KJSB
Korean Journal of Sport Biomechanics 2021; 31(2): 126-132
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2021.31.2.126
http://e-kjsb.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

The Effects of Gaze Direction on the Stability and Coordination of the Lower Limb Joint during Drop-Landing

드롭랜딩 시 시선 방향의 차이가 하지관절의 안정성과 협응에 미치는 영향

Kewwan Kim[2,3], Seji Ahn[1,3]

[1]Department of Human Movement Science, Incheon National University, Incheon, South Korea
[2]Division of Sport Science, Incheon National University, Incheon, South Korea
[3]Sport Science Institute, Incheon National University, Incheon, South Korea

Received : 28 April 2021
Revised : 21 May 2021
Accepted : 25 May 2021

Corresponding Author
Seji Ahn
Department of Human Movement Science & Sport Science Institute, Incheon National University, 119 Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon, 22012, South Korea
Tel : +82-32-835-4235
Fax : +82-32-835-4235
Email : an_sj0826@inu.ac.kr

Objective: The purpose of this study was to investigate how three gaze directions (bottom, normal, up) affects the coordination and stability of the lower limb during drop landing.

Method: 20 female adults (age: 21.1±1.1 yrs, height: 165.7±6.2 cm, weight: 59.4±5.9 kg) participated in this study. Participants performed single-leg drop landing task on a 30 cm height and 20 cm horizontal distance away from the force plate. Kinetic and kinematic data were obtained using 8 motion capture cameras and 1 force plates and leg stiffness, loading rate, DPSI were calculated. All statistical analyses were computed by using SPSS 25.0 program. One-way repeated ANOVA was used to compared the differences between the variables in the direction of gaze. To locate the differences, Bonferroni post hoc was applied if significance was observed.

Results: The hip flexion angle and ankle plantar flexion angle were significantly smaller when the gaze direction was up. In the kinetic variables, when the gaze direction was up, the loading rate and DPSI were significantly higher than those of other gaze directions.

Conclusion: Our results indicated that decreased hip and ankle flexion angles, increased loading rate and DPSI when the gaze direction was up. This suggests that the difference in visual information can increase the risk of injury to the lower limb during landing.

Keywords: Drop landing, Gaze direction, Loading rate, Leg stiffness, DPSI

INTRODUCTION

일상 생활 및 스포츠 상황은 다양한 목적을 위해 점프와 착지 동작을 빈번하게 수행한다. 특히 스포츠 동작에서 목적 달성 및 빠른 이동을 위해 양쪽 발이 아닌 한 발을 사용하는 경우가 주로 나타나며, 이때 한 발 착지 시 지면으로부터 발생하는 수직지면반력은 체중의 약 11배까지 도달하는 것으로 알려져 있다(McNitt-Gray, 1991). 이러한 충격이 효율적으로 흡수되지 못하고 인체에 가해질 경우 부상의 위험이 증가되며(van der Worp, Vrielink & Bredeweg, 2016), 발 뒤꿈치 착지와 같은 경직된 착지는 무릎관절의 굴곡각도를 감소시켜 부상의 위험을 증가시킨다고 하였다(Cortes et al., 2007). 이때 부상 방지를 위해서는 발목관절 뿐만 아니라 무릎 및 엉덩관절의 굴곡 움직임을 통해 부드러운 착지 동작을 수행하여 충격을 흡수해야 한다(Kim & Jeon, 2016; Yeow, Lee & Goh, 2009).

특히 여성의 경우 남성에 비해 착지 시 수직지면반력이 크고(Aizawa, Hirohata, Ohji, Ohmi & Yagishita, 2018), 무릎관절이 외반된 형태로 착지하여 하지관절 부상의 위험이 더 높다고 보고되고 있다(Hovey, Wang, Judge, Avedesian & Dickin, 2019). 마찬가지로 한 발 착지 시 성인 여성의 경우 아동 및 청소년기 여성에 비해 무릎관절 굴곡각도가 작아 비접촉성 전방십자인대 부상 위험이 증가한다고 보고하였다(Kim & Lim, 2011). 또한, 무릎관절의 외반과 동시에 엉덩관절의 굴곡각도가 작고 발목관절의 배측굴곡 각도가 더 작으며(Arundale, Kvist, Hägglund & Fältström, 2020), 이러한 관절각도의 감소는 경직된 착지를 유발하고 남성에 비해 큰 하지 강성이 나타나 하지관절 부상의 위험이 증가되는 것으로 알려져 있다(Granata, Padua & Wilson, 2002; Hughes & Watkins, 2008).

자세 조절은 신체 분절의 협응을 통해 이뤄지며 전정기관 및 체성감각과 더불어 시각정보 또한 자세 유지에 매우 중요한 역할을 담

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.

당한다(Perrin, Jeandel, Perrin & Bene, 1997). 시각정보가 차단될 경우 정적 균형이 감소하는 것으로 알려져 있으며(Lee & Lishman, 1975), 좁은 지지면에 서 있을 때 인체는 자세 조절을 위해 시각정보에 대한 의존도가 증가하게 된다(Huang & Yang, 2016). 또한 시각정보가 상대적으로 적을 경우 정적 균형 뿐만 아니라 보행 속도 감소, 보폭 감소가 나타나는 것으로 알려져 있다(Tomomitsu, Alonso, Morimoto, Bobbio & Greve, 2013). 착지 동작 시에도 시각정보는 지면과의 거리를 지각하고 관절과 근육이 사전에 준비할 수 있도록 정보를 제공하여 착지 후 적절한 충격흡수가 이루어지도록 돕는 역할을 수행하며(Sidaway, McNitt-Gray & Davis, 1989), 주변 환경을 관찰하고 움직임의 조절 및 제어를 위한 기본 정보를 제공하는 중요한 역할을 수행한다(Warren, Kay, Zosh, Duchon & Sahuc, 2001).

이처럼 착지 시 부상 방지를 위해서는 시각을 통해 전달된 주변 환경에 대한 정보를 토대로 적절한 충격흡수를 위해 하지관절을 굴곡시켜 부드러운 착지를 수행해야 하지만, 실제로 운동 경기 및 스포츠 상황에서 점프 후 착지 동작은 상대방 접촉, 목표 주시 및 달성 등의 이유로 일정한 곳을 보며 착지가 이루어지지 않는다(Koh, Cho, Moon, Lee & Lee, 2011). Choi (2013)의 연구에서도 시각정보 차단 시 최대 수직지면반력이 증가하고 경직된 착지 형태가 나타나 부상의 위험이 증가한다고 보고하였다. 따라서 시각정보가 감소하거나 차단 시 부상 예방을 위해서는 착지 동작과 같은 동적 움직임 시 하지관절의 협응(Kim, Son, Seeley & Hopkins, 2019)과 안정성이 수반되어야 한다(Fransz et al., 2018).

그러나 현재까지 시각정보와 착지 동작과 관련된 연구는 시각정보를 차단한 연구가 대부분이며(Choi, 2013; Jo, 2006; Koh et al., 2011; Magalhães & Goroso, 2009; Park, Hong, Ahn, Nam & Lee, 2019; Santello, McDonagh, & Challis, 2001), 실제 스포츠 또는 일상 생활에서 시각정보가 완전히 차단되는 경우는 많지 않다. 이로 인해 착지 동작 시 부상 예방을 위해서는 단순한 시각정보 차단보다는 상이한 시선 방향에 따른 착지 시 하지관절의 협응 및 안정성에 대한 정량적 분석이 필요하다.

이에 본 연구는 드롭랜딩 시 세 가지 상이한 시선 방향이 하지관절의 협응 및 안정성에 어떠한 영향을 미치는지 규명하고 이를 통해 부상 예방 및 재활에 있어 기초 자료를 제공하고자 함에 목적이 있다.

METHOD

1. 연구대상

본 연구는 기관생명윤리위원회(Institutional Review Board, IRB)에 승인을 받은 후 진행되었다(IRB No. 7007971-201606-001-01). 대상자는 20대 여성 중 최근 6개월 이내 하지 관절을 비롯하여 신체의 근골격계에 이상이 없는 20명이 실험에 참여하였다(나이: 21.1±1.1세, 키: 165.7±6.2 cm, 몸무게: 59.4±5.9 kg). 모든 대상자는 자발적으로 참여하였으며, 실험 참여 전 실험에 대한 목적과 위험성, 절차에 대해 설명을 듣고 동의서에 서명 후 진행하였다.

2. 연구방법

본 연구에 사용되는 드롭박스는 지면으로부터 높이 30 cm, 지면반력기와의 수평거리는 20 cm로 설치하였다. 데이터 수집을 위해 8대의 동작분석 카메라(6 Ealgle Camera, 2 Raptor-E Camera, Motion Analysis Corp., USA)가 좌표 기준점과 대상자의 드롭랜딩 동작 범위를 완전히 포함할 수 있도록 공간좌표 설정을 위한 영점 조절(calibration)을 실시하였다. 이때 대상자 동작의 진행 방향을 Y축, 좌우 방향을 X축, 수직 방향을 Z축으로 설정하였다. 이후 인체의 3차원적 자료 수집을 위해 (Figure 1)과 같이 전신에 직경 10 mm 크기의 반사마커 29개를 Helen Hayes Marker Set (Kadaba et al., 1989)에 따라 부착하였다. 부착 후 대상자는 해부학적 정적 자세를 촬영하였으며, 양측 무릎과 발목관절 내측에 부착된 4개의 마커를 제거한 뒤 착지 동작을 실시하였다.

미리 설정된 세 가지 시선 방향을 통제하기 위해 각 대상자의 머리에 부착된 3개의 마커 중 앞쪽에 부착된 마커(front head)를 사용하였다. 이때, EvaRT 1.0 (Motion Analysis Corp., UAS)를 이용하여 부착된 마커가 각 대상자마다 설정된 범위를 벗어날 경우 소음이 발생하여 실시간 청각적 피드백을 통해 대상자가 시선 방향에 대해 인지할 수 있도록 하였다. 범위의 설정은 정적 자세에서 대상자가 정면을 본 상태를 0°로 기준하고 시선방향이 위일 때는 15°에서 45°, 아래일 경우 -15°에서 -45°로 설정하였으며, 정면은 15°에서 -15° 사이로 설정하였다. 이러한 시선 방향 설정 방법은 시각 정보를 완전히 차단하지 않고 시선 방향에 따른 시각 정보 차이를 두기 위해 설정하였다. 인체의 시야는 상하로 각각 65° 범위를 탐지할 수 있으나, 시각적 주의는 중심와(fovea)에 속하는 2°에 국한된다(Kim, Song & Kim, 2008). 이를 토대로 시선 방향을 정확하게 통제하기 위해 대상자를 기준으로 방향에 따른 범위 내에 해당된 상태에서 한 점을 바라볼 수 있도록 벽과 바닥에 테이프로 한 지점을 표시하였다. 연구자는 모니터를 통해 범위에 들어올 경우 녹색, 범위에서 벗어날 경우 빨간색으로 나타나는 화면을 통해 확인할 수 있도록 하였다.

대상자들은 드롭박스에서 한 발 착지를 수행하였으며, 이때 양 발로 드롭박스 위에 선 상태에서 중심을 앞으로 이동하여 자유낙하 형태로 착지하였다. 착지는 우성하지(dominant leg)로 실시하였으며, 우성하지는 공을 찰 때 주로 쓰는 발로 정의하였다. 이때 상지는 부착된 마커

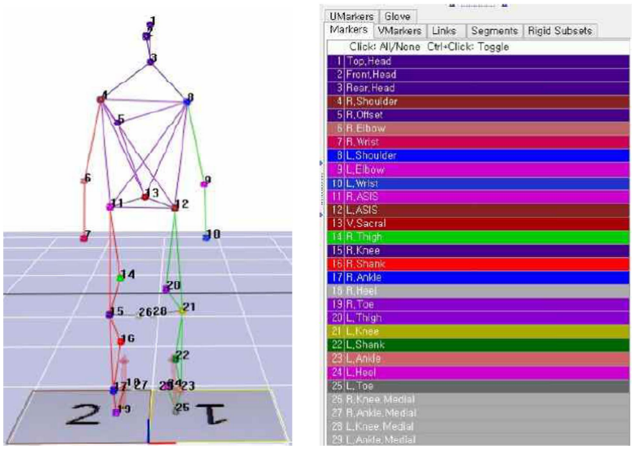

Figure 1. Helen Hayes Marker Set

를 가리지 않는 범위에서 손을 장골 위치에 올려 고정하였다. 착지 시 중심을 잡지 못하거나 착지 후 지면에서 발이 다시 떨어지는 경우, 지면반력기 밖으로 착지하는 경우, 한 발로 착지하지 못하고 반대쪽 발이 지면반력기에 닿는 경우, 동작 중 시선의 방향이 통제되지 않은 경우는 실패로 간주하고 재측정을 실시하였다. 모든 동작은 부상 방지를 위해 30분 정도 충분한 연습 후 실시하였으며, 한 조건 당 5회 이상 측정하였다. 이때 학습효과를 배제하기 위해 라틴방격법에 따라 무작위로 실시하였으며, 가장 안정적인 착지가 이루어졌다고 판단되는 3회의 동작을 평균하여 분석하였다.

3. 자료처리 및 분석

드롭랜딩 동작의 운동학적 변인분석을 위해 총 8대의 동작분석 카메라를 통해 120 frame/sec로 수집하였으며, 수집된 자료는 Cortex 5.0 (Motion Analysis Corp., USA)를 이용하여 분석하였다. 2차원 상의 평면 데이터는 NLT (non-linear transformation) 방식에 의해 3차원 데이터로 변환하였으며, 오차 제거를 위해 저역통과 필터링(Butterworth filter)를 통해 스무딩하였다.

지면반력 데이터 수집은 1대의 지면반력기(AMTI inc., USA)를 사용하였으며, 초당 1,200 Hz로 샘플링하여 분석하였다. 동작분석 및 지면반력 데이터는 아날로그-디지털 컨버터(A/D Converter, NI USB-6218, National Instruments, Hungary)를 통해 동기화한 후 측정 및 분석하였다. 발목 및 무릎각도는 (Figure 2)와 같이 초기접지(Initial contact, IC), 최대 수직지면반력(max ground reaction force, mGRF), 최대 무릎굴곡(knee maximum flexion, KMF) 시점으로 분석하였다.

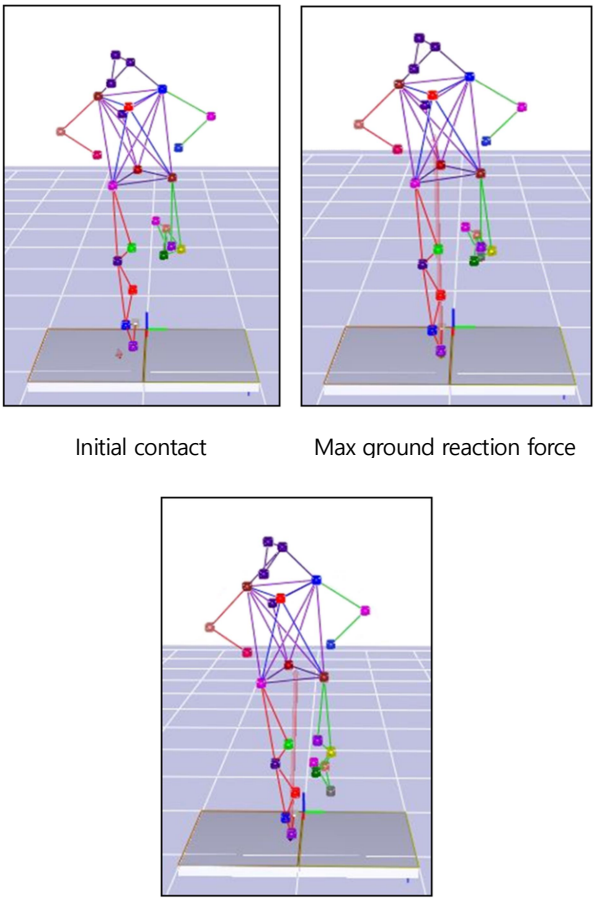

Figure 2. Events during drop landing

1) 시상면 상의 하지관절 각도

시선 방향에 따른 착지 시 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절의 시상면에서의 각도 정의는 (Figure 3)과 같다. 엉덩관절 각도는 골반에 부착된 마커에 의해 형성된 내외측 축을 기준으로 허벅지 분절 움직임을 통해 산출된다. 무릎관절 각도는 무릎에 부착된 마커와 발목에 부착된 마커 사이에 형성된 정강이(shank) 분절의 움직임이며, 무릎 최대 신전각도는 0°이다. 발목관절 각도는 정강이 분절과 발목, 뒤꿈치, 발가락 마커를 통해 형성된 발 분절의 움직임을 통해 나타내며, 발목관절의 0°는 저측굴곡과 배측굴곡이 없는 중립 위치(neutral position)을 의미한다.

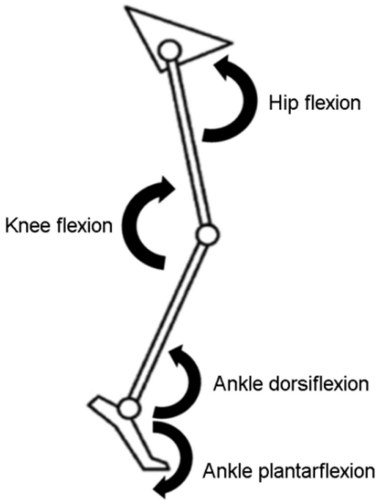

Figure 3. Joint angle of sagittal plane

2) 하지 강성

협응 (Coordination)이란 동적인 움직임에서 신체 부위 간의 상대적인 움직임의 타이밍을 의미하며(Jensen, Phillips & Clark, 1994), 착지 동작에서 엉덩이, 무릎 및 발목관절 간의 적절한 협응은 하지의 동적 안정성을 결정한다. 이러한 하지의 운동학적 변화와 수직지면반력을 통해 하지 협응을 평가하는 것이 하지 강성(Leg stiffness)으로 무차원 정량법을 사용하여 다음의 공식과 같이 산출된다(Silder, Besier & Delp, 2015). 이때 Peak Force는 최대 수직지면반력을 각 대상자의 체중으로 나눈 값이며, ΔL은 초기접지 시 골반 질량중심과 최대 수직지면반력이 발생한 시점의 골반 질량중심의 변화 비율이다(Silder et al., 2015). 하지 강성이 값이 높을수록 최대 수직지면반력이 발생한 시점에 하지 관절 움직임이 작은 경직된 착지를 수행했다고 할 수 있다.

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

3) 부하율

부하율(Loading rate)은 다음의 공식을 통해 산출하였다. 이때, Peak Force는 최대 수직지면반력을 대상자 개인의 체중으로 표준화 한 값이며, Time to Peak Force는 초기접지 시부터 최대 수직지면반력이 나타나는데 걸리는 시간이다(De Ridder et al., 2015).

$$Loading\ Rate = Peak\ Force\ /\ Time\ to\ Peak\ Force$$

4) 동적자세안정성지수

동적자세안정성지수(Dynamic postural stability index, DPSI)는 착지 시 발생한 세 방향(전후, 좌우, 수직)의 지면반발 성분을 이용하여 산출하였다(Wikstrom, Tillman, Smith & Borsa, 2005). 동적자세안정성지수의 공식은 다음과 같다.

$$MLSI = \sqrt{[\sum(0-x)^2 / number\ of\ data\ poinsts]}$$

$$APSI = \sqrt{[\sum(0-y)^2 / number\ of\ data\ poinsts]}$$

$$VSI = \sqrt{[\sum(body\ weight - z)^2 / number\ of\ data\ poinsts]}$$

$$DPSI = \sqrt{[\sum(0-x)^2 + (0-y)^2 + (body\ weight - z)^2 / number\ of\ data\ points]}$$

4. 통계처리

본 연구의 통계처리는 Windows용 SPSS 26.0 (IBM, USA)을 이용하였고, 측정된 모든 변수에 대해 평균 및 표준편차를 산출하였다. 시선 방향에 따른 하지 안정성 차이를 분석하기 위해 반복측정에 의한 일원배치 반복측정 분산분석(one-way repeated ANOVA)을 실시하였으며, 이후 통계적인 유의성이 나타날 경우 본페로니(Bonferroni) 사후검증을 실시하였다. 모든 통계적인 유의수준은 $p < .05$로 설정하였다.

RESULTS

1. 운동학적 변인

1) 시상면 상의 하지관절 각도

드롭랜딩 시 시선 방향에 따른 시상면 상의 관절각도 분석 결과, 최대 무릎굴곡 시점의 엉덩관절 굴곡각도에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다[F(1.53, 29.00)=4.446, p = .029]. 구체적으로 어떠한 시선 방향에 따라 차이가 있는지 분석하기 위해 사후검정을 실시한 결과 시선의 방향이 정면일 때(37.9±10.0°)보다 위일 경우(35.2±1.0°) 유의하게 작은 것으로 나타났다(Table 1). 또한 발목관절은 초기접시 시점에서 유의한 차이가 나타났으며[F(2, 38)=6.373, p = .004], 시선의 방향이 위일 경우(32.9±3.2°)에 비해 아래일 때(35.8±4.9°) 유의하게 큰 저측굴곡 각도가 나타났다(Table 3). 이 외에 무릎관절 및 다른 시점에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 1, 2, 3).

Table 1. Result of hip joint angle of sagittal plane for each event (unit: °)

Event	Gaze direction	Mean ± SD	F-value	Post-hoc
IC	Bottom	20.53±5.53	2.128	
	Normal	21.73±6.06		
	Up	20.30±5.95		
mGRF	Bottom	29.45±8.29	3.397	
	Normal	31.70±7.18		
	Up	29.42±7.28		
MKF	Bottom	34.69±1.70	4.446*	Normal > Up
	Normal	37.89±10.03		
	Up	35.22±9.95		

Note. *p < .05, (+) value: Flexion, (–) value: Extension, IC: initial contact, mGRF: max ground reaction force, MKF: maximum knee flexion

Table 2. Result of knee joint angle of sagittal plane for each event (unit: °)

Event	Gaze direction	Mean ± SD	F-value
IC	Bottom	17.56±4.59	1.995
	Normal	18.83±4.30	
	Up	18.19±4.30	
mGRF	Bottom	42.04±6.23	1.272
	Normal	43.10±5.90	
	Up	41.36±5.43	
MKF	Bottom	54.69±10.79	2.002
	Normal	57.20±9.03	
	Up	55.21±8.01	

Note. (+) value: Flexion, (–) value: Extension, IC: initial contact, mGRF: max ground reaction force, MKF: maximum knee flexion

2. 운동역학적 변인

1) 최대 수직지면반력

드롭랜딩 시 시선 방향에 따른 최대 수직지면반력의 일원배치 반복측정 분산분석 결과 시선 방향에 따라 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 4).

2) 하지 성

드롭랜딩 시 시선 방향에 따른 하지관절 협응 분석을 위한 하지 강성의 일원배치 반복측정 분산분석 결과 시선 방향에 따라 유의한 차이가 나타났으나[F(2, 38)=3.836, p = .030], 사후검정 결과 유의한 차이는 나타나지 않았다(Table 4).

Table 3. Result of ankle joint angle of sagittal plane for each event (unit: °)

Event	Gaze direction	Mean ± SD	*F*-value	Post-hoc
IC	Bottom	35.84±4.92	6.373*	Bottom > Up
	Normal	34.57±4.89		
	Up	32.93±3.23		
mGRF	Bottom	-0.48±2.95	0.574	
	Normal	0.25±4.73		
	Up	-0.31±4.34		
MKF	Bottom	-7.89±3.95	1.070	
	Normal	-8.34±3.90		
	Up	-8.97±3.42		

Note. *p < .05, (+) value: Plantar flexion, (–) value: Dorsiflexion, IC: initial contact, mGRF: max ground reaction force, MKF: maximum knee flexion

3) 부하율

드롭랜딩 시 시선방향에 따른 부하율의 일원배치 반복측정 분산분석 결과 시선 방향에 따라 유의한 차이가 나타났다[F(2, 38)=6.498, p = .004]. 구체적으로 시선의 방향이 위일 때(41.71±9.47) 아래일 경우(35.72±8.01) 보다 부하율이 유의하게 큰 것으로 나타났다(p = .001) (Table 4).

Table 4. Result of kinetic variables

Variables	Gaze direction	Mean ± SD	*F*-value	Post-hoc
mGRF (N)	Bottom	2.77±0.40	1.494	
	Normal	2.80±0.41		
	Up	2.90±0.38		
Leg stiffness (N/kg/rad)	Bottom	19.78±3.11	3.836*	
	Normal	20.84±4.25		
	Up	21.95±4.43		
Loading rate (N/ms)	Bottom	35.72±8.01	6.498*	Normal > Up
	Normal	39.96±9.48		
	Up	41.71±9.47		
DPSI	Bottom	20.34±3.91	8.602*	Normal, Up > Bottom
	Normal	23.87±4.11		
	UP	23.93±4.44		

Note. *p < .05, mGRF: max ground reaction force, DPSI: dynamic postural stability index

4) 동적자세안정성지수

드롭랜딩 시 시선방향에 따른 동적자세안정성지수에서 시선 방향에 따라 유의한 차이가 나타났다[F(2, 38)=8.602, p = .001]. 사후검정 결과 시선의 방향이 위일 때(23.93±4.44) 아래일 경우(20.34±3.91) 보다 동적자세안정성지수가 유의하게 큰 것으로 나타났다(p = .003). 또한 시선의 방향이 정면일 때(23.87±4.11) 아래일 경우(20.34±3.91) 보다 동적자세안정성지수가 유의하게 큰 것으로 나타났다(p = .022) (Table 4). 시선 방향이 위와 정면 간의 유의한 차이는 나타나지 않았다.

DISCUSSION

본 연구는 아래, 정면, 위 세 가지의 시선 방향이 드롭랜딩 시 착지 동작의 운동학적 및 운동역학적 분석을 통해 하지관절의 협응과 안정성에 미치는 영향을 분석하고 시선 방향에 따라 착지 전략의 차이가 나타나는지 규명하고자 하는 목적이 있다.

착지 시 지면으로부터 전달되는 충격을 흡수하기 위해서는 발이 닿는 초기접지 시 발의 앞꿈치부터 착지가 시작되어야 한다(Gross & Nelson, 1988). 본 연구 결과, 시선 방향이 위일 경우 아래와 정면일 경우에 비해 최대 무릎굴곡 시점에서의 엉덩관절 굴곡각도와 초기접지 시점에서의 발목관절 저측굴곡 각도가 모두 감소한 것으로 나타났다. 착지 시 부상을 방지하기 위해서는 수직 높이가 증가할수록 발목관절의 저측굴곡, 무릎 및 엉덩관절의 굴곡각도를 증가시켜 충격을 흡수하는 전략을 사용해야 하며, 작은 저측굴곡 각도와 높은 수직지면반력의 유의한 상관관계가 보고되고 있다(Ali, Robertson & Rouhi, 2014). 이러한 선행연구를 바탕으로 볼 때, 시선이 위를 향할 경우 다른 시선 방향에 비해 지면을 인지하지 못하고 그로 인해 착지 높이 및 지면과의 거리정보가 부족하여 초기접지 시 작은 저측굴곡 상태로 착지하는 형태가 나타난 것으로 보인다. 또한 상대적으로 지면을 인지하고 착지할 수 있는 정면과 아래 시선 방향에서는 큰 저측굴곡 각도를 사용하여 발의 앞꿈치부터 착지하는 전략을 사용한 것으로 사료된다.

또한 엉덩관절의 굴곡각도가 감소하는 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 눈높이가 낮아질수록 엉덩관절 굴곡각도가 증가하는 착지 전략을 보인다는 선행연구와 유사하다(Dai et al., 2018). 특히 착지 시 엉덩관절은 전체 충격의 약 15%를 차지할 정도로 중요한 관절이며(Cho, Koh, Lee & Kim, 2012), 엉덩관절의 작은 굴곡각도는 전방십자인대 부상 증가와 연관이 있는 것으로 알려져 있어(Leppänen et al., 2017; Paterno et al., 2010), 시선 방향에 따른 착지 동작의 변화는 하지관절의 굴곡 움직임을 통한 충격흡수가 제대로 이루어지지 않아 부상을 초래할 수 있다.

시선 방향에 따라 착지 시 최대 수직지면반력과 하지 강성에는 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 하지 강성에서 시선 방향이 위일 경우 하지 강성이 큰 경향이 나타났다. 이는 착지 시 최대 수직지면반력의 차이는 크지 않으나, 다른 시선 방향에 비해 상대적으로 작은 관절 굴곡 각도에 의해 기인된 것으로 사료된다. 이전 연구에서 최대 수직지면반력의 경우 시각정보의 유무에 따른 최대 수직지면반력의 차이는 상이한 결과가 보고되고 있다. 한 연구에서는 시각차단 유무에 따른 차이가 나타나지 않았다고 보고하였으나(Eun, Yang, Kim, Kang & Kwak, 2012), 다른 두 연구에서는 시각차단 시 최대 수직지면반력이

크고(Koh et al., 2011) 시각차단 직후에는 비 시각차단과 차이가 나타나지 않았으나, 시각차단 30분 후 유의하게 큰 최대 수직지면반력을 보고하였다(Choi, 2013). 이러한 결과는 착지 높이, 양 발 또는 한 발 착지 형태 차이에 기인할 수 있을 것이라 사료된다. 특히 시각정보와 관계없이 착지 높이가 동일한 것을 인지한 후 착지할 경우 착지 수행 능력이 증가할 수 있기 때문에(Magalhães & Goroso, 2009) 착지 높이 및 착지 거리 변화 등 예측적 구성요소를 배제하여 비교하는 추가적인 연구가 필요할 것이다.

부하율의 경우 시선 방향이 아래일 때 보다 위일 경우 유의하게 큰 것으로 나타났는데, 최대 수직지면반력에서 큰 차이가 나타나지 않음에도 불구하고 부하율이 큰 것은 결국 최대 수직지면반력이 나타나는 시간이 짧다는 것을 의미하며, 이는 이전 연구와 일치하는 결과이다(Koh et al., 2011). 결국 시선차단과 마찬가지로 시선 방향에 따른 시각정보 양의 감소는 충격흡수 기능을 저하시킬 수 있으며, 높은 부하율은 특히 여성에게서 근골격계 및 전방십자인대 위험 요인이 될 수 있다(Lin, Casey, Herman, Katz & Tenforde, 2018).

시각정보는 자세 조절에 중요한 역할을 담당하며, 시각정보가 없을 경우 자세 흔들림이 증가하는 것으로 알려져 있다(Choy, Brauer & Nitz, 2003). 시각정보가 차단될 경우 근력과 관계없이 압력중심 이동이 크게 나타나 시각정보가 하지 근력에 비해 자세 조절에 더 큰 영향을 미친다고 하였으며(Giagazoglou et al., 2009), 한 발 서기 자세에서 또한 시각정보의 차단에 따라 자세 흔들림이 크게 나타나 안정성이 떨어진다고 보고되었다(Yoo, 2018). 흥미롭게도 최소한의 시력이 있는 경우 맹인에 비해 더 오랜 시간 균형을 유지하였으나, 출생 시 시력이 상실된 맹인과 후천적으로 시각을 잃은 경우 균형 능력에 대한 차이가 나타나지 않아 시각정보가 균형 유지에 있어 매우 중요하다는 것을 시사한다(Stones & Kozma, 1987). 본 연구에서 시각정보를 완전히 차단하지는 않았으나, 상대적으로 착지 위치를 파악하지 못할수록 즉, 착지 동작에 필요한 시각정보가 부족할수록 안정성의 저하가 나타나 불안정한 착지 형태가 나타나는 것으로 사료된다.

CONCLUSION

본 연구는 시선 방향이 드롭랜딩 시 하지관절 협응 및 안정성에 어떠한 영향을 미치는지 규명하고자 하였다. 그 결과 운동학적 변인에서 엉덩관절의 굴곡각도가 시선의 방향이 위일 때 정면에 비해 유의하게 작은 것으로 나타났으며, 발목관절의 경우 시선의 방향이 위일 때 아래에 비해 저측굴곡 각도가 유의하게 작은 것으로 나타났다. 또한 운동역학적 변인에서 부하율과 동적자세안정성지수에서 시선의 방향이 위일 때 유의하게 큰 것으로 나타났다. 이를 통해 시선의 방향이 위일 때 상대적으로 다른 시선 방향에 비해 지면을 인지할 수 없어 하지관절의 굴곡각도가 감소하고 이로 인해 효율적으로 충격흡수를 하지 못하며, 불안정한 착지 형태가 나타난 것으로 보인다.

REFERENCES

Aizawa, J., Hirohata, K., Ohji, S., Ohmi, T. & Yagishita, K. (2018). Limb-dominance and gender differences in the ground reaction force during single-leg lateral jump-landings. *Journal of Physical Therapy Science*, *30*(3), 387-392.

Ali, N., Robertson, D. G. E. & Rouhi, G. (2014). Sagittal plane body kinematics and kinetics during single-leg landing from increasing vertical heights and horizontal distances: Implications for risk of non-contact ACL injury. *The Knee*, *21*(1), 38-46.

Arundale, A. J., Kvist, J., Hägglund, M. & Fältström, A. (2020). Jump performance in male and female football players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *28*(2), 606-613.

Cho, J. H., Koh, Y. C., Lee, D. Y. & Kim, K. H. (2012). The Study of Strategy for Energy Dissipation during Drop Landing from Different Heights. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *22*(3), 315-324.

Choi, J. K. (2013). Effects of Visual Blockage on Kinetics Factors during Drop Landing. *The Korean Society of Sports Science*, *22*(6), 1547-1556.

Choy, N. L., Brauer, S. & Nitz, J. (2003). Changes in postural stability in women aged 20 to 80 years. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *58*(6), M525-M530.

Cortes, N., Onate, J., Abrantes, J., Gagen, L., Dowling, E. & Van Lunen, B. (2007). Effects of gender and foot-landing techniques on lower extremity kinematics during drop-jump landings. *Journal of Applied Biomechanics*, *23*(4), 289-299.

Dai, B., Hinshaw, T. J., Trumble, T. A., Wang, C., Ning, X. & Zhu, Q. (2018). Lowering minimum eye height to increase peak knee and hip flexion during landing. *Research in Sports Medicine*, *26*(3), 251-261.

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.

Eun, S. D., Yang, J. H., Kim, Y. W., Kang, M. S. & Kwak, C. S. (2012). The Effect of Visual & Cognitive Information of Landing Height on Landing Strategy during Drop Landing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *22*(4), 405-411.

Fransz, D. P., Huurnink, A., Kingma, I., de Boode, V. A., Heyligers, I. C. & van Dieën, J. H. (2018). Performance on a single-legged drop-jump landing test is related to increased risk of lateral ankle sprains among male elite soccer players: a 3-year prospective cohort study. *The American Journal of Sports Medicine*, *46*(14), 3454-3462.

Giagazoglou, P., Amiridis, I. G., Zafeiridis, A., Thimara, M., Kouvelioti, V. & Kellis, E. (2009). Static balance control and lower limb strength in blind and sighted women. *European Journal of Applied Physiology*, *107*(5), 571-579.

Granata, K., Padua, D. & Wilson, S. (2002). Gender differences in active musculoskeletal stiffness. Part II. Quantification of leg stiffness during functional hopping tasks. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *12*(2), 127-135.

Gross, T. & Nelson, R. C. (1988). The shock attenuation role of the ankle during landing from a vertical jump. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *20*(5), 506-514.

Hovey, S., Wang, H., Judge, L. W., Avedesian, J. M. & Dickin, D. C. (2019).

The effect of landing type on kinematics and kinetics during single-leg landings. *Sports Biomechanics*.

Huang, C. C. & Yang, C. M. (2016). Visual information and support surface for postural control in visual search task. *Perceptual and Motor Skills*, *123*(2), 394-410.

Hughes, G. & Watkins, J. (2008). Lower limb coordination and stiffness during landing from volleyball block jumps. *Research in Sports Medicine*, *16*(2), 138-154.

Jensen, J. L., Phillips, S. J. & Clark, J. E. (1994). For young jumpers, differences are in the movement's control, not its coordination. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *65*(3), 258-268.

Jo, S. C. (2006). Effects of Non-visual Condition on Lower Extremity Movement and Ground Reaction Forces during Drop Landing. *Journal of Coaching Development*, *8*(1), 99-107.

Kadaba, M., Ramakrishnan, H., Wootten, M., Gainey, J., Gorton, G. & Cochran, G. (1989). Repeatability of kinematic, kinetic, and electromyographic data in normal adult gait. *Journal of Orthopaedic Research*, *7*(6), 849-860.

Kim, G., Song, M. & Kim, J. (2008). A Study of Consumer's Visual Attention in Complicated Advertising Context: Effect of Involvement to Context. *Korean Association for Advertising and Public Relations*, *10*(2), 66-97.

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 & Science in Sports*, *29*(8), 1130-1140.

Kim, K. & Jeon, K. (2016). Comparisons of knee and ankle joint angles and ground reaction force according to functional differences during single-leg drop landing. *Journal of Physical Therapy Science*, *28*(4), 1150-1154.

Kim, K. & Lim, B. O. (2011). Effects of Female Ages on the Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury Risk Factors during the Single Legged Drop Landing. *Korean Journal of Sport Science*, *22*(1), 1693-1700.

Koh, Y. C., Cho, J. H., Moon, G. S., Lee, H. D. & Lee, S. C. (2011). Effects of Visual Information Blockage on Lanidng Strategy during Drop Landing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *21*(1), 31-38.

Lee, D. N. & Lishman, J. (1975). Visual proprioceptive control of stance. *Journal of Human Movement Studies*.

Leppänen, M., Pasanen, K., Krosshaug, T., Kannus, P., Vasankari, T., Kujala, U. M. ... & Parkkari, J. (2017). Sagittal plane hip, knee, and ankle biomechanics and the risk of anterior cruciate ligament injury: a prospective study. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, *5*(12), 2325967117745487.

Lin, C. Y., Casey, E., Herman, D. C., Katz, N. & Tenforde, A. S. (2018). Sex differences in common sports injuries. *PM&R*, *10*(10), 1073-1082.

Magalhães, F. H. & Goroso, D. G. (2009). Preparatory EMG activity reveals a rapid adaptation pattern in humans performing landing movements in blindfolded condition. *Perceptual and Motor Skills*, *109*(2), 500-516.

McNitt-Gray, J. L. (1991). Kinematics and impulse characteristics of drop landings from three heights. *Journal of Applied Biomechanics*, *7*(2), 201-224.

Park, J. B., Hong, S. H., Ahn, S. C., Nam, K. J. & Lee, C. H. (2019). The comparison of kinematic variables acoording to visual limitation during drop landing. *The Korea Journal of Sports Science*, *28*(6), 1123-1133.

Paterno, M. V., Schmitt, L. C., Ford, K. R., Rauh, M. J., Myer, G. D., Huang, B. & Hewett, T. E. (2010). Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *The American Journal of Sports Medicine*, *38*(10), 1968-1978.

Perrin, P. P., Jeandel, C., Perrin, C. A. & Bene, M. C. (1997). Influence of visual control, conduction, and central integration on static and dynamic balance in healthy older adults. *Gerontology*, *43*(4), 223-231.

Santello, M., McDonagh, M. J. & Challis, J. H. (2001). Visual and non-visual control of landing movements in humans. *The Journal of Physiology*, *537*(1), 313-327.

Sidaway, B., McNitt-Gray, J. & Davis, G. (1989). Visual timing of muscle preactivation in preparation for landing. *Ecological Psychology*, *1*(3), 253-264.

Silder, A., Besier, T. & Delp, S. L. (2015). Running with a load increases leg stiffness. *Journal of Biomechanics*, *48*(6), 1003-1008.

Stones, M. J. & Kozma, A. (1987). Balance and age in the sighted and blind. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *68*(2), 85-89.

Tomomitsu, M. S., Alonso, A. C., Morimoto, E., Bobbio, T. G. & Greve, J. (2013). Static and dynamic postural control in low-vision and normal-vision adults. *Clinics*, *68*(4), 517-521.

van der Worp, H., Vrielink, J. W. & Bredeweg, S. W. (2016). Do runners who suffer injuries have higher vertical ground reaction forces than those who remain injury-free? A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, *50*(8), 450-457.

Warren, W. H., Kay, B. A., Zosh, W. D., Duchon, A. P. & Sahuc, S. (2001). Optic flow is used to control human walking. *Nature Neuroscience*, *4*(2), 213-216.

Wikstrom, E. A., Tillman, M. D., Smith, A. N. & Borsa, P. A. (2005). A new force-plate technology measure of dynamic postural stability: the dynamic postural stability index. *Journal of Athletic Training*, *40*(4), 305.

Yeow, C., Lee, P. & Goh, J. (2009). Effect of landing height on frontal plane kinematics, kinetics and energy dissipation at lower extremity joints. *Journal of Biomechanics*, *42*(12), 1967-1973.

Yoo, K. S. (2018). The Effect of Postural Type and Visual Information on Balance of Human Posture. *Korean Society of Sport and Leisure Studies*, *73*, 443-452.