



Original Article

Kinetic Variables of Lower-Extremity Joint during Forward Jump Landing with Versus without Elastic Ankle Strap

Kyoungkyu Jeon, Seji Ahn and Hyeongdo Jeong*

Incheon National University

Article Info

Received 2023. 01. 03.

Revised 2023. 08. 01.

Accepted 2023. 08. 29.

Correspondence*

Hyeongdo Jeong

gudeh941019@gmail.com

Key Words

Chronic ankle instability,
Forward jump landing,
Ankle strap, Loading rate,
Leg stiffness

PURPOSE This study aimed to investigate the effect of an ankle strap on kinetic variables of the lower limb during forward jump landing. **METHODS** Twelve healthy adult men (mean age, 23.58±2.22 years; mean height, 177.83±5.37 cm; mean weight, 75.00±7.72 kg) participated. The participants stood barefoot on both legs at a horizontal distance of 40% of their body height from the center of the force plate, then jumped forward and landed on the force plate with their dominant or non-dominant leg over a 30-cm hurdle while wearing or not wearing an ankle strap. Joint angle, peak vertical force, loading rate, and leg stiffness were calculated. Paired t-test and repeated-measures two-way analysis of variance with Bonferroni's post hoc tests were used to compare the characteristics of both lower limbs and the effect of wearing an ankle strap. The significance level was $\alpha < .05$ **RESULTS** Our results showed significant differences in kinematic variables between the dominant and non-dominant legs without the ankle strap. With the ankle strap, the inversion angles at the ankle joints of both lower extremities were significantly decreased, and an interaction effect between both legs and the ankle strap occurred in the internal rotation angle of the ankle joint. Kinetic variables did not differ significantly. **CONCLUSIONS** The ankle strap did not completely compensate for ankle instability in the non-dominant leg, but it significantly reduced the angle of internal rotation at the ankle joint. Thus, we recommend that correct wearing of the ankle strap in sports since it reduces the possibility of lateral ankle sprains to some extent.

서론

하지 관절 부상은 스포츠 상황을 포함하여 일상생활 동작 중 방향 전환, 점프-착지 등 다양한 상황에서 나타난다(Hashemi et al., 2011). 스포츠 상황에서 발생하는 부상 중 약 10~30%가 발목관절 부상이 나타나며, 이 중 70%가 통증, 붓기, 불안정성 등의 발목 염좌로 나타난다(Kobayashi et al., 2016; Mugno, 2021). 특히, 발목 부상 중 외측 발목 염좌 (lateral ankle sprain, LAS)가 가장 흔하게 나타나며, 점프-착지, 방향전환 시 발목에서 내회전과 내반이 과도하게 나타나는 특성이 주된 부상의 원인으로 알려져 있다(Fong et al., 2012).

LAS 발생 중 약 70%는 발목 외측의 전거비인대(anterior talofibular ligament, ATFL)의 손상이 나타나며, 한 번 LAS가 발생하고 난 후 약 40~70%는 염좌가 재발되는 만성 발목 불안정성(chronic ankle instability, CAI)으로 진행된다(Chinn et al., 2013; Doherty et al., 2014; Jeon & Park, 2021). CAI는 흔들림(giving way), 기계적 불안정성, 고유수용성 감각 손상 등의 문제를 일으키고 이것은 신체의 자세 조절 기능을 변형시켜 안정성을 감소시킨다(Al Adal et al., 2019). 따라서, 초기에 발목 염좌를 예방하거나 염좌 발생 후 재활방법의 적용이 중요하다. 이를 위해 다양한 점프-착지 동작의 평가를 통해 불안정성을 가진 집단의 특성을 파악할 수 있으며, CAI를 개선하기 위한 기초자료 제시가 가능하다(Gabriner et al., 2015; Mineta et al., 2021).

인간은 동작을 수행하면서 주로 우성 하지(dominant leg, DO)를 사용하고, 비우성(non-dominant leg, ND) 하지에 비해 더 좋은 동작 수행 능력을 보인다. 따라서 우성 하지는 점프와 컷팅 등과 같은

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

기능적 움직임에서 상대적으로 더 향상된 능력을 나타낸다(Focke et al., 2016). 대학 남자 농구선수에게 6 m 달리기 후 한발 최대 점프 착지를 수행한 결과, 점프 시 비우성 하지에 비해 우성 하지에서 무릎관절의 신전 각도와 발목관절의 저축굴곡 각도가 크게 나타났고, 이는 지면반력을 증가시켜 점프 높이에서 우성 하지가 더 기능적으로 뛰어나기 때문이라고 보고하였다(Sugiyama et al., 2014). 그러나, 정적 및 동적 상황에서의 축구선수의 단일 하지 서있기 동작을 통해 균형과 안정성을 평가한 연구에서는 우성 하지와 비우성 하지 간 차이를 발견할 수 없었는데, 이러한 결과는 양측 하지가 공유하는 대뇌 피질의 메커니즘에 의해 우성 하지에서 더 나은 운동 수행 능력을 발휘하는 데 필요한 근육 활성화 패턴 등과 같은 정보들이 비우성 하지로 전이되어 균형 조절 능력이 향상되는 교차학습(cross-education) 현상이 발생한 것으로 설명하였다(Paillard & Noé, 2020).

반복적인 발목 부상으로 인한 불안정성과 관절가동범위 감소는 편측 하지의 관절운동 형상학에 영구적인 변형을 초래하기 때문에 발목 염좌 부상을 예방하는 것이 중요하다(Miklovic et al., 2018). 이를 위해 발목관절의 근력 강화 운동(Hall et al., 2015; Loudon et al., 2008; Smith et al., 2012), 고유수용감각 향상 운동 (Eils et al., 2010; Ha et al., 2018; McGuine & Keene, 2006) 등 많은 운동이 제시되고 있지만, 이러한 방법은 모두 장기간의 운동이 필요하므로 즉각적인 부상 예방 효과를 보기 어려운 한계점을 가지고 있다 (Donovan & Hertel, 2012). 이러한 운동의 단점을 보완하기 방법으로 발목 보호대가 사용되고 있으며, 다양한 스포츠 종목에서 발목 보호대가 발목 염좌와 같은 부상 예방에 효과가 있다고 보고하였다 (Frey et al., 2010).

발목 보호대는 최초 발목관절의 부상 예방 또는 재발 방지, 운동 수행 능력 향상을 위해 널리 사용되고 있다(Omori et al., 2004; Venesky et al., 2006). 발목 보호대는 착지 과정 중 초기 접촉 시 발목관절의 저축굴곡과 착지 중 발생하는 배축굴곡 움직임을 제한시킨다. 따라서 시상면과 관상면에서의 발목관절 위치를 중립상태로 만들어 점프 또는 착지 시 발생하는 발목관절 움직임을 최소화하여 부상 발생률을 감소시킨다(DiStefano et al., 2008). 이러한 발목관절의 움직임 제한은 다른 관절의 강성을 증가시켜 하지관절의 부상을 일으킬 수 있으나, 발목 보호대의 종류와 재질, 개인마다 선택하는 자세 조절 기능 수준에 따라 다른 결과가 나타날 수 있다 (Mason-Mackay et al., 2016). 발목 보호대의 부상 예방 효과를 규명하기 위해, 한쪽 하지에 발목 보호대 착용 여부에 따른 점프 후 착지를 수행하여 발생한 운동역학적 및 운동역학적 변인의 차이를 분석한 연구는 많이 진행되었다(Agres et al., 2019; Chen et al., 2012; Theodorakos et al., 2016, 2018). 그러나 한 선행연구에서는 발목 보호대 착용이 오히려 하지 부상을 증가시켰다고 보고하였다(Yang et al., 2005).

장기간의 시간이 필요한 운동의 단점을 보완하여 즉각적인 부상 예방 효과를 위해 발목 보호대를 사용하고 있지만, 탄력성, 주관적인 느낌 등에 따라 형태와 종류가 다양하며, 그에 따른 효과에 대해서 논쟁이 많다. 선행연구를 살펴보면, 발목 보호대와 테이핑 착용의 고유수용성 감각에 대한 효과를 비교하거나(Heit et al., 1996), 발목 보호대의 종류에 따른 민첩성, 균형능력에 대한 효과 차이를 비교(Parsley et al., 2013), 급격한 방향전환 움직임 시 발목 보호대가 무릎의 역학적 변인에 미치는 영향에 관한 연구 등이 진행되었으나

(West et al., 2014), 한 종류의 발목 보호대 착용 여부에 따른 전방 점프 착지 시 우성 및 비우성 하지의 역학적 차이를 살펴본 연구는 부족한 실정이다.

따라서, 현재 시중에서 일반적으로 판매되는 탄성 스트랩 재질로 이루어진 발목 보호대가 우성 하지에 비해 불안정한 기능을 가진 비우성 하지에 미치는 효과를 살펴보고, 발목 보호대를 착용했을 때 우성 하지와 비우성 하지에 나타나는 역학적 변인 차이에 대해 정량적으로 분석해볼 필요가 있다.

이에 본 연구는 전방 점프 착지 시 탄성 재질의 발목 보호대 착용 여부에 따른 우성 및 비우성 하지 관절의 역학적 변인에 미치는 영향을 살펴보고, 이를 통해 발목 보호대 착용이 불안정한 하지의 착지 동작 중 발생하는 부상의 예방 효과를 밝히는 기초자료를 제공하는 목적이 있다.

연구방법

연구대상

본 연구는 인천 소재 I 대학교 기관생명윤리위원회(INUIRB No. 7007971-202012-003A)에 승인을 받은 후 진행되었다. 대상자는 우성 하지가 오른발인 20대 남자 대학생 12명이 실험에 참여하였으며, 최근 6개월 이내 하지 관절을 포함한 신체에 근골격계 부상과 수술 이력이 없는 실험 동작 실시에 문제가 없는 대상자를 모집하였다. 우성 하지는 각 대상자가 공을 잘 때 주로 사용하고자 하는 하지를 우성 하지로 정의하였다(Paillard & Noé, 2020). 모든 대상자에게 연구 진행 및 절차에 대해 충분한 설명을 하였으며, 동의를 얻은 후 실험을 진행하였다(Table 1).

연구절차

전방 점프 착지 동작의 촬영과 분석을 위해 대상자들은 실험실을 방문하여 실험을 진행하였으며, 측정 전 연구 내용과 절차와 주의사항 등을 충분히 인지시킨 후 부상을 방지하기 위해 약 10분간 개별적인 준비운동을 실시하였다. 발목 보호대 착용 여부에 따른 효과 차이를 비교하기 위해, 전방 점프 거리의 기준은 대상자와 지면반력기 중심까지 거리는 대상자 신장의 40%로 설정하였고, 수직적인 요소를 추가하기 위해 30 cm 높이의 장애물을 대상자와 지면반력기의 사이에 위치시켰다(Sell, 2012). 먼저 맨발 상태에서 양발로 전방 점프하여 무작위 순서로 왼발 및 오른발로 각각 착지 동작을 실시하였고, 동작을 수행하는 동안 상지는 통제하여 양손을 전상장골극에 올려 고정

Table 1. Information of participants

Variables	M±SD
n	12
Age (years)	23.58±2.22
Height (cm)	177.83±5.37
Weight (kg)	75.00±7.72

Note. Data are mean ± standard deviation.

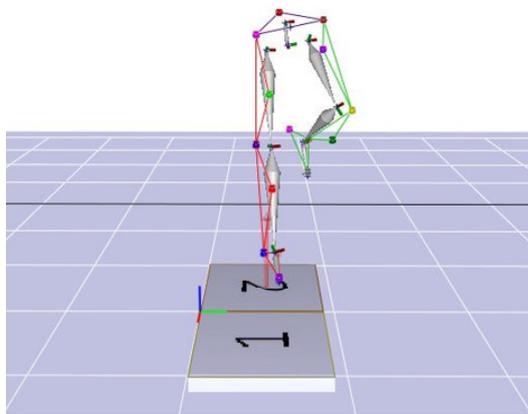


Fig. 1. Experiment setup



Fig. 2. Ankle strap

시켰다. 착지 후 최대한 안정적인 상태를 만들도록 하였고(Figure 1), 피로 효과를 없애기 위해 충분한 휴식을 취하도록 하였다.

본 연구에서 사용된 발목 보호대(ankle support sp-719, Taiwan)는 탄성 재질로 이루어져 있으며 발뒤꿈치를 완전히 감싸지 않은 상태로 착용하는 형태이다. 벨크로의 위치를 조정하여 고정 및 착용할 수 있고, 발의 크기에 따른 사이즈가 다양해 착용 후 압박력을 조절할 수 있으며, 현재 시중에서 많이 판매되고 있는 탄력 발목 보호대의 한 종류이다. 본 연구의 실험에서는 발목 보호대 착용 시, 최대한 당겨 압박력을 최대로 하였으며, 착용 사진은 <Figure 2>와 같다.

그 후 발목 보호대를 착용 후 동일한 방법으로 전방 점프 후 착지 동작을 수행하였다. 동작분석을 위해 (Figure 3)와 같이, 하지 중심으로 modified Helen Hayes Markers set을 기반으로 하여 19개의 반사 마커(10 mm)를 부착하여 정적 상태에서 해부학적 자세를 측정하였다(Kadaba et al., 1989). 이후 대상자들의 양쪽 다리의 무릎 및 발목관절의 내측에 부착한 4개의 반사 마커를 제거하고 15개의 마커를 사용하여 동작을 측정하였다. 동작 중 장애물을 건드리거나 착지 후 발이 지면반력기 밖으로 벗어나거나 안정된 상태를 유지

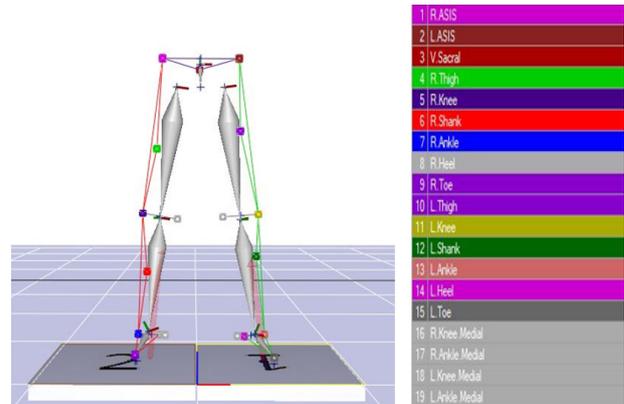


Fig. 3. Modified Helen Hayes Marker Set

하지 못하고 넘어지면 실패로 간주하고 재측정하였다. 실패로 간주하지 않고 안정적으로 착지한 성공적인 동작 3회를 측정 후 평균값을 분석에 사용하였다.

자료처리 및 분석

동작의 운동학적 및 운동역학적 분석을 위해 8대의 영상분석 카메라 (Eagle & Raptor-E System, Motion Analysis Corp., USA)와 1대의 지면반력기(OR6-5-2000, AMTI Inc., USA)를 사용하였다. 동작 측정 전 영상분석 카메라가 동작분석을 충분히 포함할 수 있도록 공간좌표 설정을 위한 영점조정(calibration)을 하였다. 이때, 영상분석 카메라 촬영속도의 샘플링 비율은 120 frames/sec으로 설정하였으며, 오차 범위는 0.3 mm 이내로 설정하였다. 지면반력의 경우 초당 1,200 Hz로 샘플링하였다.

동작분석 및 지면반력의 자료는 아날로그-디지털 컨버터(A/D converter, NI USB-6218, National Instruments, Hungary)로 동기화하여 분석하였다. 지면반력 변인으로 발생하는 최대 수직 지면반력(F_z) 값을 분석하였으며, 각 대상자의 체중으로 나누어 표준화하였다(% BW). 모든 동작 진행 방향은 일치시켰으며, 전후 방향을 Y축, 좌우 방향을 X축, 수직 방향을 Z축으로 설정하였다. 최대 수직 지면반력 시점에서의 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절의 각도와 최대 지면반력과 부하율, 하지 강성 데이터 분석을 위해 동작분석 소프트웨어인 Cortex 5.0(Motion Analysis Corp., USA)를 활용하였으며, 최대 지면반력 시점의 동작분석 데이터를 사용하였다. 자료처리를 위해 신체는 분절로 연결된 강체시스템으로 인체관절 중심점을 좌표화하였다.

부하율>Loading rate)은 다음과 같은 공식으로 산출되었다. 최대 수직 지면반력(peak vertical force, PVF)는 지면반력기에서 발생한 각 하지의 최대 수직 지면반력을 각 대상자의 체중으로 표준화한 값이며, 최대 수직 지면반력에 도달하는 시간(time to peak vertical force)은 초기 접촉 시점부터 최대 수직 지면반력 시점까지의 시간이다.

$$\text{Loading Rate} = \text{Peak Vertical Force} / \text{Time to Peak Vertical Force}$$

하지 강성은 다음과 같은 공식으로 산출되었다. PVF는 최대 수직 지면반력을 각 대상자의 체중으로 나눈 값이며, ΔL 는 초기 접촉 시점부터 최대 수직 지면반력 시점까지 골반 질량중심의 수직 변화 비율이다. 이는 하지 강성 값이 클수록 최대 수직 지면반력 시점에 골반 질량중심의 수직 변화율이 낮고, 하지관절이 더 경직된 착지를 수행했다고 볼 수 있다.

$$\text{Leg stiffness} = \frac{\text{Peak Vertical Force}}{\Delta L}$$

통계처리

통계처리는 Windows 용 SPSS 프로그램(version 25.0, SPSS Inc., IBM, USA)를 사용하였으며, 측정된 모든 값은 평균과 표준편차를 산출하였다. 전방 점프 착지 시 발목 보호대 착용 여부에 따른 우성 하지와 비우성 하지 관절의 역학적 변인 차이 비교를 위해 이원 분산 분석(two-way ANOVA)을 실시하였다. 유의한 상호작용이 발생한 변인에 대한 사후검정은 본페로니(Bonferroni) 검정을 하였다. 모든 통계적 유의수준은 $\alpha=.05$ 미만으로 설정하였다.

연구결과

이원 분산분석 결과, 엉덩관절에서는 양쪽 하지 간 주효과 및 발목 보호대 착용 여부에 따른 주효과는 나타나지 않았다. 무릎관절에서는 시상면, 관상면, 수평면 모두 양쪽 하지 간 주효과가 나타났다. 구체적으로 우성 하지가 비우성 하지에 비해 굴곡 각도가 유의하게

켰으며($p=.000$), 내반 및 외회전 각도가 유의하게 작았다($p=.004$, $p=.000$). 이때, 발목 보호대 착용 유무에 따른 주효과는 나타나지 않았다. 발목관절에서는 시상면, 수평면에서 양쪽 하지 간 주효과가 나타났다. 구체적으로 우성 하지가 비우성 하지보다 저축굴곡 및 내회전 각도가 유의하게 작았다($p=.000$, $p=.007$). 발목 보호대 착용 여부에 따른 주효과는 관상면에서 발생하였고, 양쪽 하지 모두 발목 보호대 착용 전에 비해 착용 후 내반 각도가 유의하게 감소하였다($p=.000$). 양쪽 하지와 발목 보호대의 상호작용에서는 발목관절의 내회전 각도에서 발생하였다($p=0.039$). 사후분석 결과 발목 보호대 착용 전 비우성 하지가 우성 하지에 비해 발목관절의 내회전 각도에서 유의하게 작았다($p=.001$). 발목 보호대와 양쪽 하지에서의 최대 지면반력과 부하율, 하지 강성 간의 주효과 및 상호작용은 나타나지 않았다(Table 2).

논 의

본 연구는 전방 점프 착지 시 발목 보호대 착용 여부에 따른 우성 및 비우성 하지 관절의 운동역학적 변인에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 본 연구에서 최대 지면반력 시점에서의 발목 보호대 착용 전후를 비교하였을 때, 비우성 하지의 발목관절에서 내반, 내회전 각도가 유의하게 감소하였으며, 우성 하지의 무릎관절에서 굴곡 각도의 감소, 발목관절에서 저축굴곡, 내회전 각도가 유의하게 증가하였다.

발목 보호대 착용 후 엉덩관절에서는 우성 하지가 비우성 하지에 비해 굴곡 각도가 크고, 외전 각도가 작게 나타났지만 유의한 차이는 나타나지 않았다. 선행연구에서 발목 보호대의 착용 여부와 관계 없이 다른 하지 관절에 비해 엉덩관절의 굴곡 각도 변이가 작게 나타났는데, 이는 선행연구에서 무릎관절과 발목관절에서 이미 충격

Table 2. Results of two-way ANOVA in kinematics and kinetics variables of the participants

		Without strap		With strap		Group (ND vs DO)		Condition (Without strap vs With strap)		Interaction	
		ND	DO	ND	DO	F	p	F	p	F	p
Hip (°)	Flexion	24.33±9.08	28.98±10.63	22.891±8.89	27.48±10.48	2.673	.109	.270	.606	.000	.992
	Abduction	14.83±7.70	11.50±5.85	15.02±5.92	12.51±6.50	2.403	.128	.102	.751	.048	.828
	Internal Rotation	2.33±4.20	1.53±7.41	2.29±5.81	3.73±7.64	.030	.862	.338	.564	.365	.549
Knee (°)	Flexion	19.41±7.50	28.73±8.67	18.33±5.37	25.16±7.79	14.160	.000***	1.177	.284	.335	.565
	Valgus	-7.92±3.11	-5.14±3.26	-7.90±3.32	-4.96±3.49	9.025	.004**	.010	.923	.007	.935
	Internal Rotation	-41.61±7.04	-26.40±8.56	-37.98±8.05	-30.03±8.06	25.463	.000***	.000	.998	2.503	.121
Ankle (°)	PlantarFlexion	33.10±7.45	23.02±6.94	31.94±4.05	27.17±5.91	17.080	.000***	.691	.410	2.176	.147
	Eversion	-17.81±7.60	-19.16±8.30	-9.49±4.61	-11.26±4.96	.678	.415	18.279	.000***	.012	.913
	External Rotation	-31.09±7.14	-20.72±7.28	-24.93±7.75	-23.46±6.72	8.052	.007**	.672	.417	4.540	.039*
	PVF (%BW)	3.40±0.34	3.3506±0.31	3.2451±0.37	3.36±0.37	.097	.757	.540	.466	.723	.400
	Loading rate (N/ms)	100.17±28.04	87.88±15.98	98.71±26.91	94.78±15.67	1.571	.217	.177	.676	.417	.522
	Leg stiffness (N/cm)	39.74±12.38	37.29±12.44	38.34±8.78	38.04±7.94	.202	.655	.011	.917	.125	.726

Note. Data are mean ± standard deviation. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < 0.001$; (+) is the movement on the table and (-) is the opposite movement (+, Flexion, Abduction, Internal rotation, Valgus, Plantar flexion, Eversion; -, Extension, Adduction, External rotation, Varus, dorsiflexion, inversion); PVF, peak vertical force

흡수가 적절하게 일어났기 때문이라고 보고했으며, 본 연구에서도 이와 같이 일치하는 결과가 나온 것으로 생각된다(Cordova et al., 2010).

무릎관절에서 우성 하지가 비우성 하지에 비해 굴곡각도가 컸고, 내반 및 외회전 각도는 작게 나타났다. 전방 점프 착지 시 신체는 안정된 착지를 위해 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절에서 각각 24:65:11의 비율로 충격량을 흡수한다고 보고하였으며(Kotsifaki et al., 2021). 그에 따라 착지 순간 발생하는 최대 지면반력의 적절한 분산을 위해 무릎관절의 굴곡을 증가시킨다(Boey & Lee, 2020). 따라서, 안정적인 착지를 위해서는 무릎관절에서 굴곡 움직임이 충분히 나타나야 하지 관절에 가해지는 부하를 감소시켜야 감소시킬 수 있다(Riemann et al., 2002). 만약 무릎관절의 충분한 굴곡이 일어나지 않을 때 제한된 관절가동범위에 의해 높은 하지 강성이 유도되고, 이를 적절하게 분산시키지 못하기 때문에 부상 발생률이 높아질 수 있다(Sinsurin et al., 2018).

인간은 자발적인 동작을 수행할 때 신체의 한쪽을 선호하고 먼저 사용하게 되며, 이것은 한쪽 뇌 반구의 기능적 발달을 일으키고 해당하는 사지에 대한 운동 제어 능력을 향상시킨다(McGrath et al., 2016). 본 연구의 결과에서도 비우성 하지에 비해 안정된 운동 제어 능력을 갖춘 우성 하지의 무릎관절 굴곡 각도가 크게 나타난 것으로 볼 수 있다. 또한, 우성 하지에서 무릎관절의 내반 각도가 더 작게 나타났는데, 무릎관절의 굴곡 각도가 감소한 상태에서 내반 또는 외반 각도의 증가는 무릎관절의 인대 부상 발생률을 높이며, 이는 우성 하지에 비해 비우성 하지의 운동 제어 능력이 떨어진다는 것을 것을 의미한다(Stephenson et al., 2018). 무릎관절의 외회전 각도의 경우, 우성 하지가 비우성 하지에 비해 외회전 각도가 유의하게 작게 나타났는데, 착지 과정 중 무릎관절의 외회전 각도가 증가하는 경우, 발목관절의 내회전 토크를 증가시켜 무릎관절의 전방십자인대 부상 및 외측 발목 염좌 발생률을 높게 된다(Tran et al., 2016). 또한, 착지 과정 중 하지가 지면에 고정된 상태에서 무릎관절의 외회전 각도가 증가할 경우, 경골의 내회전이 증가하여 전방십자인대의 부상 확률을 높인다(Smale et al., 2017). 본 연구결과에서 우성 하지의 무릎관절의 외회전 각도가 작았으므로, 비우성 하지에 비해 우성 하지가 더욱 안정된 착지를 할 수 있음을 의미한다.

발목관절에서 우성 하지가 비우성 하지에 비해 저측굴곡 각도가 작게 나타났다. 이것은 최대 지면반력이 발생한 시점에서 우성 하지의 발목관절에서 더 큰 배측굴곡 움직임이 나타났다고 볼 수 있다. 착지 과정 중 엉덩관절 및 무릎관절의 굴곡과 발목관절의 배측굴곡 움직임의 충분한 증가는 착지 시 발생하는 충격량을 적절하게 흡수하여 안정된 착지를 수행할 수 있게 한다(Gardner et al., 2012). 선행연구에서 발목 인대 손상에 의해 신경근 기능이 손상된 발목관절은 부족한 운동 제어 능력을 보상하기 위해 착지 순간 엉덩관절과 무릎관절의 적절한 위치의 변형을 일으킨다고 보고하였다(Kunugi et al., 2018). 착지 과정 중 나타난 발목관절의 제한된 배측굴곡 움직임은 관상면에서의 무릎관절 변위를 증가시키고, 및 굴곡 각도가 감소하는 경성 착지를 일으켜 부상 발생률을 높인다(Fong et al., 2011). 또한, 감소한 배측굴곡 움직임 범위를 증가시키기 위해 착지 전 발목관절의 저측굴곡을 증가시키고, 이는 측면 발목 염좌 가능성을 높이는 발목관절의 내반 각도를 증가시킨다(Ardakani et al., 2019). 따라서, 운동 제어 능력이 불안정한 비우성 하지의 발목관절의 감소된 배측굴곡 움직임은 발목관절뿐만 아니라 다른 관절의 운

동 제어 능력에 영향을 줄 수 있음을 의미한다.

우성 하지와 비우성 하지에서 발목 보호대의 착용을 통해 발목관절의 내반 각도에서 주효과가 나타났다. 발목 보호대 착용 후 내회전과 내반 각도의 감소가 나타났고, 특히 비우성 하지의 내반 각도는 발목 보호대 착용 후, 우성 하지의 내반 각도와 비슷한 수준까지 감소하는 것으로 나타났다. 선행연구에 의하면, 운동 제어 능력이 감소한 발목관절에서 흔히 나타나는 외측 발목 염좌는 내반, 내회전의 결합으로 발생하며, 향후 만성 발목 불안정성으로 발전 가능성이 매우 큰 부상 유형으로 보고하였다(DiStefano et al., 2008; Miklovic et al., 2018). 따라서, 불안정한 하지에서 착지 과정 중 발목 부상 예방을 위해 발목의 내반 또는 내회전을 감소시키는 것이 필요하다(McCann et al., 2018). 발목 보호대의 제작 목적은 시상면과 관상면에서의 과도한 발목관절의 움직임 제한하고, 착지 전 발목의 중립 상태를 유지하게 시켜 부상을 예방하고 안정된 착지에 도움을 주기 위함이다(DiStefano et al., 2008; Gardner et al., 2012). 본 연구 결과, 탄성 발목 보호대 착용을 통해 발목관절의 내반 각도를 감소시켰다. 이러한 결과는 과도한 내반으로 발생할 수 있는 외측 발목 염좌의 부상을 예방할 수 있을 것으로 판단된다(Fong et al., 2012). 이에 발목 보호대 착용은 발목관절의 불안정한 운동 제어 능력을 보상하여, 외측 발목 염좌를 예방할 수 있다고 판단할 수 있다.

상호작용 효과로 발목관절의 내회전 각도에서 유의한 차이가 발생하였는데, 사후검정 결과, 양쪽 하지 간의 최대 지면반력과 부하율, 하지 강성에서는 유의한 차이가 없었다. 선행연구에서 단일 하지 드롭 랜딩보다 단일 하지 전방 점프에서 양쪽 하지 간 수직 지면반력의 차이가 없었는데, 이것은 수직 점프 착지에 비해 전방 점프 착지가 일상에서 더 친숙하기 때문에 양쪽 하지의 운동학적 차이가 나타나지 않았을 수 있다(de Britto et al., 2015). 부하율에서는 유의한 차이는 없었지만, 우성 하지에서 더 작게 나타났다. 이는 안정된 착지 전략을 수행하기 위해 우성 하지가 상대적으로 무릎관절 굴곡 각도가 증가하였고, 이러한 움직임에 의해 부하율이 비우성 하지에 비해 감소한 것으로 보인다. 착지 과정 중 발생하는 충격량을 흡수하기 위해 엉덩관절과 무릎관절이 크게 관여하는데, 엉덩관절의 시상면 움직임에서 유의한 차이가 나지 않았기 때문에, 최대 수직 지면반력과 하지 강성 등과 같은 운동역학적 변인에서 차이가 발생하지 않은 것으로 생각된다(Tsai & Powers, 2013).

결론 및 제언

본 연구에서는 우성 하지 또는 비우성 하지, 그리고 발목 보호대 착용 여부에 따른 전방 점프 착지 시 하지 관절의 역학적 변인의 차이를 비교하고자 하였다. 본 연구의 결과에서 발목 보호대 착용 전, 단일 하지의 전방 점프 착지 동작에서 우성 하지와 비우성 하지에서 유의한 운동학적 차이가 발생하였다. 발목 보호대 착용 후 비우성 하지의 발목관절에서 내회전 각도를 우성 하지의 내회전 각도 수준만큼 유의하게 감소시켜 주었다. 따라서 발목 보호대가 불안정한 발목관절에서 나타날 수 있는 외측 발목 염좌 발생 가능성을 어느 정도 감소시켜 주는 것으로 판단된다. 그러나 운동역학적 변인에서는 유의한 차이는 나타나지 않았는데, 이는 점프 착지의 방향과 실험 형태의 차이에 의한 결과로 생각된다. 향후, 연구에서는 분석 시점, 점프 형태, 신발 착용 여부 등 다양한 상황을 고려한 착지 동작을 함께 비교

해 발목 보호대 착용에 대한 자료 수집이 필요할 것이다. 본 연구의 결과를 통해 발목 보호대 착용은 외측 발목 염좌 발생률을 감소시켜 줄 수 있다고 판단되며, 그에 따른 올바른 착용을 권고한다.

CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: K Jeon, Data curation: HD Jeong, Formal analysis: HD Jeong & SJ Ahn, Methodology: HD Jeong & SJ Ahn, Projectadministration: K Jeon, Visualization: HD Jeong, Writing-original draft: HD Jeong, Writing-review&editing: K Jeon

참고문헌

- Agres, A. N., Chrysanthou, M., & Raffalt, P. C. (2019). The effect of ankle bracing on kinematics in simulated sprain and drop landings: A double-blind, placebo-controlled study. *The American Journal of Sports Medicine*, 47(6), 1480-1487.
- Al Adal, S., Pourkazemi, F., Mackey, M., & Hiller, C. E. (2019). The prevalence of pain in people with chronic ankle instability: A systematic review. *Journal of Athletic Training*, 54(6), 662-670.
- Ardakani, M. K., Wikstrom, E. A., Minoonejad, H., Rajabi, R., & Sharifnezhad, A. (2019). Hop-stabilization training and landing biomechanics in athletes with chronic ankle instability: A randomized controlled trial. *Journal of Athletic Training*, 54(12), 1296-1303.
- Boey, D., & Lee, M. J. C. (2020). The relationship between Y-balance test scores and knee moments during single-leg jump-landing in netball. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 15(5), 722-731.
- Chen, Q., Wortley, M., Bhaskaran, D., Milner, C. E., & Zhang, S. (2012). Is the inverted surface landing more suitable in evaluating ankle braces and ankle inversion perturbation? *Clinical Journal of Sport Medicine*, 22(3), 214-220.
- Chinn, L., Dicharry, J., & Hertel, J. (2013). Ankle kinematics of individuals with chronic ankle instability while walking and jogging on a treadmill in shoes. *Physical Therapy in Sport*, 14(4), 232-239.
- Cordova, M. L., Takahashi, Y., Kress, G. M., Brucker, J. B., & Finch, A. E. (2010). Influence of external ankle support on lower extremity joint mechanics during drop landings. *Journal of Sport Rehabilitation*, 19(2), 136-148.
- de Britto, M. A., Franco, P. S., Pappas, E., & Carpes, F. P. (2015). Kinetic asymmetries between forward and drop jump landing tasks. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 17(6), 661-671.
- DiStefano, L. J., Padua, D. A., Brown, C. N., & Guskiewicz, K. M. (2008). Lower extremity kinematics and ground reaction forces after prophylactic lace-up ankle bracing. *Journal of Athletic Training*, 43(3), 234-241.
- 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.
- Donovan, L., & Hertel, J. (2012). A new paradigm for rehabilitation of patients with chronic ankle instability. *The Physician and Sportsmedicine*, 40(4), 41-51.
- Eils, E., Schröter, R., Schröder, M., Gerst, J., & Rosenbaum, D. (2010). Multistation proprioceptive exercise program prevents ankle injuries in basketball. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(11), 2098-2105.
- Focke, A., Spancken, S., Stockinger, C., Thürer, B., & Stein, T. (2016). Bilateral practice improves dominant leg performance in long jump. *European Journal of Sport Science*, 16(7), 787-793.
- 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.
- Fong, D. T.-P., Ha, S. C.-W., Mok, K.-M., Chan, C. W.-L., & Chan, K.-M. (2012). Kinematics analysis of ankle inversion ligamentous sprain injuries in sports: Five cases from televised tennis competitions. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(11), 2627-2632.
- Frey, C., Feder, K. S., & Sleight, J. (2010). Prophylactic ankle brace use in high school volleyball players: A prospective study. *Foot & Ankle International*, 31(4), 296-300.
- Gabriner, M. L., Houston, M. N., Kirby, J. L., & Hoch, M. C. (2015). Contributing factors to star excursion balance test performance in individuals with chronic ankle instability. *Gait & Posture*, 41(4), 912-916.
- Gardner, J. K., McCaw, S. T., Laudner, K. G., Smith, P. J., & Stafford, L. N. (2012). Effect of ankle braces on lower extremity joint energetics in single-leg landings. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(6), 1116-1122.
- Ha, S.-Y., Han, J.-H., & Sung, Y.-H. (2018). Effects of ankle strengthening exercise program on an unstable supporting surface on proprioception and balance in adults with functional ankle instability. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 14(2), 301-305.
- Hall, E. A., Docherty, C. L., Simon, J., Kingma, J. J., & Klossner, J. C. (2015). Strength-training protocols to improve deficits in participants with chronic ankle instability: A randomized controlled trial. *Journal of Athletic Training*, 50(1), 36-44.
- Hashemi, J., Breighner, R., Chandrashekar, N., Hardy, D. M., Chaudhari, A. M., Shultz, S. J., ... & Beynon, B. D. (2011). Hip extension, knee flexion paradox: A new mechanism for non-contact ACL injury. *Journal of Biomechanics*, 44(4), 577-585.
- Heit, E. J., Lephart, S. M., & Rozzi, S. L. (1996). The effect of ankle bracing and taping on joint position sense in the stable ankle. *Journal of Sport Rehabilitation*, 5(3), 206-213.
- Jeon, K., & Park, J. (2021). Biomechanical characteristic on lower extremity with or without chronic ankle instability during double leg drop landing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 31(2), 113-118.
- Kadaba, M. P., Ramakrishnan, H. K., Wootten, M. E., Gainey, J., Gorton, G., & Cochran, G. V. B. (1989). Repeatability of kinematic, kinetic, and electromyographic data in normal adult gait. *Journal of Orthopaedic Research*, 7(6), 849-860.
- 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.
- Kotsifaki, A., Korakakis, V., Graham-Smith, P., Sideris, V., & Whiteley, R. (2021). Vertical and horizontal hop performance: Contributions of the hip, knee, and ankle. *Sports Health*, 13(2), 128-135.

- Kunugi, S., Masunari, A., Koumura, T., Fujimoto, A., Yoshida, N., & Miyakawa, S. (2018). Altered lower limb kinematics and muscle activities in soccer players with chronic ankle instability. *Physical Therapy in Sport, 34*, 28-35.
- Loudon, J. K., Santos, M. J., Franks, L., & Liu, W. (2008). The effectiveness of active exercise as an intervention for functional ankle instability. *Sports Medicine, 38*(7), 553-563.
- Mason-Mackay, A. R., Whatman, C., & Reid, D. (2016). The effect of ankle bracing on lower extremity biomechanics during landing: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport, 19*(7), 531-540.
- McCann, R. S., Kosik, K. B., Terada, M., Beard, M. Q., Buskirk, G. E., & Gribble, P. A. (2018). Acute lateral ankle sprain prediction in collegiate women's soccer players. *International Journal of Sports Physical Therapy, 13*(1), 12-18.
- McGrath, T. M., Waddington, G., Scarvell, J. M., Ball, N. B., Creer, R., Woods, K., & Smith, D. (2016). The effect of limb dominance on lower limb functional performance - A systematic review. *Journal of Sports Sciences, 34*(4), 289-302.
- McGuine, T. A., & Keene, J. S. (2006). The effect of a balance training program on the risk of ankle sprains in high school athletes. *The American Journal of Sports Medicine, 34*(7), 1103-1111.
- Miklovic, T. M., Donovan, L., Protzuk, O. A., Kang, M. S., & Feger, M. A. (2018). Acute lateral ankle sprain to chronic ankle instability: A pathway of dysfunction. *The Physician and Sportsmedicine, 46*(1), 116-122.
- Mineta, S., Inami, T., Hoshihara, T., Higashihara, A., Kumai, T., Torii, S., & Hirose, N. (2021). Greater knee varus angle and pelvic internal rotation after landing are predictive factors of a non-contact lateral ankle sprain. *Physical Therapy in Sport, 50*, 59-64.
- Mugno, A. T. (2021). Recurrent ankle sprain. *StatPearls*. Retrieved from <https://www.statpearls.com/point-of-care/17602>
- Omori, G., Kawakami, K., Sakamoto, M., Hara, T., & Koga, Y. (2004). The effect of an ankle brace on the 3-dimensional kinematics and tibio-talar contact condition for lateral ankle sprains. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 12*(5), 457-462.
- Paillard, T., & Noé, F. (2020). Does monopodal postural balance differ between the dominant leg and the non-dominant leg? A review. *Human Movement Science, 74*, 102686.
- Parsley, A., Chinn, L., Lee, S. Y., Ingersoll, C., & Hertel, J. (2013). Effect of 3 different ankle braces on functional performance and ankle range of motion. *Athletic Training & Sports Health Care, 5*(2), 69-75.
- Riemann, B. L., Schmitz, R. J., Gale, M., & McCaw, S. T. (2002). Effect of ankle taping and bracing on vertical ground reaction forces during drop landings before and after treadmill jogging. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 32*(12), 628-635.
- Sell, T. C. (2012). An examination, correlation, and comparison of static and dynamic measures of postural stability in healthy, physically active adults. *Physical Therapy in Sport, 13*(2), 80-86.
- Sinsurin, K., Vachalathiti, R., Srisangboriboon, S., & Richards, J. (2018). Knee joint coordination during single-leg landing in different directions. *Sports Biomechanics, 19*(5), 652-664.
- Smale, K. B., Potvin, B. M., Shourijeh, M. S., & Benoit, D. L. (2017). Knee joint kinematics and kinetics during the hop and cut after soft tissue artifact suppression: Time to reconsider ACL injury mechanisms? *Journal of Biomechanics, 62*, 132-139.
- Smith, B. I., Docherty, C. L., Simon, J., Klossner, J., & Schrader, J. (2012). Ankle strength and force sense after a progressive, 6-week strength-training program in people with functional ankle instability. *Journal of Athletic Training, 47*(3), 282-288.
- Stephenson, M. L., Hinshaw, T. J., Wadley, H. A., Zhu, Q., Wilson, M. A., Byra, M., & Dai, B. (2018). Effects of timing of signal indicating jump directions on knee biomechanics in jump-landing-jump tasks. *Sports Biomechanics, 17*(1), 67-82.
- Sugiyama, T., Kameda, M., Kageyama, M., Kiba, K., Kanehisa, H., & Maeda, A. (2014). Asymmetry between the dominant and non-dominant legs in the kinematics of the lower extremities during a running single leg jump in collegiate basketball players. *Journal of Sports Science & Medicine, 13*(4), 951-957.
- Theodorakos, I., Rueterbories, J., Lund, M. E., Andersen, M. S., de Zee, M., & Kersting, U. G. (2016). Ankle bracing effects on knee and hip mechanics during landing on inclined surfaces. *International Biomechanics, 3*(1), 22-32.
- Theodorakos, I., Rueterbories, J., Lund, M. E., Eils, E., Andersen, M. S., De Zee, M., & Kersting, U. G. (2018). Effects of a semi-rigid ankle brace on ankle joint loading during landing on inclined surfaces. *International Biomechanics, 5*(1), 46-56.
- Tran, A. A., Gatewood, C., Harris, A. H. S., Thompson, J. A., & Drago, J. L. (2016). The effect of foot landing position on biomechanical risk factors associated with anterior cruciate ligament injury. *Journal of Experimental Orthopaedics, 3*, 13.
- Tsai, L.-C., & Powers, C. M. (2013). Increased hip and knee flexion during landing decreases tibiofemoral compressive forces in women who have undergone anterior cruciate ligament reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine, 41*(2), 423-429.
- Venesky, K., Docherty, C. L., Dapena, J., & Schrader, J. (2006). Prophylactic ankle braces and knee varus-valgus and internal-external rotation torque. *Journal of Athletic Training, 41*(3), 239-244.
- West, T., Ng, L., & Campbell, A. (2014). The effect of ankle bracing on knee kinetics and kinematics during volleyball-specific tasks. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 24*(6), 958-963.
- Yang, J., Marshall, S. W., Bowling, J. M., Runyan, C. W., Mueller, F. O., & Lewis, M. A. (2005). Use of discretionary protective equipment and rate of lower extremity injury in high school athletes. *American Journal of Epidemiology, 161*(6), 511-519.

탄성 발목 보호대 착용 유무가 전방 점프 착지 시 하지 관절의 역학적 변인 차이 비교

전경규¹, 안세지², 정형도²

¹인천대학교, 부교수

²한국스포츠정책과학원, 분석연구원

[목적] 본 연구의 목적은 발목 보호대 착용이 전방 점프 착지 동안 하지 관절의 운동학적 및 운동역학적 변인에 미치는 영향을 조사하는 것이었다.

[방법] 건강한 성인 남성 12명이 본 연구에 참여하였으며, 힘판으로부터 신장의 40% 수평거리에 맨발로 서서, 발목 보호대 착용 또는 미착용 상태에서 30 cm의 장애물을 넘어 우성 하지 또는 비우성 하지로 전방 점프 착지를 수행하였다. 이때 발생하는 관절 각도, 최대 수직 지면반력, 부하율, 하지 강성을 분석에 사용하였으며, 양쪽 하지에서 발목 보호대 착용 전, 후 운동역학적 차이 및 주효과와 상호작용을 살펴보기 위해 이원 분산분석을 실시한 후 본페로니 사후검정을 사용하였다. 모든 통계적 유의수준은 $\alpha=.05$ 미만으로 설정하였다.

[결과] 발목 보호대 착용 전, 우성 하지와 비우성 하지 간 운동학적 변인에서 유의한 차이가 나타났다. 발목 보호대 착용 후, 양쪽 하지의 발목관절에서 내변 각도가 유의하게 감소하였으며, 발목관절의 내회전 각도에서 양쪽 하지와 발목 보호대 간 상호작용이 발생하였다. 운동역학적 변인에서는 차이가 없었다.

[결론] 발목 보호대 착용 후 비우성 하지의 발목 불안정성을 완벽하게 보완해주지는 않았으나, 발목 관절에서 내회전 각도를 유의하게 감소시켜 주었다. 이는 발목 보호대가 외측 발목 염좌 발생 가능성을 어느 정도 감소시켜줄 수 있음을 시사한다.

주요어

탄성 발목 불안정성, 전방 점프 착지, 발목 보호대, 부하율, 하지 강성