

여자 농구 선수들의 착지 유형이 전방십자인대 손상위험 요인에 미치는 영향

이계산¹ · 임비오²

¹가톨릭관동대학교 사범대학 체육교육과, ²중앙대학교 사범대학 체육교육과

Effects of Landing Tasks on the Anterior Cruciate Ligament Injury Risk Factors in Female Basketball Players

Gye-San Lee¹ · Bee-Oh Lim²

¹Department of Physical Education, College of Education, Catholic Kwandong University, Gangneung, Republic of Korea

²Department of Physical Education, College of Education, Chung Ang University, Seoul, Republic of Korea

Received 10 November 2014 Received in revised form 12 December 2014 Accepted 19 December 2014

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effects of landing tasks on the anterior cruciate ligament (ACL) injury risk factors in female basketball players. Fifteen female basketball players performed a drop landing and a drop landing with a vertical jump on the 40 cm height box. Three-dimensional motion analysis system and ground reaction force system was used for calculate the ACL injury risk factors. Paired samples t-test with Bonferroni correction were performed. The drop landing with a vertical jump had the higher knee flexion angle, peak knee varus moment, trunk flexion angle than a drop landing. However, the drop landing had the higher trunk rotation angle than a drop landing with a vertical jump. These results indicate that seemingly minor variations between drop landing and drop landing with a vertical jump may influence the ACL injury risk factors. Caution should be used when comparing studies using different landing tasks.

Keywords : Anterior Cruciate Ligament, Injury Risk Factors, Female, Basketball

I. 서 론

젊은 여자 선수들이 참가하는 스포츠 종목 중에 가장 흔하게 부상이 발생하는 종목은 농구(20%)이며(Kelm, Ahlhelm, Anagnostakos, Pitsch, Schmitt, Regitz & Pape, 2004), 가장 심각한 부위는 무릎이다(Powell & Barber-Foss, 1999). 여자 선수들은 동일한 스포츠에 참가하는 남

자 선수들보다 비접촉성 전방십자인대 부상을 당할 위험이 4-6배나 더 높다(Arendt & Dick, 1995; Hewett, Lindenfeld, Riccobene & Noyes, 1999). 선행연구에 의하면 전방십자인대 부상을 입을 때 몸통 움직임이 불안정하고, 무릎 굴곡각이 감소되어 있으며, 무릎 외반(valgus)이 증가하고, 무릎의 신전모멘트와 내반모멘트가 증가되어 있다(Schmitz, Kulas, Perrin, Riemann & Shultz, 2007; Ambe-gaonkar, Shultz, Perrin, Schmitz, Ackerman & Schulz, 2011; Shimokochi & Shultz, 2008).

전방십자인대 부상을 입는 동작 중에 점프 후 착지 동작에서, 여자 농구 선수들(60%)은 축구 선수들(25%)에 비해 현저히 부상 발생 비율이 높다(Piasecki, Spindler, Warren, Andrish & Parker, 2003). 점프 후 착지 동작은 전방십자인대 부상과 밀접한 관련이 있으며(Shimokochi &

Corresponding Author : Bee-Oh Lim
Department of Physical Education, Chungang University, 84 Heuk-seok-ro, Dongjak-gu, Seoul, Korea
Tel : +82-10-3201-4483 / Fax : +82-2-812-2729
E-mail : bolim@cau.ac.kr

*본 연구는 한국체육학회지 2014년 제53권 제1호 '팔의 위치가 한 발 드롭 착지 시 전방십자인대 부상위험 요인에 미치는 영향'에서 제안한 주제의 후속연구이다

Shultz, 2008), 스포츠 수행 목적에 따라 한 발 착지와 양 발 착지를 하게 된다. 이러한 두 가지 유형의 착지는 전방 십자인대 부상 위험 요인을 밝히는 데 사용되는 중요한 연구 모델이다(Noyes, Barber-Westin, Fleckenstein, Walsh & West, 2005; Viitasalo, Salo & Lahtinen, 1998).

전방십자인대 부상을 일으키는 두 가지 유형의 착지 동작을 대상으로 한 연구에서, Orishimo, Liederbach, Kremenic, Hagins와 Pappas (2014)는 여자 무용수들과 여자 팀스포츠 선수들을 대상으로 30 cm 높이의 플랫폼에서 한 발 드롭 랜딩 동작을 수행하였다. 연구결과, 여자 팀스포츠 선수들은 여자 무용수들에 비해 무릎 외번 동작이 더 크게 나타났으며, 몸통 움직임이 더 불안정하게 착지하였다고 하면서 결론적으로 이러한 생체역학적 발견은 무용수들과 팀스포츠 선수들의 전방십자인대 부상률의 차이를 설명하는 것이라고 보고하였다. Ambegaonkar 등 (2011)은 무용수들과 여자 농구선수들을 대상으로 45 cm 높이의 박스 위에서 양 발 드롭 랜딩 후 수직점프 동작을 수행하였다. 연구결과, 무용수들은 여자 농구선수들에 비해 leg spring stiffness가 더 높게 나타났으며, 뒤넙다리근(hamstrings)과 장딴지근(gastrocnemius)의 근육활동은 높게 나타났으며, 네갈래근(quadriceps)의 근육활동은 낮게 나타났다고 하면서 결론적으로 여자 무용수들은 하지의 근신경역학적 관점에서 여자 농구선수들과 다르게 나타났다고 보고하였다.

전방십자인대 부상을 많이 입는 농구선수들을 대상으로 생체역학적 관점에서 부상의 메커니즘을 밝히는 노력은 전방십자인대 부상을 예방하기 위해서 중요하다. 전방십자인대 부상 메커니즘을 밝히기 위해서 사용되는 동작 과제는 점프 후 착지 동작이다. 이러한 동작 과제는 여러 연구자들에 의해 많이 수행되었다(Ford, Myer & Hewett, 2003; Chappell, Creighton, Giuliani, Yu & Garrett, 2007; Hewett, Myer, Ford & Slauterbeck, 2006; Kernozek, Torry, Van Hoof, Cowley & Tanner, 2005). 그러나 이러한 연구들에서 착지 역학과 관련하여 일치된 결론을 내리지 못했다. 예를 들어, Kernozek 등(2005)은 초기 접지 때 무릎과 엉덩이의 운동학적 변인에서 성의 차이를 명확하게 밝히지 못했으나, Chappell 등 (2007)은 초기 접지 때 무릎 굴곡과 엉덩 외전에서 성의 차이를 설명하였다. 이러한 결과의 차이는 수행한 착지 동작의 차이에서 기인한다. Kernozek 등 (2005)은 착지 역학을 평가하기 위해서 드롭 랜딩 동작을 수행하였다. 반면에, Ford 등 (2003)은 드롭 수직 점프 동작을 수행하였다. 이러한 연구들은 각각의 착지 동작을 개별적으로 분석하여 보고하였으나, 각각의 착지 동작 간의 차이는 규명하지 못했다(Cruz, Bell, McGrath, Blackburn, Padua & Herman, 2013).

특히, 여자 농구선수들을 대상으로 전방십자인대 부상을

일으키는 주요한 동작인 착지 동작에서 한 발과 양 발의 착지 유형에 따른 전방십자인대 부상 메커니즘의 차이를 밝히는 연구는 아직까지 수행되지 않았다. 본 연구는 한국 체육학회지 2014년 제53권 제1호 ‘팔의 위치가 한 발 드롭 착지 시 전방십자인대 부상위험 요인에 미치는 영향’에서 제안한 주제의 후속연구이다(Yang & Lim, 2014). 본 연구의 목적은 여자 농구 선수들의 착지 유형(한 발 대 양 발 착지)이 전방십자인대 손상 위험요인에 미치는 영향을 규명하는 것이다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구에 참가한 연구대상은 여자 농구선수 15명(신장 167.38±5.72 cm, 체중 57.34±4.61 kg, 나이 21.53±2.54세, 선수경력은 7.35±2.37년)이다. 하지의 근골격 시스템에 부상이 있어 착지 동작에 영향을 미치는 선수들은 본 실험에서 제외시켰다.

2. 실험장비

본 연구의 종속변인을 측정하는데 사용된 실험도구에는 영상분석 시스템(Motion Analysis, USA)과 지면반력 시스템(AMTI OR6-6, AMTI, USA)이다.

3. 실험절차

실험실에 도착한 연구대상자들은 연구윤리위원회(IRB) 실험참가 동의서를 작성한 후 준비운동을 수행하였다. 실험실에는 카메라 8대와 지면반력 측정 시스템 2대를 설치하고, 공간 좌표 설정을 위해 캘리브레이션 막대(calibration wand)를 이용하여 분석 범위를 설정하였다. 그 후에 분석 대상 부위에 반사마커를 부착한 후 정적인 자세를 약 5초간 촬영한 후 본 실험에 착수하였다. 인체의 운동학적 변인을 산출하기 위한 반사 마커를 부착한 신체 부위는 좌우 어깨봉우리(acromion), 좌우 상전장골극(anterior superior iliac spine [ASIS]), 상후장골극(posterior superior iliac spine [PSIS]), 좌우 대퇴 중앙지점(mid thigh), 좌우 외측 상과(lateral condyle), 좌우 하퇴 중앙지점(mid shank), 좌우 외측상과(lateral epicondyle), 좌우 내과(medial malleolus), 좌우 뒤꿈치(heel), 좌우 앞꿈치(toe)이다.

15명의 여자 농구선수들은 40 cm 높이의 박스 위에서 한 발 착지와 양 발 착지 후 수직 점프 동작을 3번씩 총 6회, 무작위로 수행하였다. 한 발 착지 과제는 40 cm 높이의 박스 위에서 한 발(주동발)로 뛰어 내렸으며(Orishimo

et al., 2014), 양 발 착지 후 수직 점프 과제는 40 cm 높이의 박스 위에서 뛰어 내린 후, 곧 바로 자신이 떨어 수 있는 최고 높이로 수직점프 하였다(Ambegaonkar et al., 2011). 두 과제 모두 착지 후 5초간 균형을 유지하는 성공적인 동작만을 기록하였다. 한 발 착지 및 양 발 드롭 착지 후 수직점프 동작을 촬영하기 위해 좌우로 3대씩, 전후 1대씩 총 8대의 동작분석용 적외선 카메라(Eagle Camera, Motion Analysis, USA)를 설치하였다. 각 카메라는 초당 120프레임으로 샘플링 하였다. 한 발 착지 및 양 발 드롭 착지 지점에 지면반력기 2대를 박스에서 30 cm 떨어진 지점에 설치한 후 초당 1200 Hz로 샘플링 하였다. 영상자료와 지면반력 자료는 동조용 박스(NIUSB 6218, National Instruments, Hungary)를 사용하여 동조시켰다.

4. 자료 분석

(1) 3차원 좌표의 산출

8대의 카메라에서 얻은 2차원 평면상의 데이터는 NLT (non-linear transformation) 방법에 의해서 3차원 공간상의 데이터로 변환하였다. 3차원 좌표 계산 시 발생하는 노이즈(noise)를 제거하기 위하여 버터워스 저역통과 디지털 필터(Butterworth low-pass digital filters)를 사용하였으며, 차단주파수는 9 Hz로 설정하였다(Ford et al., 2003). 양 발 착지 후 수직점프 과제의 분석에는 주동발의 자료만 사용하였다.

(2) 관절 중심의 산출

엉덩 관절 중심은 Tylkowsky 방식(Tylkowsky, Simon, & Mansour, 1982)을 사용하여 계산하였다. 무릎과 발목 관절의 중심은 midpoint 방식을 사용하여 계산하였다.

(3) 분절의 상대각도의 산출

몸통 굴곡 각도는 전역좌표계와 몸통 분절의 방위각(orientation angle, X좌표: 시상면에서 본 자세로 왼쪽에서 오른쪽으로 향한 방향이 양의 방향)으로 계산하였고, 몸통 회전 각도는 전역좌표계와 몸통 분절의 방위각(Z좌표: 횡단면에서 본 자세로 시계반대방향이 양의 방향)으로 계산하였다. 무릎 굴곡 각도는 대퇴와 하퇴의 방위각(X좌표)으로 산출하였으며, 무릎 외반 각도는 대퇴와 하퇴의 방위각(Y좌표: 관상면에서 본 자세로 뒤쪽에서 앞쪽으로 향한 방향이 양의 방향)으로 산출하였다.

(4) 관절모멘트의 산출

하퇴 분절의 자유물체도(free body diagram)는 <Figure 1>과 같으며, 무릎관절 모멘트의 산출식은 다음과 같다(Lim, 2007; Yang & Lim, 2014).

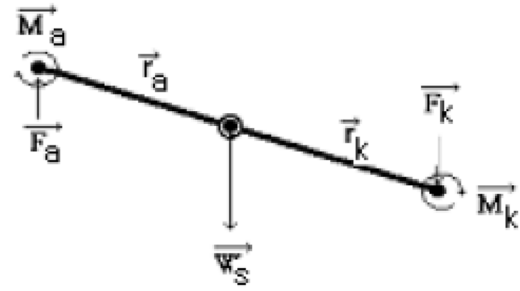


Figure 1. Free body diagram in lower extremity (Lim,2007; Yang & Lim, 2014)

위에서 제시한 공식에 의해 한 발 착지 및 양 발 착지 후 수직점프 동작 시 무릎의 신전모멘트와 외반모멘트를 산출하였다(Lim, 2007; Yang & Lim, 2014). 산출된 신전모멘트와 내반모멘트의 값에 체중(kg)을 나누어 표준화하여 비교하였다.

(5) 분석구간의 설정

분석구간은 박스 위에서 한 발 착지 및 양 발 착지 후 지면반력기에 착지하는 시점(foot contact)에서 무릎이 최대로 굴곡된 시점(knee max flexion)까지의 구간이다.

5. 통계처리

15명의 여자 농구선수들에 의해 수행된 한 발 착지 및 양 발 착지 동작 후 수직점프 시 무릎의 전방십자인대 부상 위험요인에 미치는 영향을 규명하기 위해 종속 t-test (paired samples t-test with Bonfferoni correction)을 실시하였다. 통계적 유의성을 검증하기 위한 유의수준은 .05로 설정하였으며, SPSS 20.0(IBM, USA) 프로그램을 사용하였다.

III. 결 과

본 연구는 여자 농구 선수들의 착지 유형(한 발 착지 대 양 발 착지 후 수직점프)이 전방십자인대 손상위험 요인에 미치는 영향을 규명하는 것이다.

연구결과, <Figure 2>에 나타난바와 같이 무릎 굴곡 각도(knee flexion angle)에서 양 발 착지 후 수직점프가 한 발 착지보다 통계적으로 유의하게 더 크게 나타났다($p=.037$). 이는 양 발 착지 후 수직점프 할 때가 한 발 착지 할 때보다 무릎을 더 많이 구부러서 착지했다는 것을 의미한다.

무릎 외반 각도(knee valgus angle)는 <Figure 3>에 나타난바와 같이 한 발 착지가 양 발 착지 후 수직점프보다 더 크게 나타났지만, 통계적인 차이는 나타나지 않았다.

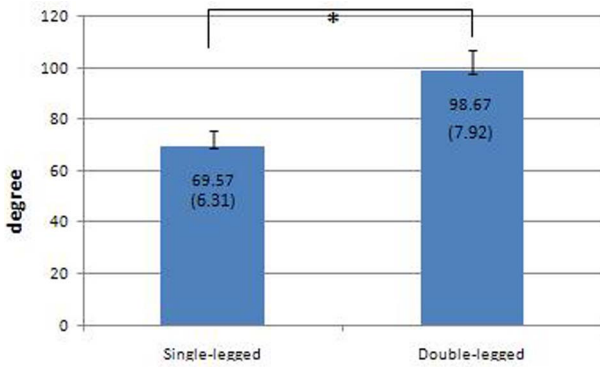


Figure 2. Knee flexion angle

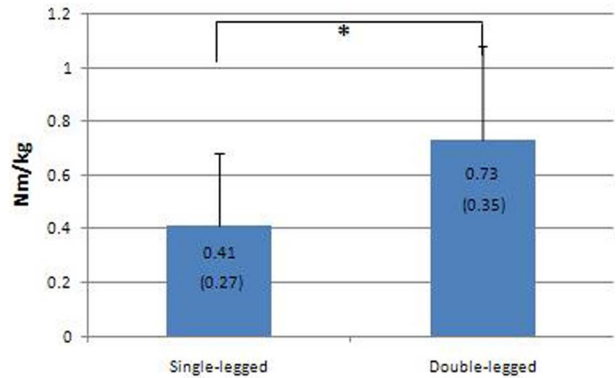


Figure 5. Maximum knee varus moment

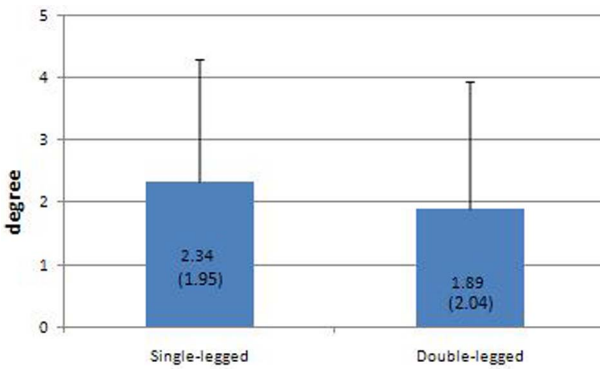


Figure 3. Knee valgus angle

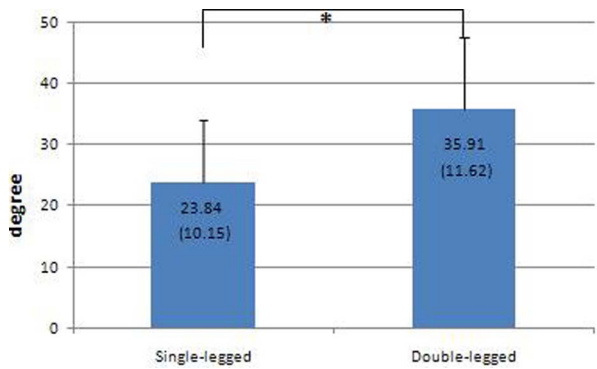


Figure 6. Trunk flexion angle

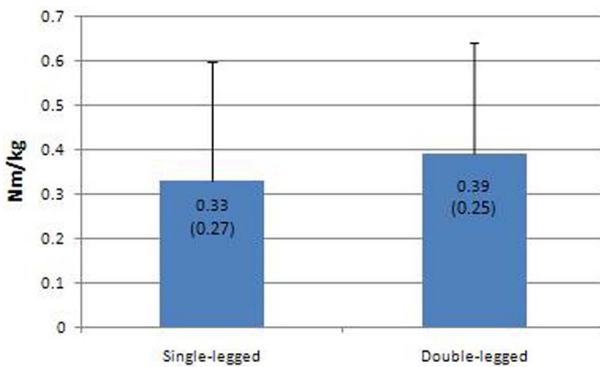


Figure 4. Maximum knee extension moment

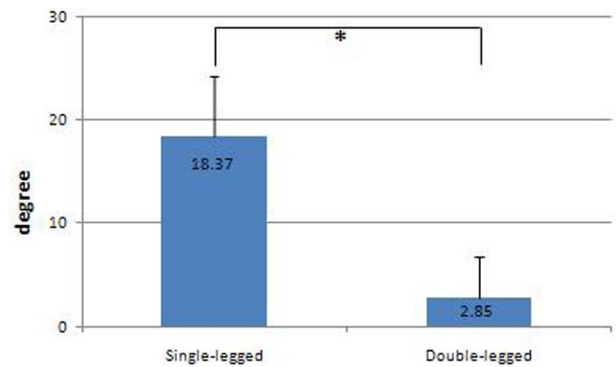


Figure 7. Trunk rotation angle

최대 무릎 신전 모멘트(maximum knee extension moment)는 <Figure 4>에 나타난바와 같이 양 발 착지 후 수직점프가 한 발 착지보다 더 크게 나타났지만, 통계적인 차이는 나타나지 않았다.

최대 무릎 내반 모멘트(maximum knee varus moment)는 <Figure 5>에 나타난바와 같이 양 발 착지 후 수직점프가 한 발 착지보다 통계적으로 유의하게 더 크게 나타났다($p=.041$).

몸통 굴곡 각도(trunk flexion angle)은 <Figure 6>에

나타난바와 같이 양 발 착지가 한 발 착지보다 통계적으로 유의하게 더 크게 나타났다($p=.029$). 이는 양 발 착지 후 수직점프 할 때가 한 발 착지 할 때보다 몸통을 더 많이 구부러서 착지했다는 것을 의미한다.

몸통 회전 각도(trunk rotation angle)은 <Figure 7>에 나타난바와 같이 한 발 착지가 양 발 착지보다 통계적으로 유의하게 더 크게 나타났다($p=.043$). 이는 한 발 착지 할 때가 양 발 착지 후 수직점프 할 때보다 몸통을 더 많이 회전시키면서 착지했다는 것을 의미한다.

IV. 논 의

본 연구는 여자 농구 선수들의 착지 유형(한 발 대 양 발 착지)이 전방십자인대 손상위험 요인에 미치는 영향을 규명하는 것이다.

무릎 굴곡 각도에서 양 발 착지가 한 발 착지보다 통계적으로 유의하게 더 크게 나타났다. 이는 양 발 착지 할 때가 한 발 착지 할 때보다 무릎을 더 많이 굽혀서 착지했다는 것을 의미한다. 무릎을 편 채로 착지하면 전방으로 정강뼈 이동(anterior tibial translation)을 제어하는 뒤넙다리근(hamstring muscles)의 역할을 감소시킨다(Fagenbaum & Darling, 2003). 따라서, 무릎을 더 많이 펴서 착지를 하면, 전방십자인대 부상 발생률이 더 커진다(Arendt & Dick, 1995). 전방십자인대에 가해지는 장력은 뒤넙다리근이 뒤쪽에서 당김으로써 감소되는데, 무릎 굴곡각이 커지면 이러한 뒤넙다리근의 활동이 커지게 된다(Kernozek & Ragan, 2008).

생체역학적 연구에서 무릎 외반 각도가 증가하고, 신전 모멘트와 내반 모멘트가 커지면 전방십자인대에 가해지는 스트레스가 증가하게 되어 부상 위험률이 증가한다(Ford et al., 2003; Hewett et al., 2005). 무릎에서 내반 모멘트가 커지면 전방으로의 정강뼈 이동이 현저하게 증가하고 전방십자인대에 몇 배의 큰 부하를 준다(Fukuda, Woo & Loh, 2003). 생체역학과 전향연구(prospective study)에서 무릎 내반모멘트와 외반 각도는 전방십자인대 부상 위험을 예측하는 위험 요인이다(Hewett et al., 2005). 무릎 외반 각도는 전방십자인대 부상 집단이 부상을 입지 않은 집단보다 8° 더 크게 나타났다(Quatman & Hewett, 2009). 본 연구에서 한 발 착지가 양 발 착지 후 수직점프보다 무릎 외반 각도가 더 크게 나타났지만, 통계적인 차이는 나타나지 않았다. 외반 각도에서 개인 간 편차가 큰 것이 특징인데, 이러한 요인에 대한 후속연구가 필요한 실정이다.

전방십자인대 부상 위험을 설명하는 이론 중에 몸통과 관련하여 3차원에서 몸통의 위치를 조절하거나 안정화 시키는데 실패하면, 전방십자인대에 부상을 입게 된다(Orishimo et al., 2014). 다리를 지탱하는 몸통의 과도한 굴곡은 엉덩 내전과 무릎 외전과 밀접한 관련이 있고, 무릎의 전방십자인대에 과도한 내반모멘트를 발생시키게 된다(Orishimo et al., 2014). 본 연구에서는 한 발 착지 할 때가 양 발 착지 후 수직점프 할 때보다 몸통을 덜 굽히고, 더 많이 회전시키면서 착지한 것으로 나타났다. 따라서, 한 발 착지 할 때가 양 발 착지 후 수직점프 할 때보다 몸통이 더 불안정하게 되어 무릎의 전방십자인대에 가해지는 스트레스도 증가하게 된다.

무릎 굴곡 각도, 최대 무릎 내반 모멘트, 몸통 굴곡 각도에서는 양발 착지 후 수직점프 동작이 한 발 착지 동작

보다 크게 나타났으나, 몸통 회전 각도에서는 한 발 착지 동작이 양발 착지 후 수직점프 동작보다 더 크게 나타났다. 이러한 차이는 충격력을 줄이는 목적(한 발 착지)과 착지 후 연속해서 파워를 생성시키는 목적(양 발 착지 후 수직점프)의 차이로 인한 것이다(Cruz et al., 2013). 최대 무릎 신전 모멘트에서 두 동작 사이에서 차이가 나타나지 않은 이유는 임팩트 및 에너지를 흡수하는 기전이 유사하기 때문이며, 무릎과 몸통 각도에서 두 동작 사이에서 차이가 나타나는 이유는 연속해서 파워를 생성하는 유무의 차이 때문이다(Cruz et al., 2013). 선행연구에서 동작과제에 따라 전방십자인대 부상 위험 요인에서 차이가 나타났다(Cruz et al., 2013). 본 연구의 동작과제 (한 발 착지 vs 양 발 착지 후 수직점프)에서도 이러한 차이가 나타났다. 따라서 선행연구와 결과를 비교하기 위해서는 동작과제가 일치하는지 고려하여야 하며, 스포츠 종목별로 전방십자인대 부상을 가장 많이 발생시키는 동작과제를 선정하여야 할 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구는 여자 농구 선수들의 착지 유형(한 발 착지 대 양 발 착지 후 수직점프)이 전방십자인대 손상위험 요인에 미치는 영향을 규명하는 것이다. 여자 농구선수 15명을 대상으로, 영상분석 시스템과 지면반력 시스템을 사용하여 본 연구의 종속변인인 전방십자인대 손상위험 요인을 규명하기 위해 종속 t-test(한 발 착지 vs 양 발 착지 후 수직점프)를 실시하였다.

본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 무릎 굴곡 각도, 최대 무릎 내반 모멘트, 몸통 굴곡 각도에서는 양발 착지 후 수직점프 동작이 한 발 착지 동작보다 더 크게 나타났으며, 몸통 회전 각도에서는 한 발 착지 동작이 양발 착지 후 수직점프 동작보다 더 크게 나타났다.

이러한 결과는 착지 유형에 따라 전방십자인대 손상위험 요인에 미치는 영향이 다르다는 것을 의미한다. 따라서, 착지 유형이 다른 동작 과제를 선정할 때 주의해야 한다.

참고문헌

- Ambegaonkar, J. P., Shultz, S. J., Perrin, D. H., Schmitz, R. J., Ackerman, T. A., & Schulz, M. R. (2011). Lower body stiffness and muscle activity differences between female dancers and basketball players during drop jumps. *Sports Health*, 3(1), 89-96.
- Arendt, E., & Dick, R. (1995). Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. *American Journal of Sports Medicine*, 23, 694-701.
- Chappell, J. D., Creighton, R. A., Giuliani, C., Yu, B., & Garrett, W.

- E. (2007). Kinematics and electromyography of landing preparation in vertical stop-jump: Risks for noncontact anterior cruciate ligament injury. *American Journal of Sports Medicine*, 35, 235–241.
- Cruz, A., Bell, D., McGrath, M., Blackburn, T., Padua, D., & Herman, D. (2013). The effects of three jump landing tasks on kinetic and kinematic measures: implications for ACL injury research. *Research in Sports Medicine*, 21(4), 330–342.
- Fagenbaum, R., & Darling, W. G. (2003). Jump landing strategies in male and female college athletes and the implications of such strategies for anterior cruciate ligament injury. *American Journal of Sports Medicine*, 31(2), 233–240.
- Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2003). Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Medicine Science and Sports in Exercise*, 35(10), 1745–1750.
- Fukuda, Y., Woo, S. L., & Loh, J. C. (2003). A quantitative analysis of valgus torque on the ACL: a human cadaveric study. *Journal of Orthopaedic Research*, 21, 1107–1112.
- Hewett, T. E., Lindenfeld, T. N., Riccobene, J. V., & Noyes, F. R. (1999). The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes: a prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, 27, 699–706.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt, 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. *American Journal of Sports Medicine*, 33(4), 492–501.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., & Slauterbeck, J. R. (2006). Preparticipation physical examination using a box drop vertical jump test in young athletes: The effects of puberty and sex. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 16, 298–304.
- Kelm, J., Ahlhelm, F., Anagnostakos, K., Pitsch, W., Schmitt, E., Regitz, T., & Pape, D. (2004). Gender-specific differences in school sports injuries. *Sportverletz Sportschade*, 18, 179–184.
- Kernozek, T. W., & Ragan, R. J. (2008). Estimation of anterior cruciate ligament tension from inverse dynamics data and electromyography in females during drop landing. *Clinical Biomechanics(Bristol, Avon)*, 23(10), 1279–1286.
- Kernozek, T. W., Torry, M. R., Van Hoof, H., Cowley, H., & Tanner, S. (2005). Gender differences in frontal and sagittal plane biomechanics during drop landings. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37, 1003–1012.
- Lim, B. O. (2007). The effects of knee brace on the knee extensor and valgus moment during the rebound in female high-school basketball player. *The Korean Journal of Physical Education*, 46(4), 509–514.
- Noyes, F. R., Barber-Westin, S. D., Fleckenstein, C., Walsh, C., & West, J. (2005). The drop jump screening test: difference in lower limb control by gender and effect on neuromuscular training in female athletes. *American Journal of Sports Medicine*, 33(2), 197–207.
- 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. *American Journal of Sports Medicine*, 42(5), 1082–1088.
- Piasecki, D. P., Spindler, K. P., Warren, T. A., Andrish, J. T., & Parker, R. D. (2003). Intraarticular injuries associated with anterior cruciate ligament tear: findings at ligament reconstruction in high school and recreational athletes: an analysis of sex-based differences. *American Journal of Sports Medicine*, 31, 601–605.
- Powell, J. W., & Barber-Foss, K. D. (1999). Injury patterns in selected high school sports: a review of the 1995–1997 seasons. *Journal of Athletic Training*, 34, 277–284.
- Quatman, C. E., & Hewett, T. E. (2009). The anterior cruciate ligament injury controversy: is "valgus collapse" a sex-specific mechanism?. *British Journal of Sports Medicine*, 43(5), 328–335.
- Schmitz, R. J., Kulas, A. S., Perrin, D. H., Riemann, B. L., & Shultz, S. J. (2007). Sex differences in lower extremity biomechanics during single leg landings. *Clinical Biomechanics(Bristol, Avon)*, 22, 681–688.
- Shimokochi, Y., & Shultz, S. J. (2008). Mechanisms of noncontact anterior cruciate ligament injury. *Journal of Athletic Training*, 43(4), 396–408.
- Tylkowski, C. M., Simon, S. R., & Mansour, J. M. (1982). *Internal rotation gait in spastic cerebral palsy in the hip*. Proceedings of the 10th Open Scientific Meeting of the Hip Society, (Edited by Nelson, J. P.), 89–125. Mosby, St. Louis.
- Viitasalo, J. T., Salo, A., & Lahtinen, J. (1998). Neuromuscular functioning of athletes and non-athletes in the drop jump. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78(5), 432–440.
- Yang, C. S., & Lim, B. O. (2014). Effects of arm position on anterior cruciate ligament injury risk factors in single-limb drop landing. *The Korean Journal of Physical Education*, 53(1), 441–449.