

Biomechanical Characteristic on Lower Extremity with or without Chronic Ankle Instability during Double Leg Drop Landing

양발 드롭랜딩 시 만성적인 발목 불안정성 유무에 따른 하지주요관절의 역학적 특성

Kyongkyu Jeon^{1,3,4,5}, Jinhee Park^{2,5}

¹Division of Sport Science, Incheon National University, Incheon, South Korea

²Department of Human Movement Science, Incheon National University, Incheon, South Korea

³Sport Science Institute, Incheon National University, Incheon, South Korea

⁴Health Promotion Center, Incheon National University, Incheon, South Korea

⁵Functional Rehabilitation Biomechanics Laboratory, Incheon National University, Incheon, South Korea

Received : 05 April 2021

Revised : 14 May 2021

Accepted : 18 May 2021

Corresponding Author

Jinhee Park

Department of Human Movement Science & Functional Rehabilitation Biomechanics Laboratory, Incheon National University, 119 Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon, 22012, South Korea

Tel : +82-32-835-4666

Fax : +82-32-835-0788

Email : jinheepark615@gmail.com

Objective: The purpose of this study was to investigate differences of landing strategy between people with or without chronic ankle instability (CAI) during double-leg drop landing.

Method: 34 male adults participated in this study (CAI = 16, Normal = 18). Participants performed double-leg drop landing task on a 30 cm height and 20 cm horizontal distance away from the force plate. Lower Extremities Kinetic and Kinematic data were obtained using 8 motion capture cameras and 2 force plates and loading rate was calculated. Independent samples *t*-test were used to identify differences between groups.

Results: Compared with normal group, CAI group exhibits significantly less hip internal rotation angle (CAI = 1.52 ± 8.12 , Normal = 10.63 ± 8.44 , $p = 0.003$), greater knee valgus angle (CAI = -6.78 ± 5.03 , Normal = -12.38 ± 6.78 , $p = 0.011$), greater ankle eversion moment (CAI = 0.0001 ± 0.02 , Normal = -0.03 ± 0.05 , $p = 0.043$), greater loading Rate (CAI = 32.65 ± 15.52 , Normal = 18.43 ± 10.87 , $p = 0.003$) on their affected limb during maximum vertical Ground Reaction Force moment.

Conclusion: Our results demonstrated that CAI group exhibits compensatory movement to avoid ankle inversion during double-leg drop landing compared with normal group. Further study about how changed kinetic and kinematic affect shock absorption ability and injury risk in participants with CAI is needed.

Keywords: Chronic ankle instability, Lower extremity, Drop landing, Loading rate

INTRODUCTION

발목관절 부상은 스포츠 활동뿐만 아니라 일상생활 중에서도 가장 흔하게 발생하는 부상으로 그 중에서 발목관절의 염좌(sprain) 비율은 약 75% 이상의 높은 부상 빈도를 나타낸다(Fong, Hong, Chan, Yung & Chan, 2007). 발목염좌는 저측굴곡 및 내번으로 인한 외측발목염좌(lateral ankle sprain)가 가장 많이 나타나며, 여성이 남성보다 발생률이 높고 나이가 어릴수록 발생률이 더 높은 특성을 나타낸다(Doherty et al., 2014). 발목염좌는 갑작스러운 방향전환, 급정지, 점프 후 잘못된 착지, 구조적 특징 등의 원인으로 인해 나타나며(Cha, Kim, & Yim, 2009; Kim et al., 2019), 내번염좌(inversion sprain)가 약 85% 이상으로

가장 많이 나타나고, 약 70~80%는 발목 외측의 전거비인대(anterior talofibular ligament)의 손상으로 발생된다(Michell, Ross, Blackburn, Hirth & Guskiewicz, 2006). 발목관절 염좌 초기에 방치, 재활운동 부족 등 관리를 소홀히 하게 될 경우 반복적인 발목염좌를 경험하는 재발성 염좌로 진행되고 만성적인 발목관절의 불안정성(chronic ankle instability, CAI)으로 발전된다(Hubbard & Hertel, 2006; Hubbard, Kramer, Denegar & Hertel, 2007). CAI란 반복되는 염좌와 휘청거림(giving way)을 지속적으로 느끼고 통증과 부종이 발생할 수 있는 특성으로 정의할 수 있으며(Hubbard & Hertel, 2006; Sekir, Yildiz, Hazneci, Ors & Aydin, 2007), 외측발목염좌 손상의 약 40% 이상이 CAI로 발전되어 나타난다(Doherty et al., 2014).

CAI는 내번에 대해 비골근(peroneal muscles) 및 전경골근(tibialis anterior)이 빠르게 반응할 수 있는 기능의 약화로 인한 발목의 반복적인 염좌에 의해 나타날 수 있으며(Hertel, 2000), CAI 그룹에서 내번근과 외번근 근력의 감소가 나타난다(Khalaj, Vicenzino, Heales & Smith, 2020). 외번근의 강화는 인대 손상 예방에 중요한 역할로 작용하는 것으로 보고되며, 특히 장비골근(peroneus longus)과 단비골근(peroneus brevis)의 근력 향상은 외측 인대의 상해 예방에 도움을 준다고 보고하고 있다(Purcell, Schuckman, Docherty, Schrader & Poppy, 2009). 점프-착지 시 CAI가 있는 경우, 정상그룹에 비해 장비골근에서 더 높은 활성패턴이 나타난다고 보고하였으며(Herb, Grossman, Feger, Donovan & Hertel, 2018), 누운 자세에서 발끝을 세우거나 세우지 않은 상태에서 발목관절을 외전시켜 근활성도를 비교하였을 때, 발끝을 세우고 발목관절을 외전시키는 경우, CAI 그룹이 정상그룹보다 장비골근과 단비골근에서 큰 근활성의 감소를 보인다고 보고하였다(Ahn, Hwang, Gwak, Yoo & Kwon, 2020). 이는 CAI 유무에 따라 근육의 약화와 근활성도의 차이가 나타나며, 다양한 환경에서 근육의 활성도에 부정적인 영향을 끼칠 수 있음을 의미한다.

CAI를 효율적으로 이해하기 위해서는 손상이 자주 발생하는 중력저항 및 체중지지 등을 기반으로 기능 및 협응 동작에 대한 연구가 요구되며, 스포츠상황 및 일상생활에서 빈번하게 일어나는 착지 전략에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 관련 선행연구에 따르면, CAI 그룹은 수직 드롭-점프와 드롭-랜딩 동작에서 외측발목염좌의 병력이 있으나 기능의 손실이 발생하지 않고 높은 수준의 활동이 가능한 coper 그룹(Wikstrom et al., 2012) 보다 엉덩관절 굴곡의 증가가 나타났다고 보고하였으며(Doherty et al., 2016) CAI 그룹은 정상그룹보다 착지 시 발목관절 내번 각도 증가(Lin, Lin & Lee, 2019), 무릎관절 굴곡 각도 감소가 나타나고(Herb et al., 2018; Terada et al., 2014), 엉덩관절의 굴곡 각도가 증가하는 등(Doherty et al., 2016; Kim et al., 2019; Lin et al., 2019) 정상그룹에 비해 엉덩관절 중심의 움직임을 보임으로써 외측발목염좌를 방지하기 위한 움직임을 나타낸다고 보고되고 있다(Doherty et al., 2016; Li, Ko, Zhang, Brown, & Simpson, 2019).

또한 선행연구에서는 착지 시 CAI 그룹이 정상그룹보다 높은 수직지면반력값과 부하율을 나타냈고(Hoch et al., 2015; Simpson, Stewart, Macias, Chander & Knight, 2019), 발목 내전 모멘트가 높게 나타나며(Simpson et al., 2020) 발목 저축굴곡 모멘트가 증가함을 보였다(Herb et al., 2018; Simpson et al., 2020). 따라서 CAI 그룹은 착지 시 더 큰 충격을 받으며, 이에 따라 부상을 피하기 위한 운동역학적 보상작용을 보임을 알 수 있다.

이와 같이 다수의 연구에서 CAI 그룹이 정상그룹과 다른 착지 전략을 나타냄이 보고된다. 그러나 한발 착지와 양발 착지의 시상면, 관상면 상에서 다른 에너지 흡수 전략을 나타내고 있음에도 불구하고(Yeow, Lee & Goh, 2011) 대다수의 연구는 한발 착지의 과제로 연구되고 있으며, 양발 착지 시에도 기존 한발 착지 과제와 마찬가지로 CAI 그룹의 착지 전략 특성이 나타날 것인지에 대한 연구는 미비한 실정이다. 하지관절의 특성상 착지는 시상면에서 가장 큰 움직임을 보이나, CAI 그룹의 착지 전략에 대해 접근하는 경우 잦은 염좌 재발 및 발목관절의 근육활성 패턴에 의한 발목의 내번 및 외번, 내회전 및 외회전을 포함하는 3차원적인 움직임을 반드시 고려해야 한다. 따라서 본 연구는 CAI 유무에 따라 드롭 랜딩 과제에서 양발 착지 시 나타나는 발

목관절의 운동학적 및 운동역학적 변인의 차이를 3차원적으로 비교 분석하여 그룹 간 착지 전략 및 충격흡수능력에 대한 역학적 특성에 대해 규명하는 목적이 있다.

METHOD

1. 연구대상

본 연구는 우측 우성 하지를 가지고 최근 1년 간 발목관절에 부상 경험이 없는 성인 남자를 대상으로 정형외과적 진단 소견 유무에 따라 각각 왼발에 CAI이 있는 그룹 16명과 CAI이 없는 정상그룹 18명으로, 총 34명을 대상으로 실시하였다. 실험 전 1 대학교 기관생명윤리위원회의 승인을 받았으며(IRB No. 7007971-201606-001), 모든 대상자에게 기관생명윤리위원회의 권고에 따라 연구의 목적과 절차 그리고 위험성 등에 대해 충분히 설명하고, 자발적인 실험 참여 동의를 얻은 후 진행하였다. 이에 따른 연구대상자의 일반적인 특성은 (Table 1)과 같다.

Table 1. Characteristic of participants

Variables	CAI (n=16)	Normal (n=18)	<i>p</i>
Age (years)	20.19±1.47	20.22±2.29	0.959
Height (cm)	178.56±3.37	176.83±5.18	0.253
Weight (kg)	73.94±5.63	72.11±9.68	0.513

Note. Mean ± Standard Deviation, CAI: Chronic Ankle Instability

2. 연구방법

본 연구를 위해 지면으로부터 높이 30 cm의 박스 위에서 양발 착지를 실시하도록 하였다. 양발 착지 시 나타나는 운동학적 및 운동역학적 자료 수집을 위해 8대의 동작분석장비(6 Eagle Camera and 2 Raptor System, Motion Analysis Corp., USA)와 2대의 지면반력기(OR6-5-2000, AMTI Inc., USA)를 활용하였다. 정확한 실험을 위해 대상자를 중심으로 전후방 및 좌우측 방향에 각각의 카메라를 대상자와 좌표기 준점으로부터 동작의 범위를 완전히 포함할 수 있도록 하고, 공간좌표 설정을 위한 영점조절(calibration)을 실시하였다. 이때 대상자가 양발 착지하는 전후 방향을 X축, 좌우 방향을 Y축, 지면과 수직인 방향을 Z축으로 설정하였다. 인체의 3차원적 자료 수집을 위하여 선행연구를 참고하여(Orishimo, Liederbach, Kremenic, Hagins & Pappas, 2014) 대상자의 하지에 10 mm 반사 마커 19개를 Helen Hayes Marker Set을 따라 부착하였다. 실험 대상자는 해부학적 자세에서 정적 상태를 촬영하고, 양측 무릎과 발목관절의 내측에 부착된 4개 마커를 제거한 뒤(Figure 1)과 같이 총 15개의 마커를 활용하여 동적인 양발 착지 동작을 실시하였다. 이때 대상자들은 양발로 박스 위에 선 상태에서 자유낙하 형태로 양발로 착지하였으며, 착지 시 중심을 잡지 못하거나 착지 후 다시 지면에서 발이 떨어지거나 이중으로 점프하는 경우에는 재 측정을 실시하였다. 대상자는 하지의 마커 부착부위에 간섭을 주지 않도록 반바지를 착용하였으며 모든 양발 착지 동작은 맨발 상태로

실시되었다. 모든 동작은 5회 이상 측정되었으며, 이 중 연구자와 대상자가 동작의 정확성과 함께 가장 안정적인 착지가 이루어졌다고 판단되는 3회의 데이터를 분석하여 평균값을 최종자료로 활용하였다.

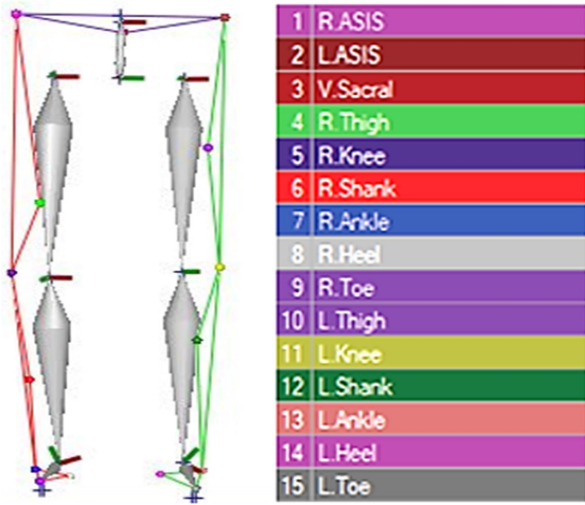


Figure 1. Helen Hayes dynamic marker set

3. 자료처리

본 연구에서 분석한 시점은 (Figure 2)와 같이, 착지 후 대상자의 우성 하지의 최대수직지면반력 시점을 분석에 사용하였다. 착지 후 시상면, 관상면, 횡단면에서 하지의 운동학적 변인 분석을 위해 총 8대의 동작분석 카메라를 사용하여 120 frames/sec의 샘플링 비율로 데이터를 수집하였고, 오차범위는 0.3 mm 이내로 설정하였다. 동작분석 소프트웨어(Cortex 5.0, Motion Analysis Corp., USA)를 이용하여 운동학적 및 운동역학적 데이터를 수집하여 분석하였다. 수집된 2차원상의 평면 데이터는 NLT (non-linear transformation) 방법에 의해 3차원 데이터로 변환되었으며 오차 제거를 위해 10 Hz 차단주파수의 저역통과 필터링을 통해 스무딩하였다. 지면반력 데이터를 얻기 위해 2대의 지

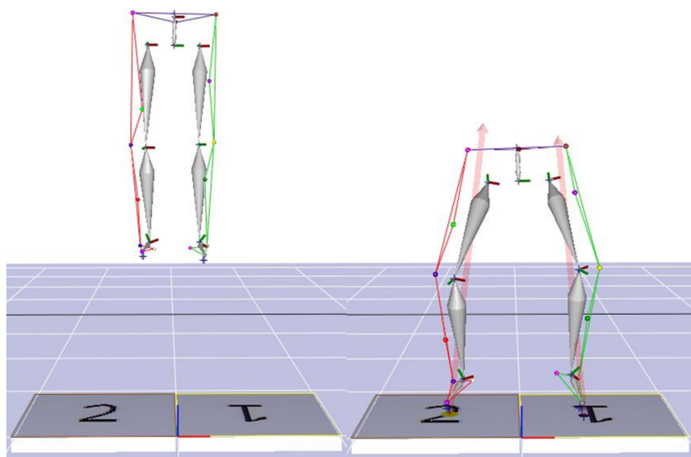


Figure 2. Maximum vGRF moment

면반력기를 사용하였으며, 자료의 수집은 초당 1,200 Hz로 샘플링하여 분석하였다. 동작분석 및 지면반력의 자료는 아날로그-디지털 컨버터 (A/D Converter, NI USB-6218, National Instruments, Hungary)를 통해 동기화한 후 측정하여 분석하였다. 수집된 운동학적 및 운동역학적 데이터를 사용하여 관절 각도와 모멘트, 부하율(Loading Rate)을 계산하였다. 변인의 산출에 필요한 지면반력값은 대상자의 체중으로 표준화되었으며 모멘트는 실험참여자자의 신장으로 표준화되었다. 부하율은 표준화된 수직지면반력을 초기접지 시부터 최대수직지면반력이 나타날 때까지 걸린 시간으로 나누어 산출하였다(De Ridder et al., 2015).

$$Loading Rate = \frac{Peak Force}{Time to Peak Force}$$

4. 통계처리

본 연구자료의 통계처리를 위해 Windows용 통계분석 프로그램 SPSS (Ver 25.0, IBM, USA)을 사용하였다. 측정된 모든 자료에 대해 항목별로 평균 및 표준편차를 산출하였고, 그룹 간 변인의 차이 규명을 위하여 독립 t-검정 (Independent samples t-test)을 사용하였으며, 모든 통계처리의 유의수준은 $p < .05$ 로 설정하였다.

RESULTS

1. 하지 주요관절 각도

양발 착지 후 우성 하지의 최대수직지면반력 시점에서 나타난 하지 주요관절의 각도는 (Table 2)와 같다. CAI 그룹은 정상그룹보다 감소된 엉덩관절의 내회전 각도가 나타났으며($p=0.003$) 엉덩관절 굴곡

Table 2. Joint angle

Variables	CAI (n=16)	Normal (n=18)	p	
Hip	Flexion	39.39±17.88	47.63±18.26	0.194
	Abduction	7.80±4.38	7.82±4.16	0.987
	Internal rotation	1.52±8.12	10.63±8.44	0.003*
Knee	Flexion	62.27±13.14	65.33±15.31	0.538
	Valgus	-6.78±5.03	-12.38±6.78	0.011*
	Internal rotation	-0.72±13.10	-0.26±15.40	0.926
Ankle	Plantarflexion	-9.17±7.69	-11.18±9.05	0.492
	External rotation	8.76±8.81	12.06±9.43	0.301
	Eversion	-22.69±13.07	-22.74±11.09	0.991

Note. Mean ± Standard Deviation, CAI: Chronic Ankle Instability, significant at * $p < .05$
 *'. values mean Knee (Valgum, External Rotation), Ankle (Dorsiflexion, Inversion) each

각, 벌림 각에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. CAI 그룹에서 정상그룹보다 증가된 무릎관절의 외반 각이 나타났으며($p=0.011$), 무릎관절 굴곡 각, 내회전 각에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 발목관절 각도에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

2. 하지 주요관절 모멘트

양발 착지 후 우성 하지의 최대수직지면반력 시점에서 나타난 하지 주요관절 모멘트는 (Table 3)와 같다. CAI 그룹은 정상그룹보다 증가된 발목 외반 모멘트를 나타냈으며($p=0.043$) 다른 하지관절의 모멘트에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

Table 3. Joint moment

Variables	CAI (n=16)	Normal (n=18)	<i>p</i>	
Hip	Flexion	-0.11±0.06	-0.08±0.10	0.236
	Abduction	0.02±0.05	0.003±0.06	0.265
	Internal rotation	-0.01±0.01	0.01±0.02	0.855
Knee	Flexion	-0.16±0.05	-0.15±0.06	0.402
	Valgus	-0.0003±0.04	0.01±0.04	0.672
	Internal rotation	-0.001±0.008	-0.002±0.02	0.910
Ankle	Plantarflexion	0.14±0.05	0.13±0.04	0.691
	External rotation	0.07±0.05	0.06±0.04	0.906
	Eversion	0.0001±0.02	-0.03±0.05	0.043*

Note. Mean ± Standard Deviation, CAI: Chronic Ankle Instability, significant at * $p<.05$

'-', values mean Hip (Extension, External Rotation), Knee (Extension, Valgum, External Rotation), Ankle (Inversion) each

3. 최대수직지면반력값 및 부하율

양발 착지 후 우성 하지에서 나타난 최대수직지면반력값 및 부하율은 (Table 4)와 같다. 두 그룹 간 최대수직지면반력값은 유의한 차이가 나타나지 않았으나 CAI 그룹에서 정상그룹보다 증가된 부하율이 나타났다($p=0.003$).

Table 4. Maximum vertical ground reaction force and loading rate

Variables	CAI (n=16)	Normal (n=18)	<i>p</i>
Max vGRF	1.75±0.44	1.65±0.31	0.454
Loading rate	32.65±15.25	18.43±10.87	0.003**

Note. Mean ± Standard Deviation, CAI: Chronic Ankle Instability, vGRF: vertical Ground Reaction Force, significant at ** $p<.01$

DISCUSSION

본 연구는 CAI를 가진 성인의 환측 하지와 건강한 성인의 드롭 랜딩 두발 착지 시 나타나는 운동학적, 운동역학적 차이를 알아보고자 착지 후 CAI 그룹의 환측 하지 및 건강한 성인그룹의 열성 하지의 최대수직지면반력 시점에 나타난 두 그룹 간 변인의 차이를 비교하였다. 본 연구에서는 CAI가 착지 전략에 미치는 영향을 확인하기 위해 정상 그룹의 두 하지 중 상대적으로 불안정한 열성 하지와 CAI 그룹의 환측 하지를 비교하였다. 본 연구 결과 정상그룹에 비해 CAI 그룹에서 엉덩관절 내회전 각도 감소, 무릎관절의 내전 각도 증가, 발목관절의 외반 모멘트 증가, 부하율의 증가가 나타났다.

선행연구에 따르면 CAI를 가진 대상자는 착지 시 발목관절의 내반 각과 내회전 각이 증가하여 발목염좌의 가능성이 높은 경향을 보인다 (Herb et al., 2018; Li et al., 2019). CAI 그룹은 착지 시 발목관절의 시상면 상 움직임 ROM이 감소하고(Cho, Kim, Lee & Lee, 2010) 엉덩관절 굴곡 각도가 증가하는 등(Doherty et al., 2015) 발목관절보다 엉덩관절을 주로 이용하여 착지하려는 전략이 관찰된다. 본 연구에서는 CAI 그룹에서 정상그룹보다 발목관절의 외반 모멘트가 증가하였으며 발목관절 각도에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 선행연구에 따르면 착지 과제 중 CAI를 가지는 대상자에게서 착지 전 감소된 비골근의 활성이 관찰된다(Caulfield, Crammond, O'Sullivan, Reynolds & Ward, 2004). CAI 그룹은 비골근 활성의 지연을 보이며 착지 시에는 더 작은 비골근의 활성이 나타나지만 착지 후 더 큰 장비골근의 활성화가 보고된다(Herb et al., 2018; Li et al., 2018). 따라서 착지 과제의 초기접지 이후 CAI 그룹의 발목관절 내반 움직임을 감소시키기 위해 외반근이 활성화되어 외반 모멘트가 증가함을 유추할 수 있다. 또한 CAI 그룹에서 무릎관절의 내전 각도가 증가하였는데, 증가된 외반 모멘트와 함께 발목의 내전 움직임을 상쇄하기 위한 움직임으로 해석할 수 있으며, CAI 그룹에서 발목외측염좌를 방지하려는 보상작용을 나타내는 것으로 판단된다.

착지 후 나타난 최대수직지면반력의 크기는 두 그룹 간 유의한 차이가 나타나지 않았으나, CAI 그룹이 정상그룹보다 더 큰 부하율을 나타냈다. 양발 착지 과제는 착지 시 발생하는 충격을 견측과 환측의 양발이 나누어 받기 때문에 본 연구에서 두 그룹 간 유의한 차이가 나타나지 않은 것으로 판단된다. 본 연구에서 나타난 부하율의 증가는 CAI 그룹을 대상으로 한 다양한 점프 과제에서 나타난 부하율 증가 결과와 일치하였다(Simpson et al., 2019). 부하율은 최대 힘 값을 최대 힘 도달까지 걸리는 시간으로 나누어 계산된다. 본 연구에서 두 그룹 간 최대수직지면반력 크기의 유의한 차이가 나타나지 않았으므로 CAI 그룹에서 정상그룹보다 초기접지부터 최대지면반력 시점까지 더 짧은 시간이 소요됨을 알 수 있다. 두 그룹에서 나타난 최대수직지면반력의 크기가 동일하더라도 외력을 받아들이는데 걸리는 시간이 다르기 때문에 하지관절 및 연부조직에 순간적으로 가해지는 충격량이 증가할 것으로 판단되며, 이는 CAI 그룹에서 충격흡수능력의 감소를 나타낸 선행연구와 일치하였다(De Ridder et al., 2015; Herb, Grossman, Feger, Donovan & Hertel, 2018).

선행연구에서는 CAI 그룹에서 나타나는 감소된 무릎관절 굴곡 각도는 무릎관절의 전방십자인대 손상을 야기할 수 있음을 제시하고 있으며(Terada et al., 2014), 무릎관절의 증가된 외반 각 또한 전방십자인대

손상의 주요 기전이라고 보고되어 왔다(Hewett et al., 2005). 제한된 엉덩관절의 움직임 범위 및 감소된 엉덩관절의 내회전은 무릎관절에 보상적 하중을 유도함으로써 전방십자인대의 부상 요인이 될 수 있다고 보고되고 있다(VandenBerg et al., 2017). 다른 양발 착지 과제에서 또한 CAI 그룹이 Coper 그룹보다 보다 외회전된 엉덩관절의 움직임을 보였으며, 이는 본 연구의 결과와 일치하였다(Brown, Padua, Marshall & Guskiewicz, 2011). 본 연구에서 나타난 CAI 그룹의 무릎 외반 각도 증가 및 엉덩관절의 내회전 감소는 CAI 그룹의 전방십자인대 부상 확률이 증가될 수 있음을 시사한다.

기존의 대부분 선행연구에서는 한발 착지 과제 중 CAI가 있는 대상자는 발목염좌를 방지하기 위해 하지 주요 관절에서 발목관절 운동범위 감소, 무릎관절 굴곡 감소, 엉덩관절 굴곡 증가, 부하율 증가 등의 착지 전략 변화를 나타내며, 이러한 보상작용으로 인해 보다 경직된 착지를 하는 것으로 보고된다(De Ridder et al., 2015; Hoch et al., 2015; Jeon, Kim, Ryew & Hyun, 2018; Terada et al., 2014). 본 연구에서 실시한 양발 이지-양발 착지 과제에서 또한 발목 내변 움직임을 감소시키려는 운동학적 및 운동역학적 변화가 나타났다. 따라서 한발 착지뿐만 아니라 양발 착지 시에도 CAI 그룹에서 염좌 방지를 위한 운동학적 및 운동역학적 특징이 나타남을 알 수 있다. 발목염좌를 방지하기 위한 보상적 하지의 움직임은 추후 하지 주요 관절의 부상 요인이 될 수 있다.

CONCLUSION

본 연구에서는 CAI 그룹과 정상그룹의 드롭 랜딩 시 나타나는 하지 주요 관절의 운동학적 및 운동역학적 차이를 조사하였다. 양발 착지 후 최대수직지면반력 시점에서 CAI 그룹에서 정상그룹보다 엉덩관절 내회전 각 감소, 무릎관절 외반 각 증가, 발목관절 외변 모멘트의 증가, 부하율의 증가가 나타났으며 CAI 그룹의 한발 착지에서 나타나는 내변 움직임 감소를 위한 보상작용이 양발 착지 시에도 유사하게 나타나는 것으로 판단된다. 착지 동작의 운동학 및 운동역학적 변화 및 충격흡수능력의 감소는 인접한 관절의 부하 증가 및 연부조직의 손상을 야기할 수 있으므로 추후 CAI 그룹의 하지관절 부상 위험요소에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

REFERENCES

- Ahn, S. H., Hwang, U. J., Gwak, G. T., Yoo, H. I. & Kwon, O. Y. (2020). Comparison of the Strength and Electromyography of the Evertor Muscles With and Without Toe Flexion in Patients With Chronic Ankle Instability. *Foot and Ankle International*, 41(4), 479-485.
- Brown, C. N., Padua, D. A., Marshall, S. W. & Guskiewicz, K. M. (2011). Hip kinematics during a stop-jump task in patients with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 46(5), 461-470.
- Caulfield, B., Crammond, T., O'Sullivan, A., Reynolds, S. & Ward, T. (2004). Altered ankle-muscle activation during jump landing in participants with functional instability of the ankle joint. *Journal of Sport Rehabilitation*, 13(3), 189-200.
- Cha, S., Kim, W. & Yim, M. (2009). Effects of training mode on range of motion and isokinetic muscle function during ankle rehabilitation. *The Official Journal of the Korean Association of Certified Exercise Professionals*, 11(1), 43-52.
- Cho, J. H., Kim, K. H., Lee, H. D. & Lee, S. C. (2010). Effects of Rehabilitation Duration on Lower Limb Joints Biomechanics during Drop Landing in Athletes with Functional Ankle Instability. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(4), 395-406.
- De Ridder, R., Willems, T., Vanrenterghem, J., Robinson, M. A., Palmans, T. & Roosen, P. (2015). Multi-segment foot landing kinematics in subjects with chronic ankle instability. *Clinical Biomechanics*, 30(6), 585-592.
- Doherty, C., Bleakley, C., Hertel, J., Caulfield, B., Ryan, J. & Delahunt, E. (2015). Lower extremity function during gait in participants with first time acute lateral ankle sprain compared to controls. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 25(1), 182-192.
- Doherty, C., Bleakley, C., Hertel, J., Caulfield, B., Ryan, J., Sweeney, K., Patterson, Matthew, R. & Delahunt, E. (2016). Coordination and symmetry patterns during the drop vertical jump in people with chronic ankle instability and lateral ankle sprain copers. *Physical Therapy*, 96(8), 1152-1161.
- 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.
- Fong, D. T. P., Hong, Y., Chan, L. K., Yung, P. S. H. & Chan, K. M. (2007). A systematic review on ankle injury and ankle sprain in sports. *Sports Medicine*, 37(1), 73-94.
- Herb, C. C., Grossman, K., Feger, M. A., Donovan, L. & Hertel, J. (2018). Lower extremity biomechanics during a drop-vertical jump in participants with or without chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 53(4), 364-371.
- Hertel, J. (2000). Functional instability following lateral ankle sprain. *Sports Medicine*, 29(5), 361-371.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt Jr, R. S., Colosimo, A. J., McLean, S. G., Van den Bogert, A. J., Paterno, M. V. & Succop, P. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 33(4), 492-501.
- Hoch, M. C., Farwell, K. E., Gaven, S. L. & Weinhandl, J. T. (2015). Weight-bearing dorsiflexion range of motion and landing biomechanics in individuals with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 50(8), 833-839.
- Hubbard, T. J. & Hertel, J. (2006). Mechanical contributions to chronic lateral ankle instability. *Sports Medicine*, 36(3), 263-277.
- Hubbard, T. J., Kramer, L. C., Denegar, C. R. & Hertel, J. (2007). Contributing factors to chronic ankle instability. *Foot and Ankle International*, 28(3), 343-354.
- 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.
- Khalaj, N., Vicenzino, B., Heales, L. J. & Smith, M. D. (2020). Is chronic ankle instability associated with impaired muscle strength? Ankle, knee and hip muscle strength in individuals with chronic ankle instability: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 54(14), 839-847.
- 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.
- Kim, H., Son, S. J., Seeley, M. K. & Hopkins, J. T. (2019). Altered movement strategies during jump landing/cutting in patients with chronic ankle instability. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 29(8), 1130-1140.
- Li, Y., Ko, J., Walker, M. A., Brown, C. N., Schmidt, J. D., Kim, S. H. & Simpson, K. J. (2018). Does chronic ankle instability influence lower extremity muscle activation of females during landing? *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 38, 81-87.
- Li, Y., Ko, J., Zhang, S., Brown, C. N. & Simpson, K. J. (2019). Biomechanics of ankle giving way: A case report of accidental ankle giving way during the drop landing test. *Journal of Sport and Health Science*, 8(5), 494-502.
- Lin, J. Z., Lin, Y. A. & Lee, H. J. (2019). Are landing biomechanics altered in elite athletes with chronic ankle instability. *Journal of Sports Science and Medicine*, 18(4), 653-662.
- Michell, T. B., Ross, S. E., Blackburn, J. T., Hirth, C. J. & Guskiewicz, K. M. (2006). Functional balance training, with or without exercise sandals, for subjects with stable or unstable ankles. *Journal of Athletic Training*, 41(4), 393-398.
- Orishimo, K. F., Liederbach, M., Kremenec, I. J., Hagins, M. & Pappas, E. (2014). Comparison of landing biomechanics between male and female dancers and athletes, part 1: Influence of sex on risk of anterior cruciate ligament injury. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(5), 1082-1088.
- Purcell, S. B., Schuckman, B. E., Docherty, C. L., Schrader, J. & Poppy, W. (2009). Differences in ankle range of motion before and after exercise in 2 tape conditions. *The American Journal of Sports Medicine*, 37(2), 383-389.
- Sekir, U., Yildiz, Y., Hazneci, B., Ors, F. & Aydin, T. (2007). Effect of isokinetic training on strength, functionality and proprioception in athletes with functional ankle instability. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 15(5), 654-664.
- Simpson, J. D., Koldenhoven, R. M., Wilson, S. J., Stewart, E. M., Turner, A. J., Chander, H. & Knight, A. C. (2020). Ankle kinematics, center of pressure progression, and lower extremity muscle activity during a side-cutting task in participants with and without chronic ankle instability. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 102454.
- Simpson, J. D., Stewart, E. M., Macias, D. M., Chander, H. & Knight, A. C. (2019). Individuals with chronic ankle instability exhibit dynamic postural stability deficits and altered unilateral landing biomechanics: A systematic review. *Physical Therapy in Sport*, 37, 210-219.
- Terada, M., Pietrosimone, B. & Gribble, P. A. (2014). Individuals with chronic ankle instability exhibit altered landing knee kinematics: potential link with the mechanism of loading for the anterior cruciate ligament. *Clinical Biomechanics*, 29(10), 1125-1130.
- VandenBerg, C., Crawford, E. A., Enselman, E. S., Robbins, C. B., Wojtyś, E. M. & Bedi, A. (2017). Restricted hip rotation is correlated with an increased risk for anterior cruciate ligament injury. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 33(2), 317-325.
- Wikstrom, E. A., Tillman, M. D., Chmielewski, T. L., Cauraugh, J. H., Naugle, K. E. & Borsa, P. A. (2012). Discriminating between copers and people with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 47(2), 136-142.
- Yeow, C. H., Lee, P. V. S. & Goh, J. C. H. (2011). An investigation of lower extremity energy dissipation strategies during single-leg and double-leg landing based on sagittal and frontal plane biomechanics. *Human Movement Science*, 30(3), 624-635.