

여자 축구선수의 전방십자인대 위험요인 평가를 위한 착지오류점수와 하지경직과의 상관관계

임비오¹⁾ · 조지훈^{2)*}

1) 중앙대학교 2) 신경대학교

ABSTRACT

Bee-oh Lim · Ji-hoon Cho. Correlation Analysis of Landing Error Score and Lower Body Stiffness for Evaluating Anterior Cruciate Ligament Risk Factors in Female Soccer Players. *The Journal of Kinesiology*, 2017, 19(4): 57-63. **[PURPOSE]** The purpose of this study was to investigate the correlation analysis of the variables between lower body stiffness(knee joint stiffness & leg spring stiffness) calculated by three-dimensional motion analysis system and the landing error score calculated using the landing error score system during drop vertical jump. **[METHODS]** Ten professional female soccer players participated in the study. Pearson's coefficient of correlation was used to determine the correlation between the landing error score and the lower body stiffness(knee joint stiffness & leg spring stiffness) during drop vertical jump on the 30cm box. **[RESULTS]** There was a negative correlation between the landing error score and the knee joint stiffness($r=-0.412$, $p<.05$), and there was a high negative correlation between landing error score and leg spring stiffness($r=-0.614$, $p<.05$). **[CONCLUSIONS]** The landing error score, which can be easily used in the sports field, showed a significant negative correlation with lower body stiffness, which is a risk factor of anterior cruciate ligament injury.

Key words : female soccer player, ACL risk factor, knee joint stiffness, leg spring stiffness, landing error scoring system
주요어 : 여자 축구선수, 전방십자인대 위험요인, 무릎관절경직, 다리스프링경직, 착지오류점수시스템

서론

다양한 스포츠 활동 중 약 32.6%가 무릎관절 손상이며 (Baquie & Brunkner, 1997; McLean et al., 2005), 무릎관절 손상 중 전방십자인대 손상은 매년 80,000-250,000건이 발생하고 있다(Griffin et al., 2006). 특히, 남자 선수들보다 여자선수들이 전방십자인대(Anterior Cruciate Ligament ACL) 손상 비율이 높으며(Arendt et al., 1999; Griffin et al., 2006), 여자 축구선수들에서 10,000명당 2.8-3.2명의 높은 손상 비율이 보고되고 있다(Mihata et al., 2006). 무릎관절의 전방십자인대 손상은 즉각적인 장애로 심각한 후유증을 가져오며(Padua et al., 2009), 재활하는 시간도 많이 소요되며, 경제적인 비용도 증가한다(Smith et al., 2012).

전방십자인대 손상에 대하여 동작 분석결과, 점프 후 착지할 때 2가지의 하지경직(lower body stiffness) 즉, 무릎관절경직(knee joint stiffness)과 다리스프링경직(leg

spring stiffness)이 감소되어 있을 때 전방십자인대 손상이 증가하였다고 보고하였다(Boden et al., 2000; Ambegaonkar et al., 2011), 착지(landing)은 전방십자인대 손상을 일으키는 대표적인 동작이다(Ambegaonkar et al., 2011). 특히, 드롭 랜딩이후 곧바로 최대 수직 점프 후 지면에 다시 착지하는 드롭 버티컬 점프(drop vertical jump) 동작은 일반적으로 착지와 관련된 신경역학(neuromechanics) 연구를 위한 연구모델로 사용되며, 무릎의 전방십자인대 손상원인을 규명하는 대표적인 연구 과제이다(Noyes et al., 2005; Ambegaonkar et al., 2011).

최근 국제 올림픽위원회(International Olympic Committee)의 여성 운동 선수의 비접촉성 전방십자인대 손상의 위험이 있는 선수를 선별하기 위해서 드롭 수직점프 유형의 과제를 사용해야한다고 권고하였는데(Padua et al., 2009), 이러한 권고를 토대로 본 연구에서 사용한 착지오류점수시스템은 국제 올림픽위원회에서 권장하는 드롭수직점프 과제와 매우 유사하다.

* 교신저자: jhchopro@hanmail.net

드롭수직점프 과제를 수행하면 얻을 수 있는 이점은 연구대상자가 배우고 수행하기가 쉽고(낮은 오류 수), 수행 할 공간이 거의 필요하지 않으며, 많은 연구대상자를 짧은 시간에 완료 할 수 있다는 것이다.

다리스프링경직은 착지할 때 가해지는 압축부하에 대한 다리의 저항을 의미하며, 동적인 안정성을 측정하는 변인이다(Hughes & Watkins, 2008; Ambegaonkar et al., 2011). 다리스프링경직 값이 낮으면 연조직(soft tissue)의 손상 위험이 증가한다(Butler et al., 2003; Demirbuken et al., 2009; Ambegaonkar et al., 2011). 무릎관절경직은 무릎에 가해지는 회전력과 무릎자세(각도)와의 비율을 의미하며, 점프 후 착지와 같은 전방십자인대 손상 위험을 증가시키는 동작을 수행할 때 무릎의 근육조각이 관절의 안정성에 많은 영향을 미치기 때문에 중요한 요인이다(Demirbuken et al., 2009; Ambegaonkar et al., 2011). 넓다리네갈래근(quadriceps), 뒤넓다리근(hamstrings), 장딴지근(gastrocnemius)의 조화로운 근수축은 무릎관절경직을 48-400%까지 증가시켜서 무릎 손상을 감소시킨다(Wojtys et al., 2002; Ambegaonkar et al., 2011). 결국, 무릎관절경직이 높다는 것은 근육을 효율적으로 사용하여 전방십자인대 손상을 감소시킬 수 있다는 의미이다. 따라서, 다리스프링경직과 무릎관절경직은 전방십자인대 손상과 관련된 중요한 변인이다.

착지오류점수시스템(Landing Error Scoring System, LESS)은 분석 시간과 경비를 줄이고, 현장에서 많은 수를 대상으로 전방십자인대 손상위험을 평가하기 위해서 개발되었다. 착지오류점수시스템은 관상면과 시상면에서 2대의 비디오 카메라로, 드롭수직점프 수행의 착지 시 지면과 초기 접촉할 때 몸통 위치, 최대 굽힘, 관절 유동성과 관절운동범위를 평가하는 것으로, 점프-착지의 역학(jump-landing biomechanics)적 분석을 통한 전방십자인대의 손상 위험 정도를 예측하는 평가 시스템이다(Cho et al., 2015). 이 시스템의 신뢰도(검사자간 ICC: 0.84, 검사자내 ICC: 0.91)와 타당도는 매우 높다(padua et al., 2009). 착지오류점수는 19점 척도에 기반을 두고 있으며, 우수한(excellent) 착지(≤ 4 점), 좋은(good) 착지(4 - 5점), 보통(moderate) 착지(5-6점), 잘못된(poor)착지(≥ 6 점)로 정의하여, 6점

이상의 LESS 점수는 잘못된 착지 기술을 나타내고, 반면, 4점 이하의 낮은 착지오류점수는 좋은 착지 기술을 나타낸다(Smith et al., 2012).

지금까지 실험실 상황에서 3차원 동작분석시스템을 사용하여 밝혀낸 무릎 손상과 관련된 수많은 선행연구에서 하지경직의 감소는 무릎의 전방십자인대 손상위험을 증가시키는 것이라고 보고되었다(Arendt et al., 1999; Noyes et al., 2005; Griffin et al., 2006; Padua et al., 2009). 한편, 3차원 동작분석의 단점인 분석 시간과 경비를 줄이고, 현장에서 많은 수를 대상으로 전방십자인대 손상위험을 평가하기 위해서 개발된 착지오류점수시스템은 아직까지 충분한 선행연구를 확보하지 못하였다(Hughes & Watkins, 2008; Demirbuken et al., 2009; Ambegaonkar et al., 2011). 본 연구를 통하여 3차원동작분석을 통한 하지경직 변인과 착지오류점수시스템을 통하여 산출한 착지오류점수의 관계를 규명하면, 착지오류점수시스템의 활용 근거를 높여줄 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구의 목적은 전방십자인대 손상 위험이 높은 여자 축구 선수들을 대상으로 드롭 버티칼 점프 동작 시 3차원 동작분석시스템을 통하여 산출된 하지경직(무릎관절경직과 다리스프링경직)과 임상적인 검사도구인 착지오류점수시스템을 사용하여 산출된 착지오류점수와의 상관관계를 규명하는 것이다.

연구 방법

연구대상

본 연구의 대상자는 여자 축구선수 10명(경력: 11.25 ± 1.16 , 나이: 23.00 ± 1.19 , 신장: 161.62 ± 7.03 , 체중: 53.21 ± 4.18 , 체지방률: 23.68 ± 3.77)이다. 실험 참여 대상자는 6개월 이내에 근골격계 손상 등으로 수술 또는 부상이력이 없으며, 본 실험에 참여하는데 있어 문제가 없는 대상자를 선정하였다. 실험 전 대상자들에게 본 연구의 목적, 방법, 및 실험에 따르는 위험성에 대하여 설명하고, 실험참가에 대한 동의를 얻었다.

실험장비

본 연구의 종속변인을 측정하기 위하여 활용된 실험도구는 3차원 동작분석을 위한 영상분석 시스템(Motion Analysis, USA), 지면반력 시스템(AMTI ORG-6, AMTI, USA), 착지오류점수 분석을 위한 고해상도 디지털 카메라 2대(HDR-CX560, Sony, JAPAN) 및 30cm 높이의 도약대이다.

실험절차

실험실에 도착한 연구대상자들은 실험참가 동의서를 작성한 후 준비운동을 수행하였다. 실험실에는 카메라 8대, 지면반력 측정 시스템 2대를 설치하였으며, 공간 좌표 설정을 위하여 캘리브레이션 막대(calibration wand)를 활용하여 분석 범위를 설정하였다. 그 다음 분석 대상 부위에 반사마커를 부착하였으며, 그 후 정적인 자세를 약 5초 간 촬영한 후 본 실험에 착수하였다. 인체의 운동학적 변인을 산출하기 위하여 반사 마커를 부착한 신체 부위는 좌우 어깨뼈봉우리(acromion), 좌우 위앞엉덩뼈가시(anterior superior iliac spine), 위뒤엉덩뼈가시(posterior superior iliac spine), 좌우 넓다리 중앙지점(mid thigh), 좌우 가쪽관절융기(lateral condyle), 좌우 정강이 중앙지점(mid shank), 좌우 가쪽관절융기(lateral epicondyle), 좌우 안쪽 복사(medial malleolus), 좌우 발꿈치(heel), 좌우 발가락(toe)이다.

여자축구선수 10명은 30cm 높이의 박스 위에서 양 발로 착지 후 수직 점프 동작을 3번씩 무작위로 수행하였다. 3번의 동작 중 가장 잘된 동작을 선별하여 분석하였다. 양발 지면 착지 후 수직 점프 과정은 30cm 높이의 박스 위에서 뛰어 내린 후, 바로 자신이 떨어 수 있는 최고 높이로 수직점프 하게하였다(Ambegaonkar et al., 2011). 착지 후 5초간 균형을 유지하는 성공적인 동작만을 기록하였다. 양 발 드롭 랜딩 후 수직점프 동작을 촬영하기 위해 좌우에 3대씩, 전후에 1대씩 총 8대의 동작분석용 적외선 카메라(Eagle Camera, Motion Analysis, USA)를 설치하였다. 각 카메라는 초당 120프레임으로 동작을 샘플링 하였다. 양 발 드롭

랜딩 지점에 지면반력기 2대를 박스에서 30cm 떨어진 지점에 설치한 후 초당 1200 Hz로 동작을 샘플링 하였다. 샘플링한 영상자료와 지면반력 자료에 대해서는 동조용 박스(NIUSB 6218, National Instruments, Hungary)를 활용하여 동조시켰다.

3차원 동작 분석

3차원 좌표의 산출

8대의 카메라에서 얻은 2차원 평면상의 데이터는 NLT (non-linear transformation) 방법에 의해서 3차원 공간상의 데이터로 변환하였다. 3차원 좌표 계산 시 유발되는 노이즈(noise)를 제거하기 위하여 버터워스 저역통과 디지털 필터(Butterworth low-pass digital filters)를 활용하였으며, 차단주파수를 9 Hz로 설정하였다(Ford et al., 2003). 양 발 랜딩 후 수직점프 과제 수행의 분석에는 우세발의 자료만 사용하였다. 우세발은 공을 패스했을 때 공을 치는 발로 정하였다.

관절 중심의 산출

엉덩 관절 중심은 Tylkowsky 방식(Tylkowsky et al., 1982)을 활용하여 계산하였다. Tylkowsky 방식은 좌우 위앞엉덩뼈가시와 위뒤엉덩뼈가시의 좌표값을 토대로 엉덩관절 중심을 산출하는 방식이다. 무릎과 발목 관절의 중심은 midpoint 방식을 사용하여 계산하였다. 무릎의 midpoint 방식은 무릎의 내측과 외측 위관절융기(epicondyle)의 중앙을 관절의 중심으로 정하는 방식이다. 발목의 midpoint 방식은 발목의 내측과 외측 복사뼈(malleolus)의 중앙을 관절의 중심으로 정하는 방식이다.

무릎 모멘트의 산출

지면반력 자료와 3차원영상분석 자료를 결합하여 역동력학 공식(inverse dynamics equation)을 사용하여 무릎 모멘트를 산출하였다(Winter, 1980; Lee & Lim, 2014). 무릎 모멘트의 산출식은 다음과 같다.

$$\sum \vec{F}_i = \vec{W}_7 + \vec{F}_g + \vec{F}_7 = m \vec{a}$$

$$\sum \vec{M}_i = Mgr + \vec{r}_2 \times \vec{F}_7 + \vec{M}_7 + \vec{r}_1 \times \vec{F}_g = I\vec{a}$$

하지경직 산출

순 시상면 무릎모멘트(net sagittal knee moments)는 드롭점프의 착지 시 최대 무릎 굽힘 각도 시점에서의 무릎관절모멘트 값에서 발이 지면에 착지하는 시점에서의 무릎관절모멘트 값을 뺀 값이다(ΔM; Nm). 무릎모멘트는 연구대상자들의 질량으로 나누어서 표준화하였다(Nm/kg). 시상면에서의 무릎 굽힘 각도는 드롭점프의 착지 시 최대 무릎굽힘 각도 시점에서의 무릎관절 각도 값에서 발이 지면에 착지하는 시점에서의 무릎관절 각도 값을 뺀 값이다(Δθ).

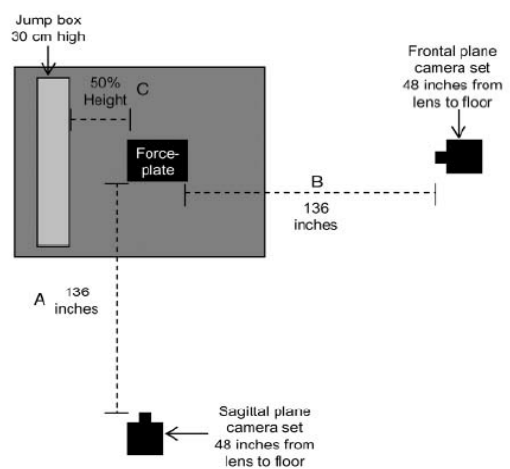
무릎관절경직은 발이 지면에 착지하는 시점부터 무릎이 최대로 굽힘되는 시점까지 순 무릎모멘트 값[양의 값은 순 무릎뽐(신전)모멘트를 의미]을 무릎굽힘 각도 값으로 나누어 산출하였다(ΔM/ Δθ; Nm/(kg · θ) (Schmitz & Shultz, 2010; Ambegaonkar et al., 2011).

다리스프링경직은 지면접촉 동안에 최대 수직지면 반력 값을 질량중심의 최대 수직변위 값으로 나누어 계산하였다(N/kg · m). 최대 수직변위 값은 착지 구간에서 발이 지면에 접촉하는 시점에서의 수직 질량중심 값을 몸이 최대로 낮은 시점에서의 수직 질량중심 값을 뺀 값이다(McMahon & Cheng, 1990; Ambegaonkar et al., 2011).

착지오류점수(LESS)

착지오류점수는 착지함과 동시에 즉각적으로 수직 점프하는 순간에 발생하는 자세의 오류를 항목별로 점수화하는 방법으로, 본 연구에는 Padua et al.(2009)에 의해 시행한 방법을 사용하였다. 실험 도구의 경우 정면과 측면을 기록하는 두 대의 고해상도 디지털 카메라와 30cm 높이의 점프대로 구성되어 있으며, 착지 위치에서 3.5m의 거리 지점에 대상자의 오른쪽 무릎관절 방향의 측면과 정면 1.2m의 높이 지점에 고해상도 디지털 카메라를 각각 설치한다. 대상자를 30cm의 점프대에 서게 한 후, 각 대상자 개개인의 신장 1/2지점

을 향해 뛰어 내려 지면에 닿는 즉시 가능한 수직방향으로 높이 다시 뛰어 오르도록 한다. 3회 연습 후, 실제 검사를 하고 고해상도 카메라에 그 영상을 기록한다. 이후 두 대의 카메라에 기록된 영상 중, 발이 지면에 닿기 시작하는 착지초기와 다시 수직으로 뛰어오르기 전 무릎관절의 최대 굽힘기에서 잘못된 착지동작(오류)을 찾아내 해당하는 점수를 기록한다. 측면 영상에서는 총 8가지 항목으로 최대 9점의 오류점수가 확인될 수 있으며, 정면의 영상에서는 총 8가지 항목으로 최대 8점의 오류점수가 확인될 수 있다. 마지막으로 정면과 측면의 영상을 종합적으로 판단하여 0~2점을 추가하며 최고 점수는 19점이다. 구체적인 장비의 구성은 <Figure 2>에서 보는 바와 같다.



<Figure 2> Composition of LESS

자료처리방법

본 연구에서 측정된 모든 자료는 SPSS 23.0 통계 프로그램을 이용하였다. 착지오류점수, 무릎관절경직 및 다리스프링경직에 대한 평균(Mean)과 표준편차(Standard Deviation)를 산출하였으며, 착지오류점수와 3차원 동작 분석을 통해 산출한 무릎관절경직과 다리스프링경직과의 상관관계를 알아보기 위하여 Pearson’s 적률상관계수를 이용하였다. 모든 결과의 통계적 유의수준은 α=.05로 설정하였다.

결과

착지오류점수, 무릎관절 경직, 다리스프링 경직의 평균과 표준편차 결과는 <Table 2>와 같이, 착지오류점수의 경우 5.30 ± 1.16 으로 나타났으며, 무릎관절 강직의 경우 0.0145 ± 0.0011 로 나타났으며, 다리스프링 경직의 경우 67.86 ± 26.86 으로 나타났다.

Table 2. Result of LESS score, Knee joint stiffness and Leg spring stiffness in female soccer player

Variables	Mean	SD
Landing Error Scoring System score	5.30	1.16
Knee joint stiffness	0.0145	0.0011
Leg spring stiffness	67.86	26.86

착지오류점수, 무릎관절경직, 다리스프링경직 간의 상관관은 <Table 3>과 같다. 착지오류점수와 무릎관절경직 간에는 음의 상관관계를 보였으며, 통계적으로도 유의한 차이가 나타났고($r = -0.412$, $p < .05$), 착지오류점수와 다리스프링경직 간에는 음의 높은 상관관계를 보였으며, 통계적으로도 유의한 차이가 나타났다($r = -0.614$, $p < .05$).

Table 3. Pearson Correlation Coefficient between LESS score, Knee joint stiffness and Leg spring stiffness, including Significance Level

Variables	Knee joint stiffness	Leg spring stiffness
Landing Error Scoring System score	-0.412*	-0.614*

* $p < .05$

논의

본 연구의 목적은 전방십자인대 손상 위험이 높은 여자 축구 선수들을 대상으로 드롭수직점프 동작 시 3차원 동작분석시스템을 통하여 산출된 하지경직(무릎관절경직과 다리스프링경직) 변인과 임상적인 검사도구인 착지오류점수시스템을 사용하여 산출된 착지오

류점수와의 상관관계를 규명하는 것이었다. 연구결과, 착지오류점수와 무릎관절경직 간에는 음의 상관관계를 보였으며, 착지오류점수와 다리스프링경직 간에는 음의 높은 상관관계를 보였다.

착지오류점수시스템은 비접촉성 전방십자인대 손상의 위험에 놓인 대상자를 식별하기 위한 임상적인 평가도구로 설계되었으며, 타당성과 신뢰성이 높은 임상 평가도구라고 밝혀졌다(Padua et al., 2009). 착지오류점수가 6점 이상인 전방십자인대 손상위험이 높은 피험자와 전방십자인대 손상위험이 낮은 4점 이하인 피험자 사이에서 시상면, 관상면 및 횡단면의 생체 역학 변인과 수직 지면-반력 변인에서 유의한 차이가 있었으며, 같은 활동을 수행하는 남성보다 여성들의 전방십자인대 손상위험이 높고, 착지오류점수도 나쁘게 나올 가능성이 높았다고 보고하였다(Padua et al., 2009). 본 연구에서는 전방십자인대 손상위험이 높은 여자 축구선수들을 대상으로 하였으며, 평균 5.3점의 착지오류점수로 나타난 것으로 보아 보통정도의 착지기술로 수행한 것으로 나타났다.

여자축구선수들($n=10$)을 대상으로 한 본 연구에서는 다리스프링경직은 평균 67.86 으로 나타났으며, 무릎관절경직은 평균 0.0145 로 나타났다. Padua et al. (2009)의 연구에서, 다리스프링경직은 여자무용수들은 평균 137.4 , 여자농구선수들은 평균 115.8 로 나타났고, 무릎관절경직은 여자무용수들($n=35$)은 평균 0.016 , 여자농구선수들($n=20$)은 평균 0.018 로 나타났다고 보고하였다. 본 연구의 여자축구선수들은 Padua et al. (2009)의 여자무용수 및 여자농구선수들에 비하여 다리스프링경직이 더 낮게 나타났는데, 이는 발목관절경직이 더 낮기 때문이며 전방십자인대 손상위험이 더 높다는 것을 의미한다(Hughes & Watkins, 2008). 여자무용수들은 발의 볼 또는 발가락으로 서는 훈련을 통해 발목관절경직이 높는데, 이는 발목을 조절하는 근육인 장딴지근(gastrocnemius)을 잘 활용하기 때문이다(Harley et al., 2002). 또한, 여자무용수들은 필라테스 운동 훈련을 통해 엉덩관절경직이 높는데, 이는 엉덩 근육을 잘 활용하게 되는 것인데(Wyon et al., 2007), 이러한 기전을 통해 여자무용수들은 여자축구 선수들에 비하여 전방십자인대 손상위험을 줄이는 전략이다(Padua et al., 2009). 한편, 본 연구의 여자축구

선수들은 Padua et al.(2009)의 여자무용수 및 여자농구선수들에 비하여 무릎관절경직은 비슷하게 나타났는데, 이는 무릎움직임에만 초점을 둔 무릎관절경직을 산출하는 영상분석 측정 및 분석 방식(본 연구: 3차원 적외선 트래킹 시스템, Padua 연구: 3차원 전자기 트래킹 시스템)의 차이 때문인 것으로 판단된다(Farley & Morgenroth, 1999; Ambegaonkar et al., 2011).

비접촉성 전방십자인대 손상에 대한 착지오류점수의 예측 능력의 근거를 확보하여 신뢰도를 높이기 위해서는 3차원영상분석을 통해 밝혀진 근신경생체역학적 전방십자인대 손상위험요인[예: 넵다리네갈래근과 뒤넵다리근의 활성화도, 무릎뎀모멘트, 엉덩 및 무릎굽힘 각도, 엉덩 및 무릎굽힘 최대각도가 나타나는 시점, 무릎 바깥굽힘(외반)각도 등] 뿐만 아니라, 해부학 및 호르몬적 전방십자인대 손상위험요인(예: 사춘기 이전 소녀와 사춘기이후 소녀의 비교, 호르몬에 따른 손상의 차이 등)에 대한 추가적인 후속연구가 광범위하게 수행되어야 할 것으로 판단된다. 그리고, 착지오류점수시스템에서 확인된 움직임 오류와 관련하여 손상 예방과 관련된 트레이닝 프로그램으로 올바른 운동 패턴의 중요성을 강조하여 구성한다면 효과적일 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 착지오류점수와 무릎관절경직 간에는 음의 상관관계 및 착지오류점수와 다리스프링경직 간에는 음의 높은 상관관계를 확인하였다. 이는 착지오류점수가 높아지면 무릎관절경직 및 다리스프링경직이 낮아진다는 의미(전방십자인대 손상위험이 증가)이며, 착지오류점수가 낮아지면 무릎관절경직 및 다리스프링경직은 높아진다는 의미(전방십자인대 손상위험이 감소)이다. 결론적으로 착지오류점수는 전방십자인대 손상위험요인인 하지경직과 유의한 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이러한 관점에서 볼 때, 스포츠현장에서 쉽게 활용할 수 있는 착지오류점수는 상대적으로 잠재적인 전방십자인대의 손상요인 확인과 더불어 선수들의 안전한 복귀시점을 제시하는데 유용한 자료가 될 것으로 생각한다.

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. A., Agel, J., & Dick, R. (1999). Anterior cruciate ligament injury patterns among collegiate men and women. *Journal of Athletic Training*, 34(2): 86-92.
- Baquie, P., & Brukner, P. (1997). Injuries presenting to an Australian sports medicine centre: A 12-month study. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 7(1): 28-31.
- Boden, B. P., Dean, G. S., Feagin, J. A., & Garrett, W. E. (2000). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*, 23(6): 573-578.
- Butler, R. J., Crowell, I. H. P., & Davis, I. M. (2003). Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 18: 511-517.
- Cho, J. H., An, K. O., Cho, E. O., & Lim, B. O. (2015). Analysis of Landing Error Scoring System during Drop Vertical Jump on Anterior Cruciate Ligament Injury Risk Factors in Female Ballet Dancers and Female Soccer Players. *The Korean Journal of Sports Medicine*, 33(2): 88-95.
- Demirboken, I., Yurdalan, S. U., Savelberg, H., & Meijer, K. (2009). Gender specific strategies in demanding hopping conditions. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8(2): 265-270.
- Farley, C. T., & Morgenroth, D. C. (1999). Leg stiffness primarily depends on ankle stiffness during human hopping. *Journal of Biomechanics*, 32: 267-273.
- 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.
- Griffin, L. Y., Albohm, M. J., & Arendt, E. A. (2006). Understanding and preventing non-contact anterior cruciate ligament injuries: a review of the Hunt Valley II meeting, *American Journal of Sports Medicine*, 34(9): 1512-1532.
- Harley, Y., St Clair Gibson, A., Harley, E., Lambert, M. I., Vaughan, C., & Noakes, T. D. (2002). Quadriceps strength and jumping efficiency in dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 6(3): 87-94.
- Hughes, G., & Watkins, J. (2008). Lower limb coordination and stiffness during landing from volleyball block jumps. *Research in Sports Medicine*, 16: 138-154.
- Lee, G. S. & Lim, B. O. (2014). Effects of landing tasks on the anterior cruciate ligament injury risk factors in female basketball players. *Korean Journal of Sports Biomechanics*, 24(4): 385-390.
- McLean, S. G., Huang, X., & van den Bogert, A. J. (2005). Association between lower extremity posture at contact and peak knee valgus moment during sidestepping: implications for ACL injury. *Clinical Biomechanics*, 20(8): 863-870.
- McMahon, T. A., & Cheng, G. C. (1990). The mechanics of running: how does stiffness couple with speed? *Journal of Biomechanics*, 23(suppl 1): 65-78.
- Mihata, LCS., Beutler, A. I., & Boden, B. P. (2006). Comparing the incidence of anterior cruciate ligament injury in collegiate lacrosse, soccer, and basketball players: implications for anterior cruciate ligament mechanism and prevention. *American Journal of Sports Medicine*, 34: 899-904.
- Noyes, F. R., Barber-Westin, S. D., Fleckenstein, C., Walsh, C., & West, J. (2005). The dropjump 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.
- Padua, D. A., Marshall, S. W., Boling, M. C., Thigpen, C. A., Garrett, W. E., & Beutler, A. I. (2009). The Landing Error Scoring System(LESS) Is a Valid and Reliable Clinical Assessment Tool of Jump-Landing Biomechanics: The JUMP-ACL Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 37(10): 1996-2002.
- Schmitz, R. J., & Shultz, S. J. (2010). Contribution of knee flexor/extensor strength to sex-specific energy absorption and torsional joint stiffness patterns during drop jumping. *Journal of Athletic Training*, 45(5): 445-452.
- Smith, H. C., Johnson, R. J., Shultz, S. J., Tourville, T., Holterman, L. A., Slauterbeck, J., Vacek, P. M., & Beynnon, B. D. (2012). A Prospective Evaluation of the Landing Error Scoring System(LESS) as a Screening Tool for Anterior Cruciate Ligament Injury Risk. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(3): 521-526.
- 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.
- Winter, D. A. (1980). Overall principle of lower limb support during stance phase of gait. *Journal of Biomechanics*, 13(11): 923-927.
- Wojtys, E. M., Ashton-Miller, J. A., & Huston, L. (2002). A gender-related difference in the contribution of the knee musculature to sagittal-plane shear stiffness in subjects with similar knee laxity. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 84: 10-16.
- Wyon, M. A., Deighan, M. A., Nevill, A. M., Doherty, M., Morrison, S. L., Allen, N., Jobson, S. J., & George, S. (2007). The cardiorespiratory, anthropometric, and performance characteristics of an international /national touring ballet company. *Journal of strength and conditioning research*, 21(2): 389-393.

논문투고일 : 2017. 08. 16

1차 수정일 : 2017. 10. 16

게재확정일 : 2017. 10. 19

