기 때문에(Griffin et al., 2000; Medina McKeon & Hertel, 2009), 앞서 언급한 정렬을 중심으로 여성 선수의 높은 외측 발목 염좌 재발률을 보이는 스포츠에서 주요하게 나타나는 움직임 중 나타나는 동적 변화를 살펴본다면 본 연구와 더불어 외측 발목 염좌에 대해 유용한 하지 정렬 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 ROC curve 분석을 통해 외측 발목 염좌 부상의 위험성을 증가시킬 수 있는 정적 하지 정렬들의 기준값을 제시하였으며, 종합적인 하지 정렬 측정에 대해 민감도와 특이도를 보고하였다. 본 연구에서는 정적 하지 정렬 측정이 외측 발목 염좌의 위험성 증가 여부를 판단 할 수 있는 검사 방법일 것이라 가정하였지만, 대부분 검사 항목의 민감도와 특이도가 낮은 것으로 나타나 정적 하지 정렬 평가만을 활용하여 외측 발목 염좌 발생의 위험성을 판단하는 것은 어려울 것으로 보여진다. 따라서, 후속연구에서는 외측 발목 염좌 부상의 위험요인을 검사하고자 할 시, 정적인 정렬 요소뿐만 아니라 역동적인 움직임에서 나타나는 운동학적 특성들을 함께 고려해야 할 것으로 판단된다. 추가적으로 ROC curve 내 나타난 밑면적은 예측(prediction)뿐만 아니라 예후(prognostic)를 평가하는데 사용할 수 있는 것으로 보고되기 때문에(Park & Oh, 2016), 종합적 정적 정렬 검사는 낮은 민감도와 특이도를 나타냈음에도 불구하고 외측 발목 염좌 및 재손상 위험성에 대한 예측인자로서 부상 예방 전략의 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫 번째, 본 연구의 설계가 외측 발목 염좌 부상 병력에 따른 환자-대조군 연구(case-control study)이기 때문에 정적 하지 정렬과 부상의 인과관계 확인과정에서 오류가 존재할 가능성이 있다. 따라서 추후연구에서는 본 연구의 결과에서 나타난 외측 발목 염좌와 관련이 있는 정적 정렬 변인들을 활용하여 실제 부상이 발생하는지 확인할 필요가 있다. 두 번째, 본 연구의 대상자는 선행연구의 기준에 따라 정의되었으나, 외측 발목 염좌를 경험한 집단의 경우 부상 당시 접촉, 비접촉 등과 같은 부상 발생 기전의 추가적인 정보가 부족하다. 세 번째, 본 연구에서 외측 발목 염좌에 기여하는 정렬 항목 도출을 위한 충분한 피험자가 모집되었으나, 부상자와 대조군 간 비율이 일치하지 않은 한계점이 존재한다. 이러한 제한점에도 불구하고, 본 연구는 종합적인 정적 하지 정렬을 평가를 통해 외측 발목 염좌 경험자의 특징을 보고하여 이를 부상의 내재적 위험요인으로 제시하였다. 또한 정적 하지 정렬 검사의 기준값과 유용성 및 한계점을 확인함으로써 의미 있는 연구가 될 수 있을 것이다.

CONCLUSION

외측 발목 염좌 경험자와 부상 병력이 없는 대조군을 대상으로 Alignment 어플리케이션과 고니오미터를 통해 종합적인 정적 하지 정렬을 검사한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다: 1) 외측 발목 염좌 경험자의 정적 하지 정렬은 부상 병력이 없는 대상자와 비교하여 차이가 나타났으며, 그 항목은 남녀 간 차이가 존재한다. 2) 남성의 경우 정강뼈 내번과 WB DF ROM은 외측 발목 염좌 발생에 영향을 미친다. 3) 여성의 경우 선 자세 RF 각과 NWB DF ROM 검사를 통해 외측 발목 염좌의 병력을 예측할 수 있으나, 정적 정렬의 검사법은 다소 낮은 민감도 및 특이도가 나타났다. 따라서 정적 하지 정렬 검사만을 이용하여 외측 발목 염좌 부상의 위험성을 평가하기엔 다소 제한점이 있는 것으로 판단된다. 추후연구에서는 보다 정확한 외측 발목 염좌 위험성 및 예측을 위해 본 연구에서 나타난 정적 정렬 검사 항목과 역동적 움직임 수행 중 나타나는 동적 정렬의 특징을 함께 고려해야 할 것 이다.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank Institute of Convergence Science (ICONS) and the International Olympic Committee Research Centre KOREA for Prevention of Injury and Protection Athlete Health supported by the International Olympic Committee (IOC).

REFERENCES

Ahn, S. H., Kwon, O. Y., Hwang, U. J., Jung, S. H., Kim, H. A. & Kim, J. H. (2020). The association between genu recurvatum angle and the strength of the hip and knee muscles in standing workers. *Work*, *66*(1), 173-181.

Al-Mohrej, O. A. & Al-Kenani, N. S. (2017). Acute ankle sprain: Conservative or surgical approach? *EFORT Open Reviews*, *1*(2), 34-44.

Arendt, E. A., Agel, J. & Dick, R. (1999). Anterior cruciate ligament injury patterns among collegiate men and women. *Journal of Athletic Training*, *34*(2), 86-92.

Beynnon, B. D., Renström, 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.

Beynnon, B. D., Vacek, P. M., Murphy, D., Alosa, D. & Paller, D. (2005). First-time inversion ankle ligament trauma: The effects of sex, level of competition, and sport on the incidence of injury. *American Journal of Sports Medicine*, *33*(10), 1485-1491.

Caylor, D., Fites, R. & Worrell, T. W. (1993). The relationship between quadriceps angle and anterior knee pain syndrome. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *17*(1), 11-16.

Cote, K. P., Brunet, M. E., Gansneder, B. M. & Shultz, S. J. (2005). Effects of pronated and supinated foot postures on static and dynamic postural stability. *Journal of Athletic Training*, *40*(1), 41-46.

Daneshmandi, H., Saki, F., Shahheidari, S. & Khoori, A. (2011). Lower extremity malalignment and its linear relation with Q angle in female athletes. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *15*, 3349-3354.

Delahunt, E. & Remus, A. (2019). Risk factors for lateral ankle sprains and chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, *54*(6), 611-616.

Denegar, C. R., Hertel, J. & Fonseca, J. (2002). The effect of lateral ankle sprain on dorsiflexion range of motion, posterior talar glide, and joint laxity. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *32*(4), 166-173.

Denyer, J. R., Hewitt, N. L. A. & Mitchell, A. C. S. (2013). Foot structure and muscle reaction time to a simulated ankle sprain. *Journal of Athletic Training*, *48*(3), 326-330.

Dill, K. E., Begalle, R. L., Frank, B. S., Zinder, S. M. & Padua, D. A. (2014). Altered knee and ankle kinematics during squatting in those with limited weight-bearing-lunge ankle-dorsiflexion range of motion. *Journal of Athletic Training*, *49*(6), 723-732.

Doherty, C., Bleakley, C., Hertel, J., Caulfield, B., Ryan, J. & Delahunt, E. (2016). Recovery from a first-time lateral ankle sprain and the predictors of chronic ankle instability: A prospective cohort analysis. *American Journal of Sports Medicine*, *44*(4), 995-1003.

Drewes, L. K., McKeon, P. O., Kerrigan, D. C. & Hertel, J. (2009). Dorsiflexion deficit during jogging with chronic ankle instability. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *12*(6), 685-687.

Farahpour, N., Jafarnezhad, A., Damavandi, M., Bakhtiari, A. & Allard, P. (2016). Gait ground reaction force characteristics of low back pain patients with pronated foot and able-bodied individuals with and without foot pronation. *Journal of Biomechanics*, *49*(9), 1705-1710.

Finch, C. (2006). A new framework for research leading to sports injury prevention. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *9*(1-2), 3-9.

Fong, C. M., Blackburn, J. T., Norcross, M. F., McGrath, M. & Padua, D. A. (2011). Ankle-dorsiflexion range of motion and landing biomechanics. *Journal of Athletic Training*, *46*(1), 5-10.

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.

Gribble, P. A., Delahunt, E., Bleakley, C. M., Caulfield, B., Docherty, C. L., Fong, D. T. P., Fourchet, F., Hertel, J., Hiller, C. E., Kaminski, T. W., Mckeon, P. O., Refshauge, K. M., Van der Wees, P., Vicenzion, W. & Wikstrom, E. A. (2014). Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: A position statement of the International Ankle Consortium. *Journal of Athletic Training*, *49*(1), 121-127.

Griffin, L. Y., Agel, J., Albohm, M. J., Arendt, E. A., Dick, R. W., Garrett, W. E., Garrick, J. G., Hewett, T. E., Huston, L., Ireland, M. L., Johnson, R. J., Kibler, W. B., Lephart, S., Lewis, J. L., Lindenfeld, T. N., Mandelbaum, B. R., Marchak, P., Teitz, C. C. & Wojtys, E. M. (2000). Noncontact anterior cruciate ligament injuries: Risk factors and prevention strategies. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, *8*(3), 141-150.

Ha, S. H., Kim, J. K., Yoon, S. H. & Park, S. K. (2014). Analysis of lower extremity alignment and injury type in female soccer players during 2013 season. *Asian Journal of Kinesiology*, *16*(3), 127-136.

Hertel, J. (2000). Functional instability following lateral ankle sprain. *Sports Medicine*, *29*(5), 361-371.

Hertel, J. & Corbett, R. O. (2019). An updated model of chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, *54*(6), 572-588.

Hootman, J. M., Dick, R. & Agel, J. (2007). Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: Summary and recommendations for injury prevention initiatives. *Journal of Athletic Training*, *42*(2), 311-319.

Hubbard, T. J., Carpenter, E. M. & Cordova, M. L. (2009). Contributing factors to medial tibial stress syndrome: A prospective investigation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *41*(3), 490-496.

Hubbard, T. J. & Wikstrom, E. A. (2010). Ankle sprain: Pathophysiology, predisposing factors, and management strategies. *Open Access Journal of Sports Medicine*, *1*, 115-122.

Jonson, S. R. & Gross, M. T. (1997). Intraexaminer reliability, interexaminer reliability, and mean values for nine lower extremity skeletal measures in healthy naval midshipmen. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *25*(4), 253-263.

Kalichman, L., Lachman, H. & Freilich, N. (2016). Long-term impact of ankle sprains on postural control and fascial densification. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, *20*(4), 914-919.

Kettelkamp, D., Hillberry, B., Murrish, D. & Heck, D. (1988). Degenerative arthritis of the knee secondary to fracture malunion. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*, *234*, 159-169.

Kim, C. Y., Ryu, J. H., Kang, T. K., Kim, B. H., Lee, S. C. & Lee, S. Y. (2019). 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. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *29*(2), 61-70.

Ko, J., Rosen, A. B. & Brown, C. N. (2018). Functional performance deficits in adolescent athletes with a history of lateral ankle sprain(s). *Physical Therapy in Sport*, *33*, 125-132.

Kobayashi, T., Tanaka, M. & Shida, M. (2016). Intrinsic risk factors of lateral ankle sprain: A systematic review and meta-analysis. *Sports Health*, *8*(2), 190-193.

Krause, F. & Seidel, A. (2018). Malalignment and lateral ankle instability: Causes of failure from the varus tibia to the cavovarus foot. *Foot and Ankle Clinics*, *23*(4), 593-603.

Lee, S. Y. & Hertel, J. (2012). Arch height and maximum rearfoot eversion during jogging in 2 static neutral positions. *Journal of Athletic Training*, *47*(1), 83-90.

Letafatkar, A., Zandi, S., Khodaei, M. & Belali, J. (2013). Flat foot deformity, Q angle and knee pain are interrelated in wrestlers. *Novel Physiotherapies*, *3*(2), 138.

Lohmann, K. N., Rayhel, H. E., Schneiderwind, W. P. & Danoff, J. V. (1987). Static measurement of tibia vara. Reliability and effect of lower extremity position. *Physical Therapy*, *67*(2), 196-202.

Maharaj, J. N., Cresswell, A. G. & Lichtwark, G. A. (2017). Subtalar joint pronation and energy absorption requirements during walking are related to tibialis posterior tendinous tissue strain. *Scientific Reports*, *7*(1), 17958-17958.

McGee, S. (2002). Simplifying likelihood ratios. *Journal of General Internal Medicine*, *17*(8), 647-650.

McPoil, T. & Cornwall, M. W. (1994). Relationship between neutral subtalar joint position and pattern of rearfoot motion during walking. *Foot & Ankle International*, *15*(3), 141-145.

Medina McKeon, J. M. & Hertel, J. (2009). Sex differences and representative values for 6 lower extremity alignment measures. *Journal of Athletic Training*, *44*(3), 249-255.

Meeuwisse, W. H., Tyreman, H., Hagel, B. & Emery, C. (2007). A dynamic model of etiology in sport injury: The recursive nature of risk and causation. *Clinical Journal of Sport Medicine*, *17*(3), 215-219.

Moisan, G., Mainville, C., Descarreaux, M. & Cantin, V. (2020). Unilateral jump landing neuromechanics of individuals with chronic ankle instability. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *23*(5), 430-436.

Moreland, J. R., Bassett, L. W. & Hanker, G. J. (1987). Radiographic analysis of the axial alignment of the lower extremity. *Journal of Bone and Joint Surgery American Volume*, *69*(5), 745-749.

Mueske, N., Feifer, D. T., VandenBerg, C., Pace, J. L., Katzel, M. J., Zaslow, T., Edison, B. & Wren, T. (2019). Effect of static anatomic alignment on dynamic limb valgus during side-step cutting in uninjured adolescent athletes. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, *7*(Suppl 3), 2325967119S2325900028.

Murley, G. S., Menz, H. B. & Landorf, K. B. (2009). Foot posture influences the electromyographic activity of selected lower limb muscles during gait. *Journal of Foot and Ankle Research*, *2*(1), 1-9.

Nguyen, A. D., Boling, M. C., Slye, C. A., Hartley, E. M. & Parisi, G. L. (2013). Various methods for assessing static lower extremity alignment: Implications for prospective risk-factor screenings. *Journal of Athletic Training*, *48*(2), 248-257.

Nguyen, A. D., Shultz, S. J. & Schmitz, R. J. (2015). Landing biomechanics in participants with different static lower extremity alignment profiles. *Journal of Athletic Training*, *50*(5), 498-507.

Norkin, C. C. & White, D. J. (2016). *Measurement of Joint Motion: a Guide to Goniometry.* 4th edition. Philadelphia: F.A. Davis.

Pantano, K. J., White, S. C., Gilchrist, L. A. & Leddy, J. (2005). Differences in peak knee valgus angles between individuals with high and low Q-angles during a single limb squat. *Clinical Biomechanics*, *20*(9), 966-972.

Park, S. I. & Oh, T. H. (2016). Application of receiver operating characteristic (ROC) curve for evaluation of diagnostic test performance. *Journal of Veterinary Clinics*, *33*(2), 97-101.

Plante, J. E. & Wikstrom, E. A. (2013). Differences in clinician-oriented outcomes among controls, copers, and chronic ankle instability groups. *Physical Therapy in Sport*, *14*(4), 221-226.

Robbins, S. & Waked, E. (1998). Factors associated with ankle injuries. Preventive measures. *Sports Medicine*, *25*(1), 63-72.

Roos, K. G., Kerr, Z. Y., Mauntel, T. C., Djoko, A., Dompier, T. P. & Wikstrom, E. A. (2017). The epidemiology of lateral ligament complex ankle sprains in national collegiate athletic association sports. *American Journal of Sports Medicine*, *45*(1), 201-209.

Sakaguchi, M., Ogawa, H., Shimizu, N., Kanehisa, H., Yanai, T. & Kawakami, Y. (2014). Gender differences in hip and ankle joint kinematics on knee abduction during running. *European Journal of Sport Science*, *14*(Suppl 1), S302-309.

Sciascia, A. & Cromwell, R. (2012). Kinetic chain rehabilitation: A theoretical framework. *Rehabilitation Research and Practice*, *2012*, 1-9.

Shambaugh, J. P., Klein, A. & Herbert, J. H. (1991). Structural measures as predictors of injury basketball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *23*(5), 522-527.

Shultz, S. J., Nguyen, A. D. & Schmitz, R. J. (2008). Differences in lower extremity anatomical and postural characteristics in males and

females between maturation groups. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *38*(3), 137-149.

Shultz, S. J., Nguyen, A. D., Windley, T. C., Kulas, A. S., Botic, T. L. & Beynnon, B. D. (2006). Intratester and intertester reliability of clinical measures of lower extremity anatomic characteristics: Implications for multicenter studies. *Clinical Journal of Sport Medicine*, *16*(2), 155-161.

Sinclair, J., Brooks, D. & Stainton, P. (2019). Sex differences in ACL loading and strain during typical athletic movements: A musculoskeletal simulation analysis. *European Journal of Applied Physiology*, *119*(3), 713-721.

Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, *240*(4857), 1285-1293.

Tanen, L., Docherty, C. L., Van Der Pol, B., Simon, J. & Schrader, J. (2014). Prevalence of chronic ankle instability in high school and division I athletes. *Foot & Ankle Specialist*, *7*(1), 37-44.

Tweed, J. L., Campbell, J. A. & Avil, S. J. (2008). Biomechanical risk factors in the development of medial tibial stress syndrome in distance runners. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *98*(6), 436-444.

Van Bergeyk, A. B., Younger, A. & Carson, B. (2002). CT analysis of hindfoot alignment in chronic lateral ankle instability. *Foot & Ankle International*, *23*(1), 37-42.

Van Mechelen, W., Hlobil, H. & Kemper, H. C. (1992). Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Medicine*, *14*(2), 82-99.

Willems, T. M., Witvrouw, E., Delbaere, K., Mahieu, N., De Bourdeaudhuij, L. & De Clercq, D. (2005). Intrinsic risk factors for inversion ankle sprains in male subjects: A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, *33*(3), 415-423.

Wyndow, N., De Jong, A., Rial, K., Tucker, K., Collins, N., Vicenzino, B., Russell, T. & Crossley, K. (2016). The relationship of foot and ankle mobility to the frontal plane projection angle in asymptomatic adults. *Journal of Foot and Ankle Research*, *9*, 3.