



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

김 종 덕 교수지도

박사학위 청구논문

여성의 성장과 드롭랜딩 시 완충동작의  
변화 양상에 관한 연구

2011

성신여자대학교 대학원

체육학과

김 현 주

여성의 성장과 드롭랜딩 시 완충동작의  
변화 양상에 관한 연구

김 종 덕 교수지도

이 논문을 박사학위논문으로 제출함

2010년 11월

성신여자대학교 대학원

체육학과

김 현 주

# 인 준 서

김현주의 박사학위 논문으로 인준함.

심사위원 신 인 식 (印)

심사위원 김 현 경 (印)

심사위원 최 승 욱 (印)

심사위원 양 윤 권 (印)

심사위원 김 종 덕 (印)

성신여자대학교 대학원

## 논문개요

본 연구의 목적은 사춘기 전·중·후의 여성들을 대상으로 드롭 랜딩 동작 시 완충동작의 변화 양상을 규명하는 것이다. 본 연구에 참가한 연구 대상자는 사춘기 전(7~10세), 사춘기 중(13~16세), 사춘기 후(21~24세) 여성 각 15명씩 총 45명이다. 사춘기의 구분은 성장발달 기준에 의해 초조(初潮) 이전을 사춘기 전, 초조(初潮)와 2차 성징이 나타난 시기를 사춘기 중, 심신 양면으로 성숙기에 접어든 청년기를 사춘기 후로 분류하였다. 드롭 랜딩 동작은 분석대상자를 무릎 높이의 박스 위에서 양 발을 편안하게 벌린 상태로 지면 반력기 위에 한 대에 한 발씩 뛰어 내리도록 하였다. 드롭 랜딩 시 넘어지거나 균형을 잃거나 손이 지면에 닿지 않은 등 성공적인 3회의 시기를 기록하였다. 영상으로 촬영된 자료 및 지면반력의 분석은 Kwon3d XP 운동 동작 분석 프로그램을, 통계처리는 윈도우용 SPSS 14.0 분석 프로그램을 활용하였다. 본 연구의 통계처리는 성숙(3수준, 사춘기 전·중·후)을 독립변인으로 하는 일원 변량 분석을 실시하였다. 가설 검증을 위한 유의 수준은  $\alpha = .05$ 로 설정하였으며, 사후검증은 Tukey 방법을 사용하였다. 연구 결과, 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 하지(下肢)의 굴곡 각도가 더 작게 나타났으며, 외전 각도와 내측회전 각도는 더 크게 나타났다. 또한, 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 초기피크, 최대피크, 충격량 및 부하율이 더 크게 나타났다. 이는 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 동작을 수행할 때 무릎의 전방십자인대에 부하가 더 많이 가해지는 자세로 착지하기 때문에 비접촉성 전방십자인대 부상 위험에 더 노출되어 있다는 것을 의미한다.

# 목 차

## 논문개요

<b>I. 서론</b> .....	<b>1</b>
1. 연구의 필요성 .....	1
2. 연구의 목적 .....	3
3. 연구의 가설 .....	4
4. 용어 정의 .....	5
<b>II. 이론적 배경</b> .....	<b>8</b>
1. 하지 부상과 관련된 남자와 여자의 차이 .....	8
2. 하지 부상 발생 비율과 관련된 연구 .....	9
3. 하지 부상의 해부학적 원인 .....	9
4. 하지 부상의 호르몬적 원인 .....	14
5. 하지 부상의 근신경적 원인 .....	17
6. 하지 부상의 생체역학적 원인 .....	24
7. 점프 후 착지 동안 하지와 관련된 연구 .....	32
<b>III. 연구 방법</b> .....	<b>34</b>
1. 연구대상 .....	34
2. 실험 도구 .....	34
3. 실험절차 .....	36
4. 자료분석 .....	39
5. 통계 분석 .....	45

IV. 연구 결과 .....	46
1. 대퇴 분절의 굴곡, 외전 및 내측회전 각도 .....	46
2. 하퇴 분절의 굴곡, 외전 및 외측회전 각도 .....	48
3. 발 분절의 배측굴곡, 외전 및 내번 각도 .....	51
4. 지면반력의 초기피크, 최대피크, 충격량, 부하율 .....	53
V. 논의 .....	57
VI. 결론 .....	62

참고문헌

ABSTRACT

## 표 목 차

표 1. 실험 도구 .....	34
표 2. 대퇴 분절의 굴곡, 외전 및 내측회전 각도 .....	46
표 3. 하퇴 분절의 굴곡, 외전 및 외측회전 각도 .....	49
표 4. 발 분절의 배측굴곡, 외전 및 내번 각도 .....	51
표 5. 사춘기 전·중·후 여성들을 대상으로 드롭 랜딩 동작 시 지면반력 변인의 비교 .....	54

## 그림 목 차

그림 1. 실험도구의 배치도 .....	35
그림 2. 실험 절차 .....	37
그림 3. 마커의 부착 위치 .....	38
그림 4. 드롭 랜딩 동작 .....	39
그림 5. 자료 획득 및 처리 절차 .....	40
그림 6. 골반과 대퇴에서 정의된 인체좌표계 .....	41
그림 7. 엉덩 관절 중심의 계산 .....	42
그림 8. x축-y축-z축 회전 .....	43
그림 9. 지면반력의 초기피크, 최대피크, 충격량 .....	45
그림 10. 사춘기 전·중·후 여성들의 대퇴 굴곡 각도의 비교 .....	48
그림 10. 사춘기 전·중·후 여성들의 대퇴굴곡 각도의 비교 .....	47
그림 11. 사춘기 전·중·후 여성들의 대퇴외전 각도의 비교 .....	47
그림 12. 사춘기 전·중·후 여성들의 대퇴내측회전 각도의 비교 .....	48
그림 13. 사춘기 전·중·후 여성들의 하퇴굴곡 각도의 비교 .....	49
그림 14. 사춘기 전·중·후 여성들의 하퇴외전 각도의 비교 .....	50
그림 15. 사춘기 전·중·후 여성들의 하퇴외측회전 각도의 비교 .....	50
그림 16. 사춘기 전·중·후 여성들의 발 배측굴곡 각도의 비교 .....	52
그림 17. 사춘기 전·중·후 여성들의 발 외전 각도의 비교 .....	52
그림 18. 사춘기 전·중·후 여성들의 발 내번 각도의 비교 .....	53
그림 19. 사춘기 전·중·후 여성들의 지면반력 초기피크 값의 비교 .....	54
그림 20. 사춘기 전·중·후 여성들의 지면반력 최대피크 값의 비교 .....	55
그림 21. 사춘기 전·중·후 여성들의 지면반력 충격량의 비교 .....	55
그림 22. 사춘기 전·중·후 여성들의 지면반력 부하율의 비교 .....	56

# I. 서론

## 1. 연구의 필요성

여자 선수들의 신체 중에서 가장 흔하게 부상을 입는 부위는 하지이며(김현주, 김종덕, 김미영, 2010; 한기훈과 임비오, 2009; Ford, Myer & Hewett, 2003), 여자 선수들의 하지 부상은 전체 부상의 50%를 차지할 정도이다(Meeuwisse, Sellmer & Hagel, 2003). 여자 선수들은 남자 선수들보다 하지의 부상 발생률이 3~9배나 높다(김현주 외, 2010; 한기훈과 임비오, 2009; Arendt & Dick, 1995). 여자 선수들의 하지 부상은 최근 30년 동안 대학 선수들은 500%(NCAA, 2002), 고등학교 선수들은 900% 이상 증가하였다(NFHS, 2002).

여자 선수들의 하지 부위의 수술 비율은 70%이며, 이는 남자 선수들에 비하여 5배나 더 높은 수치이다(김현주 외, 2010; 임비오와 박용현, 2007; 임비오 등, 2008; 한기훈과 임비오, 2007; Chandy & Grana, 1985). 수술비용 또한 막대하게 들어, 하지 부위의 수술과 재활에 드는 비용만도 연간 2조원에 이른다(Hewett, Myer & Ford, 2006). 이 밖에 수술 경비 외에 경기에 참가하지 못해서 받게 되는 심리적인 손실, 장학금 혜택이 줄어들어서 받게 되는 금전적인 손실, 그리고 학교생활과 일상생활에 있어서 의욕이 저하되어 받게 되는 인력적인 손실도 매우 크다(Freedman Glasgow, Glasgow & Bernstein, 1998; Ruiz, Kelly & Nutton, 2002). 아울러 이에 대한 수술 후유증으로 골관절염 진단을 받을 위험이 105배 증가한다(Deacon, Bennell, Kiss, Crossley & Brukner, 1997). 이와 같이, 하지 부상의 치료비용과 후유증의 문제로 말미암아 최근에는 부상의 치료와 재활의 관점에서 사전에 부상을 방지하는 부상 원인 분석과 예방의 관점으로 그 연구중심이 이동하고

있다(김현주 외, 2010; 임비오와 박용현, 2007; 임비오 등, 2008; 한기훈과 임비오, 2007; Hewett et al., 1999; Myklebust, Engebretsen, Braekken, Skjølberg, Olsen & Bahr, 2003).

점프 후 잘못된 착지 동작은 발과 지면의 접촉 시 발생하는 충격을 적절히 흡수하지 못해 인체의 근골격계에 과도한 스트레스를 유발시켜 부상을 일으킬 수 있다고 하였다(임비오 등, 2008; Ford et al., 2003). 또한, 잘못된 착지 동작은 하지관절에 작용하는 부하를 변화시키며 이러한 부하에 의해 하지 근골격계의 부상이 유발될 수 있다고 하였다(임비오 등, 2008; 채원식, 2006). 이와 같은 선행연구들에 의하면, 스포츠 현장에서 많이 일어나는 점프 후 착지 동작 시 하지관절에 작용하는 부하는 내·외력의 형태에 직접적 영향을 미칠 것으로 판단된다.

여러 학자들에 의해 하지 부상과 관련된 남·여 간의 차이 역시 연구되었다. 그 결과 여자 선수들은 남자 선수들에 비하여 호르몬 요인, 신체 구조적 요인, 근 신경-생체 역학적 요인의 차이로 인하여 하지의 부상 비율이 3~9 배 더 높은 것으로 밝혀졌다(Lephart, Ferris, Riemann, Myers & Fu, 2002; Yack, Chandran, Rao & Wilken, 2003; Hewett et al., 1999). 성의 차이에 따른 하지 부상과 관련된 선행연구에서 Malinzak, Colby, Kirkendall, Yu & Garret(2001)에 의하면, 부상의 위험이 높은 운동과제를 수행하는 동안 대학 여자 선수들은 남자 선수들과 비교해서 무릎의 굴곡은 더 작고, 외전(abduction) 각도는 더 크게 나타났다고 보고하였다. Chappell, Yu, Kirkendall & Garrett(2002)은 정지-점프 과제를 수행하는 동안 무릎 운동학에서 성의 차이를 밝혔으며, 여자 선수들은 남자선수들에 비하여 경골의 최대 전단력과 신전모멘트가 더 크게 나타났다고 보고하였다. Yu, Herman, Preston, Lu, Kirkendall & Garrett(2004)은 정지-점프 과제를 수행하는 동안 여자 축구 선수들은 남자 선수들에 비하여 지면에 착지하는 순간에 무릎과 엉덩이의 굴곡 각도가 더 작게 나타났다고 보고하였다. Boden, Dean,

Feagin & Garrett(2000)은 경쟁적인 스포츠 경기 중에 경골이 외측으로 회전되고, 무릎이 거의 최대로 신전되고, 발 전체가 지면에 착지하고, 감속에 이은 외반붕괴(valgus collapse)로 하지 부상이 발생된다고 보고하였다.

위의 선행연구들 중에 Malinzak et al.(2001)과 Chappell et al.(2002)의 연구는 여자 대학생만을 대상으로 하였는데, 후속 연구에서 다양한 연령대 별로 하지 부상을 유발하는 위험 요인을 밝혀야 한다고 제언하였다. Ahmad, Clark, Heilmann, Scott, Gardner & William(2006)은 10~18세 사이의 53명의 여자들을 대상으로 한 연구에서 초경 이후에 슬와근(popliteus muscle)의 근력에 비해 대퇴사두근(quadriceps)의 근력이 더 증가하였다고 하면서, 초경 이후에 슬와근의 근력을 더 증가시켜야 한다고 보고하였다. Buehler-Yund(1999)은 여자선수들의 신체질량지수가 증가하는 나이가 12세이며, 이때 하지의 부상 비율이 증가한다고 하였다. 나이와 신체질량지수의 증가는 사춘기 시기의 발달과 관련이 있고, 이는 여자선수들의 하지 부상 위험의 증가에 중요한 역할을 한다고 하였다. 그러나 이 연구 또한 5세에서 12세까지의 여자선수들로 국한되었다.

이상의 선행연구 결과와 제안 점에 비추어 볼 때, 다양한 연령대 별로 드롭 랜딩 동작 시 완충동작의 변화 양상의 차이를 밝히는 것은 매우 필요한 실정이다. 따라서 본 연구자는 사춘기 전·중·후의 여성들을 대상으로, 하지의 부상을 일으키는 위험 동작인 드롭 랜딩 동작을 수행 할 때 나타나는 완충동작의 변화 양상에 관한 보다 세밀한 후속 연구가 필요하다고 판단하여 본 연구를 수행하고자 한다.

## 2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 사춘기 전·중·후의 여성들을 대상으로 드롭 랜딩 동작 시 완충동작의 변화 양상을 규명하는 것이다.

### 3. 연구의 가설

본 연구에서 설정한 가설은 다음과 같다.

#### 1) 굴곡각도

- (1) 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 발 (foot)의 굴곡(flexion) 각도가 더 작게 나타날 것이다.
- (2) 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 하퇴(shank)의 굴곡(flexion) 각도가 더 작게 나타날 것이다.
- (3) 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 대퇴(thigh)의 굴곡(flexion) 각도가 더 작게 나타날 것이다.

#### 2) 외전각도

- (1) 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 발의 외전(abduction) 각도가 더 크게 나타날 것이다.
- (2) 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 하퇴의 외전(abduction) 각도가 더 크게 나타날 것이다.
- (3) 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 대퇴의 외전(abduction) 각도가 더 크게 나타날 것이다.

- 3) 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 발의 내번 각도가 더 크게 나타날 것이다.

- 4) 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 하퇴의 외측회전(external rotation) 각도가 더 크게 나타날 것이다.

- 5) 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 대퇴의 내측회전(internal rotation) 각도가 더 크게 나타날 것이다.
- 6) 사춘기 중과 후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 지면반력의 초기피크(initial peak) 값이 더 크게 나타날 것이다.
- 7) 사춘기 중과 후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 지면반력의 최대피크(maximal peak) 값이 더 크게 나타날 것이다.
- 8) 사춘기 중과 후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 충격량(impulse)이 더 크게 나타날 것이다.
- 9) 사춘기 중과 후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 부하율/loading rate)이 더 크게 나타날 것이다.

#### 4. 용어 정의

본 연구에 사용된 용어의 정의는 다음과 같다.

##### 1) 사춘기(period of puberty)

신체의 성장에 따라 성적 기능이 활발해지고, 2차 성징(性徵)이 나타나며 생식기능이 완성되기 시작하는 시기이다. 남자는 정액의 생산, 여자는 초조(初潮)를 징표로 볼 수 있다. 시기는 개인차가 있으나, 대개 12~16세 사이에 나타난다. 이 시기에 2차 성징이 나타나 남성다운 체격이나 여성다운 체형을 갖추기 시작한다. 남자는 변성(變聲)과 함께 가슴이 두꺼워지면서 어깨

도 넓어지고, 여자의 경우는 골반이 넓어지면서 유방도 발육하고 자태도 풍만해지기 시작한다.

## 2) 발, 하퇴 및 대퇴의 굴곡 각도

발, 하퇴, 대퇴의 굴곡 각도는 관절좌표계의 방향각(orientation angle)을 통해서 계산하였다. 관절좌표계의 방향각을 계산하기 위해서 각 분절의 무게중심에 인체좌표계(지역좌표계)를 설정하였다. 골반좌표계는 전역좌표계(global reference frame), 대퇴좌표계는 골반좌표계, 하퇴좌표계는 대퇴좌표계와의 상대적인 운동으로 정의하였다. 인체 좌표계의 x축, y축, z축은 각각 좌우축, 전후축, 수직축을 의미하며, 3가지의 연속적인 회전은 각각 굴곡-신전, 내전-외전, 내측-외측 회전을 의미한다. 발의 굴곡 각도는 하퇴에 대한 발의 x축 회전, 하퇴의 굴곡 각도는 대퇴에 대한 하퇴의 x축 회전, 대퇴의 굴곡 각도는 골반에 대한 대퇴의 x축 회전을 의미한다.

## 3) 발, 하퇴 및 대퇴의 외전 각도

발의 외전 각도는 하퇴에 대한 발의 y축 회전, 하퇴의 외전 각도는 대퇴에 대한 하퇴의 y축 회전, 대퇴의 외전 각도는 골반에 대한 대퇴의 y축 회전을 의미한다.

## 4) 하퇴의 외측회전 각도 및 대퇴의 내측회전 각도

하퇴의 외측회전 각도는 대퇴에 대한 하퇴의 z축 회전, 대퇴의 내측회전 각도는 골반에 대한 대퇴의 z축 회전을 의미한다.

## 5) 지면반력의 초기피크

지면반력의 초기피크는 지면반력기 위에 착지한 후 나타나는 수직 지면반력의 첫 번째 피크 값을 의미한다.

#### 6) 지면반력의 최대피크

지면반력의 최대피크는 지면반력기 위에 착지한 후 나타나는 수직 지면반력의 최대 피크 값을 의미한다.

#### 7) 충격량(impulse)

충격량은 신체나 물체가 충돌했을 때 발생하는 충격의 양이다. 본 연구에서는 지면반력 측정기로 측정된 값인 신체가 지면에 가한 수직(Z축) 방향의 힘을 시간에 대해 적분시킨 총 면적을 말한다. 분석(적분)구간은 지면반력기 위에 착지한 순간부터 무릎이 최대로 굴곡되는 시점까지이다.

#### 8) 부하율/loading rate)

부하율은 수직 지면반력과 시간의 함수로서, 임팩트 시 발생하는 힘의 발현을 반영한다. 분석구간은 지면반력기 위에 착지한 순간부터 무릎이 최대로 굴곡되는 시점까지이다.

#### 9) 방향각(orientation angle)

방향각은 이웃하는 두 분절의 지역좌표계간의 연속적인 회전, 즉 x축-y축-z축으로의 회전각을 말한다.

## II. 이론적 배경

본 연구는 사춘기 전·중·후의 여성들을 대상으로 드롭 랜딩 동작 시, 완충 동작의 변화 양상을 규명하는 것이다. 본 연구의 목적을 달성하기 위한 이론적 배경은 다음과 같다.

### 1. 하지 부상과 관련된 남자와 여자의 차이

대학 여자 선수들의 하지 부상 발생 요인은 근신경 동원 능력 감소와 다리 근력 불균형이다(Huston & Wojtys, 1996). 생체역학적 관점에서 사춘기 이전에는 여자와 남자의 성장 및 발달 과정은 비슷하다. 그러나 사춘기 이후에는 여자들이 남자들보다 협응력과 균형 능력이 더 떨어진다고 보고하였다(Beunen & Malina, 1988). 남자들은 성장하면서 파워, 근력, 협응력이 증가한 반면에, 여자들은 증가하지 않아서(Beunen & Malina, 1988), 여자들의 하지 부상 발생 비율이 남자보다 더 높게 나타났다(Adirim & Cheng, 2003).

사춘기 여자들에 있어서, 신장 또는 체중과 근신경 운동수행력 사이에 상관관계는 나타나지 않았다. 남자는 사춘기 동안 수직점프 높이(신체 파워 능력)가 점진적으로 증가하였지만, 여자들은 증가하지 않았다(Kellis, Tsitskaris, Nikopoulou & Moiusikou, 1999). 왜냐하면, 여자들의 근골격계는 성장한 반면에 근신경 적응 능력은 발달하지 않았기 때문이다(Hewett, Paterno & Myer, 2002). 결국, 여자들은 근신경의 불균형으로 인해서 무릎 관절의 근신경 조절 능력이 감소한 것이며(Hewett, Myer & Ford, 2004), 이 때문에 여자들의 하지 부상 발생 비율이 남자보다 더 높게 나타난 것이다(Adirim & Cheng, 2003).

## 2. 하지 부상 발생 비율과 관련된 연구

미국대학 선수협회(NCAA)는 1982년부터 스포츠와 관련된 부상을 집계하고 있는데, 여자 선수들은 농구와 축구와 같은 점프와 급격한 방향전환을 포함하는 스포츠에서, 하지 부상 발생률이 남자 선수들보다 4~6배 정도 더 높은 것으로 보고하였다(Arendt & Dick, 1995).

젊은 선수들과 비교해서, 사춘기 전 어린 선수들에게 발생하는 하지 부상 발생 비율은 낮다(Buehler-Yund, 1999; Andrish, 2001). 6~12세의 아동들에게 발생하는 하지 부상의 63%는 접질림인데(Gallagher, Finison, Guyer & Goodenough, 1984), 하지 부상 비율과 비슷하게 나타났다(Buehler-Yund, 1999; Andrish, 2001). 비록 사춘기 전 남자와 여자의 하지 부상 발생 비율은 비슷하지만, 여자들은 성장하면서 더 높게 나타났다(Tursz & Crost, 1986).

## 3. 하지 부상의 해부학적 원인

### 1) 인체측정학적 차이점

경골의 길이, 대퇴의 길이 및 높이와 같은 해부학 또는 인체측정학적 요인과 하지 부상 위험요인과의 관계에 대해서도 보고되었다(Uhorchak et al., 2003). Beynnon, Slauterbeck & Padua(2001)은 대퇴 길이가 증가하였을 때 여성 스키어들의 부상 위험도 증가함을 지적했다. 하지 뼈의 길이가 증가하면 하지 부상 위험도 증가하였는데, 이는 움직이는 상황에서 발생하는 부상 원인과는 관련이 없다(Myer, Ford & Hewett, 2005). 신체의 해부학적 요인은 근본적으로 변경시키기가 어려우므로 부상 원인을 규명하기 위한 연구적인 관심이 상대적으로 적다.

## 2) 큐 각도와 골반의 넓이 증가

또 다른 신체 해부학적 관심은 큐 각도(Q Angle)이다(Zelisko, Noble & Porter, 1982). 여성은 상대적으로 골반이 넓고 형태도 남성과 다른데, 이는 큐 각도를 증가시키고, 부상 비율을 증가시켰다. 반대로, 부상 비율의 차이는 큐 각도와 같은 해부학적 차이와는 관련이 없었다. 정지된 상태에서 큐 각도를 측정하였으므로, 움직이는 상황에서의 무릎 외전 자세나 하지의 부상 위험과는 연관이 없다고 보고하였다. 따라서 동적인 상황에서의 근-신경 요인 및 착지나 방향전환 시의 하지의 정렬에 대한 설명이 추가되어야 한다(Gray et al., 1985; Myer et al., 2005).

## 3) 대퇴 패임 넓이의 감소

하지 부상을 일으키는 또 다른 신체 해부학적 가설은 여자 선수들은 남자 선수들에 비해 대퇴 패임 넓이(femoral notch width)가 더 작아서 상대적으로 하지 사이즈가 더 작다는 것이다. Emerson(1992)은 좁은 용기사이 패임(intercondylar notch)이 여성의 하지 부상을 일으킨다는 가설을 세웠다. 이는 패임이 작으면 하지도 더 작고 약하기 때문이다. 하지는 패임의 내부에 위치하고, 그리고 좁은 패임은 높은 긴장 하에서 하지를 더 들어올린다. Uhorchak 등(2003)은 용기사이의 패임(<13mm)이 작은 여성들은 패임 넓이가 큰 여성보다 부상 위험이 16.8배나 더 증가하였다고 보고하였다. Shelbourne, Davis, Klootwyk(1998)은 패임이 작으면 하지의 크기도 작는데, 이는 남성보다 여성의 경우가 더 많기 때문에 성별은 요인이 아니라고 하였다. 뼈의 너비로 패임 넓이를 표준화하였더니 남·여 선수들 사이에 차이가 나타나지 않았고, 패임 넓이와 부상과의 연관성도 없었다고 보고하였다(Arendt & Dick, 1995; Hewett et al., 1996; Hutchinson & Ireland, 1995).

#### 4) 관절 이완의 증가

여자 선수들의 관절 이완(laxity)은 남자 선수들에 비해서 상대적으로 증가되어 있다. (Boden, Dean, Feagin & Garrett, 2000; Soderman, Alfredson, Pietila & Werner, 2001). Boden 등(2000)은 하지 부상 환자들이 엉덩 굴곡의 10°와 90°에서 무릎이 뒤쪽으로 더 구부러져 있어서 바닥에 손바닥이 더 쉽게 닿는다고 보고하였다. 관절 이완과 과신전은 여자 축구선수들의 부상 위험을 유의미하게 증가시킨다(Soderman et al., 2001). Uhorchak 등(2003)은 관절 이완이 큰 여성들은 관절 이완이 없는 여성보다 상대적으로 하지 부상 위험이 2.7배 더 높다고 보고하였다. 관절 이완은 시상면에서의 무릎의 운동(과신전) 뿐만 아니라 관상면에서의 무릎의 운동(내전)에 영향을 미치는 데, 이는 하지에 부하를 더 가하게 되어 부상을 증가시키는 요인이 된다 (Boden et al., 2000; Uhorchak et al., 2003).

#### 5) 뒤넙다리근(햄스트링근)의 유연성 증가

Boden 등(2000)은 하지 부상을 입은 환자들의 뒤넙다리근은 정상인들보다 더 이완되어있다고 보고하였다. 여자와 남자의 유연성은 사춘기 이후에 다르게 나타난다. 소년들의 유연성은 성숙해지면서 감소되지만, 소녀들은 사춘기 이후에 오히려 증가한다. 예를 들어, 소년들의 시트 앤 리치 테스트 (sit-and-reach test, 척추, 엉덩, 대퇴의 유연성의 측정) 점수는 점진적으로 감소하지만, 소녀들의 점수는 증가하였다. 신장과 체중이 두드러지게 증가하는 사춘기 이후에 소년들의 유연성은 유의미하게 감소하지만, 소녀들은 감소하지 않았다(Beunen & Malina, 1992).

무릎의 동적인 조절 능력의 감소가 여자 선수들의 뒤넙다리근의 유연성을 증가시킨 요인이다(Hewett, Stroupe, Nance & Noyes, 1996; Huston & Wojtys, 1996). 사춘기 이후에 무릎부상 비율에서 남·여 간에 차이가 나타나는 이유는 일정부분 유연성, 특히 뒤넙다리근의 유연성 차이 때문이다. 그

러나 이와 관련한 후속연구가 더 필요하다. 뒤넙다리근의 약화는 넙다리네갈래근(대퇴사두근)의 활성을 지연시키는데, 이는 발이 지면에 접촉하는 초기에 넙다리네갈래근과 뒤넙다리근 근육 군의 공동수축(co-contraction) 작용이 나타나지 않은 결과이다(Ford, 1997). 비록 뒤넙다리근의 유연성의 증가가 하지의 부상 비율을 증가시키는 유일한 원인은 아니더라도, 하지 부상 위험을 증가시키는 중요한 요인으로 지적할 수 있다.

#### **6) 전방으로 경골의 이동 증가**

하지는 대퇴에 대해서 경골의 이동을 제한한다(Markolf, Graff-Redford & Amstutz, 1978). Uhorchak 등(2003)은 무릎의 전·후방으로 이완이 증가된 여성들은 하지 부상 위험이 2.7배나 더 크다고 지적했다. 또한, 전·후방 이완의 증가를 평균의 1 표준편차(1 SD) 이상이라고 정의하였다. Rosene과 Fogarty(1999)는 여자 선수들은 남자 선수들에 비해 평균적으로 전방으로의 경골 이동이 더 크다고 보고하였다. 여성들의 정상적인 인대 이완은 근육이 움직임 조절하기 이전에 경골을 전방으로 이동시킨다. 경골 이동의 증가는 스포츠 상황에서의 적응 현상이다(Rosene & Fogarty, 1999). 경골 이동은 인대 이완뿐만 아니라 근육 활동과도 연관이 있다. 경골 이동은 뒤넙다리근과 넙다리네갈래근의 활성화에 의해 이루어진다(Solomonow et al., 1987). 급격한 감속 및 감속 움직임을 포함하고 있는 착지와 피벗 스포츠는 경골을 전방으로 밀고 당겨서 하지에 큰 부하를 받게 한다.

#### **7) 발의 회내와 주상골 하강의 증가**

여성들은 발관절의 인대 이완이 크다. 여성들에게 있어서 이렇게 증가된 인대 이완은 주상골 하강(navicular drop)을 증가시키는 원인이 되며, 주상골 하강은 하지를 정렬시키고 경골을 이동시키는 역할을 한다(Trimble, Bishop, Buckley, Fields & Rozea, 2002). Trimble 등(2002)은 주상골 하강

은 경골 이동의 중요한 자세 지표이며, 거골화 관절의 회내(subtalar joint pronation)를 증가시키고 경골의 전방 이동을 증가시킨다. 그러므로 주상골 하강의 증가는 경골을 앞쪽으로 더 이동시키며, 하지에 부하를 증가시킨다 (Trimble et al., 2002). Loudon, Jenkins, Loudon(1996)은 비접촉성 하지 부상과 거골화 관절의 과회내(overpronation)와 관련이 있다고 결론 내렸다. 그러나 주상골 하강과 거골화 관절의 과회내가 무릎 운동과 토크에 미치는 영향에 대한 자료는 불충분하다. 하지 부상 위험과 발의 회내 작용과의 관련성에 대한 더 많은 후속연구가 필요한 실정이다.

#### 8) 신체질량지수와 나이의 영향

Uhorchak 등(2003)은 신장, 체중, 그리고 신체질량지수(body mass index, BMI)는 여성 육군신병 모집 시 고려하는 중요한 하지 부상 위험의 지표라고 하였다. 연구자들은 체중 또는 신체질량지수가 평균보다 1표준편차 이상인 여성 지원자들은 체중 또는 신체질량지수가 낮은 여성지원자들보다 각각 3.2배와 3.5배 하지 부상 위험이 더 크다고 보고하였다. 신장과 체중은 청소년기 소녀들에 있어서 무릎부상 위험의 잠재적인 예측 요인이다(Buehler-Yund, 1999). 사춘기 이전인 5살에서 12살 나이의 청소년 축구팀에 있는 아이들을 대상으로 한 연구를 살펴보면 무릎 부상 위험에 있어서 성의 차이는 나타나지 않았다. 그러나 11살 이상의 소녀들에게서는 신장과 체중이 무릎 부상의 중요한 위험요인으로 작용하였다. 8세 이상의 여자 선수들에게 신체질량지수는 무릎 부상을 증가시키는 위험요인이다. 이러한 데이터는 여자선수들에 있어서 무릎 부상 비율이 증가하기 시작할 때가 약 12세 라는 것을 나타낸다. 결과적으로 이때가 신체질량지수가 증가되는 시기이다 (Buehler-Yund, 1999). 그러므로 나이와 신체질량지수의 증가는 사춘기 시기의 발달과 관련이 있고 여자 선수들에게 있어서 하지 부상 위험의 증가에 중요한 원인역할을 한다.

#### 9) 사춘기 성장기 동안의 근신경 생체역학적 변화

성인 선수들과는 반대로 사춘기 이전의 선수들에게서는 하지 부상 비율에서 성의 차이가 보고되지 않았다(Andrish, 2001; Buehler-Yund, 1999). 무릎 부상은 소아 운동선수들에서도 발생한다. 6세 ~ 12세 사이의 아이들에게서 발생하는 스포츠와 관련된 부상의 63%가 관절염좌이며, 대부분의 염좌는 무릎에서 발생한다(Gallagher et al., 1984). 비록 하지 부상이 남자와 여자선수 모두에서 나이가 들면서 증가하지만, 여자아이들은 성장기 이후에 부상 비율이 현저히 높아진다(Tursz & Crost, 1986).

사춘기 동안 경골과 대퇴골이 남자와 여자아이 모두에서 현저히 성장한다(Tanner & Davies, 1985). 경골과 대퇴골의 성장은 무릎에서 큰 회전력을 만든다(Hewett et al., 2004). 신장의 증가는 질량중심을 더 높게 하고, 질량에 대한 근력 조절을 증가시킨다. 체중의 증가는 관절력의 증가를 동반하며, 높은 속도가 요구되는 운동에서 균형 잡기가 더 어려워진다. 남자들의 순발력과 근력, 그리고 협응력은 나이가 들면서 증가되는데, 이로 인해 동적인 하지의 움직임 조절 하는 능력이 향상된다. 남자들과 여자들의 근신경 패턴은 사춘기 동안에 달라지는데, 소녀들은 사춘기 이후에 적응 능력이 떨어진다(Hewett et al., 2004). 그러므로 사춘기와 함께 오는 남자들과 여자들의 성장과 발달의 차이는 하지 부상 위험의 차이를 수반하는데 근신경, 생체역학, 호르몬 요인과 관련이 있다(Hewett et al., 2004).

### 4. 하지 부상의 호르몬적 원인

#### 1) 하지 부상에 영향을 미치는 에스트로겐

에스트로겐은 여성들의 하지 부상 비율을 증가시키는 근본적인 원인이다(Gray et al., 1985). Moller-Nielson과 Hammar(1991)는 여자 축구 선수들은

월경 주기 중 황체기(luteal phase)에 심각한 부상을 더 많이 입는다고 보고하였다. Wojtys, Huston, Boynton, Spindler & Lindenfeld(2002)은 비접촉성 하지 부상이 월경 주기 중 배란기(ovulatory phase)에 증가하고, 난포기(follicular phase)에 감소한다고 하였다. 에스트로겐과 릴렉신 농도는 배란기에 최대가 된다(Samuel, Butkus, Coghlan & Bateman, 1996). 그러나 Slaughterbeck 등(2002)은 하지 부상이 가장 많이 일어나는 것은 생리가 시작되기 바로 전인 황체기라고 보고하였다. Myklebust 등(2003)은 하지 부상이 가장 많이 일어나는 때는 생리가 있는 난포기라고 하였다. 이러한 결과들은 애매모호하며 논쟁의 여지가 있다.

이러한 연구들에서 가장 큰 문제는 배란기에 부상이 보고되지 않았다는 것이다. 배란기라는 용어 자체가 적절하지 않으며 배란은 순간이지 기간이 아니다. 만약 월경주기를 배란 전 기간과 배란 후 기간으로 나눈다면, 이미 발표된 많은 연구들의 결과가 더 일치될 수 있을 것이다.

## 2) 하지 인대력에 영향을 미치는 에스트로겐

여성 호르몬의 주기적인 변화에 의한 인대력(ACL strength)의 감소는 여성의 하지 부상의 원인이 될 수 있다. 혈청 에스트로겐 농도는 월경 주기 동안 몇 배 증가한다(Samuel et al., 1996). 에스트로겐과 릴렉신은 인대의 장력(tensile properties)에 영향을 준다. 에스트로겐 수용체는 사람의 하지 섬유아세포(fibroblasts)에 존재한다. 그리고 에스트라디올은 여성 하지의 섬유아세포에서 프로콜라겐 합성을 감소시킨다(Booth & Tipton, 1970). 에스트라디올의 생리적인 농도는 인대력을 감소시키고, 릴렉신은 연조직(soft tissue)의 장력을 감소시킨다고 보고하였다(Booth & Tipton, 1970; Samuel et al., 1996). Strickland, Belknap, Turner, Wright, Hannafin(2003)은 최고로 낼 수 있는 힘의 크기, 경직(stiffness), 난소를 추출한 양과 에스트로겐을 주입한 난소를 추출한 양의 하지의 파열 장소에서 유의미한 차이가 나타나지

않았다고 보고하였다. Seneviratne, Attia, Williams, Rodeo, Hannafin(2004)은 월경 주기 동안 에스트로겐 양의 변동이 하지의 물질적 특성을 변경시키지는 않았다고 결론지었다. 어떤 연구들은 하지 부상 비율의 차이를 여성의 호르몬 사이클과 관련된 관절 이완의 증가와 관련이 있다고 보고한 반면에, 다른 연구들은 이러한 주장을 반박하기도 하였다(Hutson & Wojtys, 1996). Wojtys 등(2002)은 여성의 월경주기의 배란기 때 관절 이완이 증가하였다고 보고한 반면에, Karageanes, Blackburn, Vangelos(2000)은 그 차이를 발견하지 못했다. Heitz, Eisenman, Beck, Walker(1999)은 하지 이완이 월경 주기 동안에 증가하였다고 보고하였다. 이와 같이 호르몬이 하지의 역학적 특성에 미치는 영향에 대한 여러 가지 상반된 결과가 나타나는 것은 에스트로겐과 릴렉신이 인대 콜라겐에 미치는 변화와 실험 통제의 어려움에 따른 것이라 지적할 수 있다(Wojtys et al., 2002).

### **3) 에스트로겐이 근신경 기능과 조절에 미치는 영향**

호르몬은 하지 관절의 근신경 조절에 영향을 미치는데, 이는 여자선수들의 하지 부상을 일으키는 원인이 된다. 에스트로겐은 직·간접적으로 여성의 근신경 시스템에 영향을 미친다. Sarwar, Beltran, Rutherford(1996)은 월경주기의 배란기 동안에 넙다리네갈래근의 근력이 증가하고, 근육의 이완속도가 현저하게 감소하였다고 발표하였다. 혈청 에스트로겐의 분비는 월경주기 동안에 급격하게 변동하고, 에스트로겐은 근기능, 건, 인대의 힘에 중요한 영향을 미치며 중추신경계에도 영향을 미친다. Lebrun(1994)은 월경주기의 각 구간에서 등속성 근력, 무산소와 유산소 능력, 그리고 고강도의 지구력에서 차이가 나타났다고 보고하였다. Posthuma, Bass, Bull, Nisker(1987)은 월경주기전 구간(premenstrual phase)에서 운동 기능이 감소되었다고 하였다. 이러한 선행연구들의 자료들은 에스트로겐이 근신경 기능에 영향을 미친다는 것을 뒷받침 한다. 호르몬이 무릎부상의 비율에 영향을 미치는 유일한

요인은 아니지만, 여성 호르몬은 무릎 관절의 근신경 조절에 유의미한 영향을 미치는 요인이다.

#### 4) 경구용 피임제가 부상과 이완에 미치는 영향

경구용 피임제(oral contraceptives)가 하지의 부상 원인에 미치는 영향은 뚜렷하다. 핵심은 경구용 피임제가 잠재적으로 하지 부상을 예방할 수 있는 것이다. 이 질문에 대한 답이 제시되었다. Moller-Nielson & Hammar(1991)는 경구용 피임제를 복용한 운동선수들은 부상비율이 낮았다고 보고하였다. Arendt & Dick(1995)과 Wojtys 등(2002)의 자료 또한 경구용 피임제의 효과를 뒷받침하였다. Martineau, Al-Jassir, Lenczner, Burman(2004) 등은 경구용 피임제를 복용한 여자대학 운동선수들은 인대 이완이 감소되었다고 보고하였다. 에스트로겐 분비가 최고일 때 이는 근육에 직접적인 영향을 미쳐서 동적인 상황에서 관절의 근신경 조절에 중요한 역할을 한다(Sarwar et al., 1996). 근육 이완의 감소와 근피로의 증가는 월경주기의 배란기 이후에 나타난다(Sarwar et al., 1996). 경구용 피임제는 호르몬, 특히 에스트로겐과 에스트라디올의 최대 분비시기에 분비를 억제시킴으로써 동적인 상황(근신경 조절)과 수동적 상황(하지 이완)에서 무릎의 안정성에 영향을 미친다(Wojtys et al., 2002).

### 5. 하지 부상의 근신경적 원인

#### 1) 길항근과 주동근의 관계

뒤넙다리근과 넙다리네갈래근의 공동작용(coactivation)은 무릎의 과도한 전방 밀림과 외전(abduction) 동작을 막아 줌으로써 무릎 관절을 보호한다. 만약에 뒤넙다리근이 적게 동원되거나 약해지면, 넙다리네갈래근의 활성이

감소되어 움직임을 수행하는 데 요구되는 굴곡 모멘트가 감소된다(Hewett, Myer & Ford, 2005; Hewett et al., 1996). 근력과 뒤넙다리근의 활성화 약화는 인대를 보호하기 위한 근육의 공동수축 작용을 제한한다(Solomonow et al., 1987). 만약에 뒤넙다리근의 동원이 높아지면, 넙다리네갈래근이 높게 활성화되어 무릎의 굴곡 모멘트가 커지게 된다. 여성들의 비틀림 부하(torsional loading) 상황에서 유사한 메커니즘이 근육을 보호하는데 적용이 된다. Wojtys, Huston, Schock, Boylan, Ashton-Miller(2003)은 경골의 최대 회전범위는 휴식 시와 운동 상태에서 남자보다 여자가 더 크다고 하였다. 따라서 여성들은 내측회전 부하 상태에서 남자보다 무릎 인대를 잘 보호하지 못한다.

여자선수들의 하지 부상위험이 남자보다 더 높다는 또 다른 이론이 제시되었는데, 여자선수들은 남자선수들에 비해서 상대적으로 무릎 신전근에 대한 무릎 굴곡근의 낮은 동원 또는 뒤넙다리근-넙다리네갈래근의 최대토크 비율이 더 낮다는 이론이다. 남성들은 착지 시 감속구간에서 여성들보다 무릎 굴곡근의 회전력이 3배나 더 크다(Hewett et al., 1996). 여성들은 남성들에 비해 뒤넙다리근-넙다리네갈래근의 최대토크 비율이 감소하였고, 무릎의 외번모멘트가 증가하였다.

넙다리네갈래근의 수축은 무릎 굴곡의 처음  $35^{\circ}$  ~  $40^{\circ}$  사이에서 하지의 긴장(strain)을 증가시키는데, 단독으로 발휘된 이 힘은 하지를 과열시키는데 충분하다(Fleming, Ohlen, Renstrom, Peura, Beynnon & Badger, 2003). Arms, Pope, Johnson, Fischer, Arvidsson, Eriksson(1984)은 무릎 굴곡의  $45^{\circ}$  까지 하지가 긴장되고,  $60^{\circ}$  이상이면 감소된다고 하였다. Beynnon, Howe, Pope, Johnson, Fleming(1992)은 생체내 실험에서 무릎 굴곡의  $30^{\circ}$  에서 넙다리네갈래근의 수축에 의해 하지가 긴장되고,  $90^{\circ}$  에서는 긴장되지 않는다고 하였다. 또한, 넙다리네갈래근의 수축이 무릎 굴곡의  $15^{\circ}$  ~  $30^{\circ}$  에서 증가하고,  $60^{\circ}$  에서는 감소하였다고 보고하였다(Beynnon et al., 1995).

여자선수들은 근신경 훈련을 받기 전에 점프 후 착지 시 감속시키는 능력과 무릎의 자세를 조절하는 능력이 떨어졌는데, 이는 뒤넙다리근-대퇴사두의 근력과 근육동원능력이 감소된 것과 밀접한 관련이 있다(Hewett et al., 1996). 무릎 굴곡근의 공동수축(co-contraction)은 넙다리네갈래근의 균형잡힌 수축이 요구되며, 무릎을 외전시키는 회전력과 전방으로 경골의 이동을 조절하는 데 도움을 준다(Solomonow et al., 1987). 관절의 부하가 높은 동작에서 근육의 동원 능력이 떨어지는 여자선수들은 하지가 과열되는 위험이 유의미하게 증가된다(Hewett et al., 2005). 하지의 부상은 관상면(coronal) 또는 시상면(sagittal plane)에서 단독으로 발생하는 것이 아니라 두 가지 운동면에서 동시에 발생한다(Freedman et al., 1998). 여자선수들은 종종 동적인 상황에서 무릎을 조절하기 위해서 관상면 전략을 사용하는데, 이는 점프 후 착지 과제 시 충격을 분산시키는데 비효율적이다(Chandy & Grana, 1985; Cowling & Steele, 2001).

Solomonow 등(1987)은 관절의 안정성(joint stability)을 유지하는 대퇴근육과 하지의 상승작용을 연구했다. 그들은 하지에 직접적으로 미치는 부하는 넙다리네갈래근의 활동을 적절하게 억제하는 동시에 뒤넙다리근의 활동을 더 증가시키는 것이라고 하였다. 경골이 탈골된 하지 부상환자에게서 비슷한 연구가 보고되었는데, 관절의 안정성을 유지하기 위해서 반사회로(reflex arc)와 하지 수용기는 관련이 없다고 하였다. 뒤넙다리근은 하지 기능 부상 환자들의 관절의 안정성을 유지하는데 중요한 역할을 한다. 근전도 연구에서 여성들은 넙다리네갈래근과 뒤넙다리근의 활동 패턴에서 근신경적으로 불균형하다고 보고하였다(Sell et al., 2004). 굴곡운동을 하는 동안, 여자선수들은 뒤넙다리근에 비해서 넙다리네갈래근의 활성이 증가되었으며 동적인 운동상황에서 전방으로 경골부하가 증가하였다(Markolf et al., 1995; Sell et al., 2004). 넙다리네갈래근 동원의 불균형은 여자선수들에게 전방 전단력(shear force)이 생기게 한다. 결국, 뒤넙다리근 활동 전략을 바꾸는 것

은 하지 부상 여부와 연관이 있다.

## 2) 전방 전단력의 증가, 공동수축과 압축력의 감소

근력과 협응력은 스포츠를 수행하는 동안 하지의 기계적인 부하에 직접적인 영향을 미친다(Myer et al., 2005). 경골에 대해 무릎 건을 전방으로 당기는 넙다리네갈래근은 무릎 굴곡각도가 30~45도 보다 작을 때 하지에 부하가 미친다(Markolf et al., 1978). 내측 경골조면(tibial plateau)이 약간 오목(concave)하기 때문에 뒤넙다리근이 수축하여 관절을 압박하면 하지를 전방으로 당기는 힘에 대항해서 하지를 보호한다(Imran & O'Connor, 1997). 이러한 보호 효과가 생체내 시상면 운동에서 보고되었다(Fleming et al., 2003). 근육의 공동수축을 통한 관절의 압박은 외반부하(valgus load)를 관절의 접촉력(contact forces)에 의해 전달하여 인대를 보호한다. Markolf 등(1978)은 근 수축은 무릎의 외반과 내전(varus) 이완을 3배 감소시킨다고 보고하였다.

## 3) 근 활성의 크기와 타이밍의 변화

근전도 연구에 따르면 운동 상황에서 근 활성 타이밍에서 성별에 차이가 있다고 하였다(Besier, Lloyd, & Ackland, 2003; Cowling & Steele, 2001; Myer et al., 2005; Zazulak et al., 2005). Huston & Wojtys(1996)은 하지에 전방으로 가해지는 부하에 대한 뒤넙다리근 활성의 반응이 여자선수들은 늦게 나타났다고 보고한 반면에, Cowling & Steele(2001)은 남자선수들이 더 늦게 나타났다고 보고하였다. 착지하기 전에 남성들보다 여성들의 뒤넙다리근이 더 일찍 활성화되었다고 하였다. 그러나 그들은 착지하는 동안 남성들의 근 패턴은 근육을 동시에 수축하게 함으로써 관절에 걸리는 부하를 더 잘 조절한다고 하였다. Besier, Lloyd, Ackland, Cochrane(2001)은 예측한 상황과 비예측 상황의 2가지 사이드스텝 방향전환 과제에서 비예측 상황에서

외전-내전 및 내측-외측 모멘트가 증가하였다고 하였다. 그들은 예상치 못한 스포츠 활동에서 관상면에서 회전력의 증가는 하지 부상을 증가시킨다고 하였다. 방향전환 하는 동안 하지근의 활성화는 예측 상황과 비예측 상황에서 매우 다르다(Besier et al., 2003). 비 예측 사이드스텝 과제에서 남성들은 초기 접촉 전에 10~25% 정도 근 활성화가 증가하였다(Besier et al., 2003). Zazulak 등(2005)은 여성운동선수들은 착지 전에 대퇴직근의 활성화가 크게 나타났다고 보고하였다. 여성운동선수들의 증가된 대퇴직근은 하지의 긴장을 증가시키는 주요한 근신경 요인이다. 뒤넙다리근 활성화의 감소와 대퇴 사두근 활성화의 증가는 착지 시 에너지 흡수를 감소시키고 지면반력을 증가시켜 하지 부상을 증가시킨다.

#### 4) 근육 근의 조기 활성화

비록 하지 부상은 예상치 못한 순간 매우 빠르게 일어나지만, 운동선수들은 착지, 피벗팅, 예기치 못한 부하 또는 스포츠 활동 중에 부상 위험을 줄일 수 있는 더 안전한 움직임 패턴을 채택하거나 사전 프로그램을 만들어 이를 예방할 수 있다(Markolf et al., 1978). 하지 근육은 발이 지면에 접촉하는 순간에 약 40%~80% 정도 활성화된다(Besier et al., 2001, 2003). 여자 선수들은 내측 넙다리네갈래근과 뒤넙다리근 활성화를 감소시킴으로써 동적인 관절의 안정성을 확보하기 위한 능동적인 근육 조절 시스템과 수동적인 관절 제한 시스템의 효과에 제한을 받는다(Myer et al., 2005). 근력과 협응력은 스포츠 활동 중에 하지의 기계적 부하에 직접적인 영향을 미친다(McLean, Huang, Su & Van Den Bogert, 2004). 넙다리네갈래근의 조기 활동은 방향전환과 착지 동작의 초기 접촉 순간에 외변 동작의 정렬을 증가시키는 것과 연관이 있다(Ford et al., 2005; Hewett et al., 2004).

## 5) 고유수용기의 감소

하지는 관절을 완전하게 지탱해줄 뿐만 아니라 특별한 기계적수용기 (mechanoreceptors)를 자극한다(Schutte, Dabezies, Zimny & Happel, 1987). 회전력 감지기로서의 하지 기능은 대퇴에 대한 경골의 전방 이동을 감지한다. 회전력과 신장(elongation)을 감지하는 하지의 기능은 회전력과 이동에 있어서 불리한 점도 함께 가지고 있다. Chmielewski, Rudolph, Snyder-Mackler(2002)은 시각적 불안(perturbations)에 대한 주동근의 활성화는 근신경 훈련에 의해 바꿀 수 있다고 했다. 하지를 신전시키는 신전반사는 뒤넙다리근의 활성화에 의해 반응한다(Solomonow et al., 1987). 다치지 않은 여성은 남성들보다 한 발의 흔들림(sway)이 더 낮다. 그러나 하지가 과열이 되면 여성들은 흔들림이 증가하는데, 이는 부상의 위험이 높아지거나 고유수용기(proprioceptive)의 외상이 더 커지는 것을 의미한다(Haycock & Gillette, 1976). 이런 이유로 고유수용기의 결함은 하지 부상 원인에 중요한 역할을 한다.

## 6) 내·외측 근육 활성화 패턴의 불균형

Rozzi, Lephart, Gear, Fu(1999)은 여자선수들은 남자선수들에 비해 점프 후 착지의 감속구간동안 외측 뒤넙다리근의 활성화가 4배나 더 큰 불균형을 보였다. Myer 등(2005)은 외측 넙다리네갈래근 동원에 대한 내측 넙다리네갈래근의 동원 비율이 감소하였다고 하였다. 불균형한 내측 뒤넙다리근 동원과 내측 넙다리네갈래근 동원 비율의 감소는 관상면에서 무릎을 유지하는 근력의 조절이 감소된다(Markolf et al., 1995; Rozzi et al., 1999). 관상면에서 동적인 무릎 외전의 조절은 무릎 관절의 압박, 즉 내측 용기 접촉 압력 (medial condylar contact pressure)에 영향을 받는다. 관절 압박의 감소는 동적인 외전과 전방 경골 이동의 제한 능력을 감소시키는데, 경골조면과 내측 대퇴용기가 맞지 않게 되어 착지 또는 방향전환의 감속구간 동안 하지에

부하가 증가된다(Ford et al., 2003).

넙다리네갈래근의 활성화 증가는 하지에 직접적으로 부하를 주는 전방 전단력을 증가시킨다(Markolf et al., 1995; Sell et al., 2004). 여자선수들에게 나타나는 내측과 외측 넙다리네갈래근의 불균형 또는 외측 뒤넙다리근의 활성화 증가는 내측 관절을 불균형하게 해서 하지에 직접적으로 부하를 주는 전방 전단력을 증가시킨다(Markolf et al., 1995; Rozzi et al., 1999; Sell et al., 2004). 여자선수들에게서 나타나는 외측 넙다리네갈래근 활성화의 불균형은 내측과 외측 비율의 감소에 의한 결과인데, 이는 외전 동작과 모멘트를 증가시킨다(Ford et al., 2003; Hewett et al., 2004). 내측과 외측 넙다리네갈래근 동원의 불균형 또는 낮은 비율과 결합된 외측 뒤넙다리근 활성화의 증가는 외측 관절을 압박하게 되어 내측 관절을 열리게 하고 이는 전방으로의 전단력이 증가하게 되어 하지 부상의 위험을 높이게 된다(Rozzi et al., 1997; Sell et al., 2004).

## 7) 피로의 증가

스포츠의학 전문가들이 피로가 하지 부상을 일으키는 잠재적 요인이라고 자주 인용하는데 비하여 하지 파열과 관련된 피로이론을 지탱해 주는 선행 연구가 상대적으로 적은 편이다. Nyland, Caborn, Shapiro, Johnson(1997)은 여자선수들은 방향전환 동작에서 넙다리네갈래근의 신장성 수축(eccentric contraction) 후에 발생한 피로는 장딴지근(gastrocnemius)을 일찍 활성화시키고 넙다리네갈래근의 활성을 지연시킨다. 그들은 넙다리네갈래근의 신장성 수축 후에 발생한 피로는 통제근과 달리 내측광근(vastus medialis), 대퇴직근(rectus femoris) 및 외측광근(vastus lateralis)의 활성을 지연시키며, 뒤넙다리근 피로와 다르지 않다. 신장성 수축 후에 발생한 넙다리네갈래근의 피로는 통제 집단보다 장딴지근을 더 일찍 활성화 시키는데, 장딴지근의 활성은 뒤넙다리근의 피로에는 영향을 받지 않는다(Nyland et al., 1997).

Wojtys 등(2003)은 건강한 무릎에서 근신경 피로가 근신경 기능과 전방 경골 이동에 미치는 영향을 규명하였다. 전방 경골 이동에 대한 하지근의 동원 순서는 피로에 의해 영향을 받지 않았지만, 동적 스트레스 테스트 기구에 의한 종아리근의 전방 이동은 피로에 의하여 영향을 받았다. 즉, 피로에 의하여 전방 경골 이동이 증가하였다. 피로 후 이동의 증가는 간헐적이고 수의적인 수준의 근전도 활동을 지연시킨다. 근 피로는 전방 경골의 이동에 대한 근신경 반응을 변화시킨다고 결론 내렸다. 그러나 피로가 무릎의 동적 안정성에 미치는 영향은 규명하지 못하였다. 근 피로가 하지 부상을 일으키는 한 가지 원인인지와 관련된 후속 연구가 필요하다.

## 6. 하지 부상의 생체역학적 원인

Boden 등(2000)은 전향분석(retrospective analysis)을 통해 하지 부상에 가장 연관이 있는 신체 위치에 관해서 연구하였다. 경쟁적인 스포츠 경기 중의 하지 부상에 대한 비디오 분석을 통하여 경골이 외측으로 회전되고, 무릎이 거의 최대로 신전되고, 발 전체가 지면에 착지하고, 그리고 감속에 이은 외반 붕괴(valgus collapse)로 부상이 일어난다고 보고하였다(Boden et al., 2000). Teitz(2001)는 비디오 분석을 통하여 비슷한 결과를 발표하였다. 남녀 운동선수들은 경쟁적인 경기 중에 이러한 일반적인 신체의 정렬(순서)에 노출되어 있다. 하지만 충분한 근신경 조절과 무릎 안정화로 인하여 하지 부상 없이 경쟁적인 스포츠를 수행하고 있다. Teitz(2001)는 또한 하지 부상은 신체 무게중심이 지지면의 뒤쪽이나 멀리 떨어졌을 때 가장 흔히 발생한다고 보고하였다. Olsen, Myklebust, Engebretsen, Bahr(2004)은 동적인 외반(dynamic valgus)은 핸드볼에서 가장 흔한 부상원인이라고 보고하였다.

## 1) 시상면에서의 부상 원인: 전방 전단력

### (1) 무릎

무릎 굴곡 각도에 대한 성별의 차이는 매우 광범위하다. 예를 들어, 사이드스텝 동작 중에 여자선수들은 남자선수들에 비해 지지구간에서 무릎 굴곡이 감소하였다(Malinzak et al., 2001). 하지만 McLean, Neal, Myers, Walters(1999)은 이와 유사한 동작을 수행할 때 성별의 차이가 없다고 하였다. Ford 등(2005)은 방향전환 동작 시 예상치 못한 시각적 단서에 대한 반응에서 무릎 굴곡의 차이가 없었다고 하였다. Huston, Vibert, Ashton-Miller, Wojtys(2001)은 60cm 높이에서 착지 시 무릎 굴곡이 감소하였으며, 20cm 높이에서는 차이가 없었다고 하였다. 그러나 Fagenbaum & Darling(2003)은 여자선수들은 남자선수들에 비해 훨씬 큰 무릎 굴곡 각도로 착지한다고 하였다. 이는 여자선수들이 남자선수들에 비해 보다 더 큰 무릎 굴곡 각도로 착지하는지에 대해서는 의견이 일치하지 않은 것이다. 다만 논의들을 종합해 볼 때, 여성들의 무릎 굴곡 각도는 남성들의 각도와 같거나 거의 비슷하다고 할 수 있다.

Hewett 등(2005)은 하지 부상을 입은 여자선수들과 부상을 당하지 않은 선수들 간에 무릎 굴곡 각도는 비슷하게 나타났다고 하였다. 최대 무릎 굴곡 모멘트 값도 두 집단 간에 비슷하게 나타났다. 게다가 착지 시 무릎 굴곡 각도로 하지 부상 위험을 예측할 수 없었다고 하였다. 그러나 최대 무릎 굴곡 각도는 부상당하지 않은 선수들보다 부상당한 선수가 10° 적게 나타났다. McNair, Marshall, Matheson(1990)은 하지 부상은 무릎이 최대로 신전했을 때부터 20° 굴곡 사이에서 일어났다고 하였다. Olsen 등(2004)의 비디오 분석에 의하면, 역시나 무릎 굴곡이 0° ~ 30° 사이에서 하지 부상이 일어났다고 하였다. McLean 등(2004)은 동적인 근골격 모델을 사용한 연구결과, 최대로 전방으로 당기는 힘은 하지를 과열시키는데 요구되는 부하를 초과하지 않는다고 하였다. 반대로 외전 부하는 인대를 과열시키는 데 충분하며,

남자보다 여자에게 더 많이 나타났다고 하였다. 시상면에서의 무릎 관절력은 방향전환 동작 중에 하지를 과열시킬 수 없다고 결론 내렸다. 유사하게 Pflum, Shelburne, Torry, Decker, Pandy(2004)은 시뮬레이션 모델을 사용하여 착지 시에 하지에 작용하는 힘을 예측하였다. 슬개골의 힘줄과 경골대퇴(tibiofemoral)에 가해진 두 힘은 착지 시에 무릎의 전방 전단력으로 작용하였다. 그러나 이와 같은 힘들은 하지에 전달된 최대의 힘을 제한시키는 후방 전단력에 의하여 줄어들었다. 넓다리네갈래근의 힘은 하지를 과열시키기에는 불충분하다. McLean 등(2004)이 보고한 것처럼 외전 부하는 충분히 인대를 과열시킬 수 있다고 결론 내렸다.

## (2) 엉덩

Hewett 등(2005)은 시상면에서의 엉덩 토크는 하지 부상선수와 부상을 입지 않은 선수들 간에 차이가 나타났다고 하였다. 최대 엉덩 굴곡 모멘트는 하지 부상을 입은 선수들 집단에서 더 크게 나타났다(Hewett et al., 2005). Zazulaket 등(2005)은 한발 착지 시 여자선수들은 남자선수들에 비해 대둔근(gluteus maximus)의 근육활동이 감소하였다고 하였다. Devita & Skelly(1992)는 연착륙(soft landing, 무릎 굴곡 90° 이하)과 경착륙(stiff landing, 무릎 굴곡 90° 이상) 시 지면반력을 평가하였다. 연착륙 시 신체의 운동에너지를 19% 이상 더 흡수하였으며, 엉덩 신전근의 신장성 수축도 전체 운동에너지의 22% 정도 감소하였다(Cowling & Steele, 2001). Decker 등(2003)은 여자선수들은 착지 시 더 큰 지면반력이 나타났는데, 이는 여자선수들이 엉덩이로 충격을 흡수하는 능력이 떨어지기 때문이다. 남자선수들이 엉덩이로 충격을 흡수하는 반면에 여자선수들은 무릎과 발목으로 충격을 흡수하는 전략을 사용하였다(Decker et al., 2003). 따라서 엉덩이의 조절은 하지 부상 원인에 포함될 수 있으나, 이 분야에 대한 후속연구가 더 필요한 실정이다.

### (3) 발목

성별의 차이에서 오는 발목의 운동학적 차이 역시 하지 부상 비율에 영향을 준다(Griffin, Agel & Albohm, 2000). 발목 관절 각도의 차이가 관절력, 모멘트, 근활동 패턴에 영향을 미친다(Ford et al., 2005; Griffin et al., 2000). 시상면에서 하지 부상이 있는 여자선수들의 발목 위치의 특성은 아직 잘 알려지지 않았기에 후속 연구가 필요하다.

## 2) 관상면에서의 부상 원인: 하지 파열 증가

### (1) 무릎

하지 부상 비율에서 나타나는 성의 차이는 관상면에서의 관절 운동과 회전력의 차이에 의해 많은 영향을 받는다. 무릎에서 동적인 외반 부하와 하지 긴장의 증가 사이의 관계는 사체, 생체내 및 컴퓨터 모델링 실험에 의해 입증되었다(Fukuda, Woo & Loh, 2003; Markolf et al., 1995). 무릎에서의 동적인 외반 회전력은 전방으로의 경골 이동이 현저하게 증가하게 하고 하지에 몇 배의 부하를 준다(Fukuda et al., 2003). 외반 또는 동적인 외반 또는 동적인 하지 외반은 두루 사용되며, 무릎에 국한되는 것은 아니다. 3가지 하지 관절의 운동과 회전을 의미한다. 3가지 하지 관절은 엉덩 내전과 내측회전, 무릎 외반과 경골의 외측회전과 전방이동, 그리고 발목의 외전을 말한다.

생체역학과 전향연구에서 무릎 외전모멘트와 외전 각도는 하지 부상 위험을 예측하는 요인이다(Hewett et al., 2005). 하지의 동적인 외전과 무릎 관절 부하에 직접적인 영향을 미치는 무릎 외전모멘트는 73%의 민감성과 78%의 특수성으로 하지 부상 위험을 예측한다(Hewett et al., 2005). 무릎 외전 각도는 하지 부상 집단이 부상을 입지 않은 집단보다 8° 더 크게 나타났다. 무릎의 외전 각도는 하지 부상선수의 최대수직지면반력과 관련이 있다. 무릎의 굴곡 각도는 하지 부상의 강력한 예측 요인은 아니다(Hewett et al., 2005). 따라서 부상을 입은 선수들에서 관찰된 외전 동작의 증가는 하지

과열을 일으키는 중요한 위험 요인이다.

Ford 등(2005)은 매우 정확한 3차원 동작분석 기법을 이용하여, 여자선수들은 남자선수들에 비해 방향전환 동작 시 무릎의 외전 각도가 더 크게 나타났다고 보고하였다. 그러나 남녀 사이에 무릎 굴곡 각도에서는 차이가 나타나지 않았다. 무릎 외전 각도에서의 성의 차이는 관상면에서 하지의 동적인 근신경 조절을 변화시키는 지표이다. 이런 운동학적인 차이는 남녀의 무릎과 엉덩이의 내전근(adductors)과 외전근(abductors)의 수축 패턴의 차이와 관련이 있다.

## (2) 엉덩

착지할 때 엉덩이 각도는 무릎에서의 충격력을 결정하는 중요한 요인이다(Huston et al., 2001; Malinzak et al., 2001). 여성들은 대퇴직근의 활성화 증가와 둔근(gluteal)의 활성화 감소를 포함하여 근수축 패턴에서 근신경 불균형을 보인다(Sell et al., 2004). 횡단면에서 엉덩 동작을 조절하지 못하는 매우 고난도의 위험 과제는 무릎의 외전 동작을 무너뜨리고 하지 과열을 일으킬 수 있다(Boden et al., 2000; Hewett et al., 2004; Teitz, 2001). Ford 등(2003)은 착지 시 엉덩이 안정성에 있어 고정 자세에서 주동쪽과 비주동쪽과의 차이를 보고하였다. 여성들은 착지할 때 주동쪽에서 엉덩 내전 모멘트의 증가와 엉덩 굴곡 각도의 감소를 보였다. 근신경 근력, 유연성, 협응성의 좌우 불균형은 부상 위험을 증가시키는 중요한 요인이다(Hewett et al., 2005). 좌우 차이의 증가와 엉덩 근육 활성의 감소는 무릎의 외전 동작을 증가시켜서 비접촉성 하지 부상 위험을 증가시킨다.

여자선수들에게서 엉덩 외전 근육은 과도한 외전 동작과 회전력을 조절하는 중요한 역할을 한다(Myer et al., 2005). 착지 시 감속하는 능력의 향상과 동적인 외전 동작을 조절하는 능력의 향상은 엉덩 근육의 근력 동원과 관련이 있다. 여자선수들은 착지 시 엉덩 내전 모멘트가 크게 나타난다. 여자선

수들에게서 나타나는 엉덩 내전 모멘트의 증가는 동적인 스포츠 상황에서 엉덩이를 조절(특히 내전 동작)하는 데 어려움을 겪고 있다는 것을 의미한다. 운동역학적 사슬의 분절과 엉덩 내전/외전 근육의 활성화는 착지 시 여성들에게서 무릎의 동적인 외전 동작을 일으킨다(Ford et al., 2003; Hewett et al., 1996).

### (3) 발목

발목 외번(eversion)의 증가는 하지 부상 비율에서 성의 차이를 나타내는 잠재적 요인이다. Ford 등(2005)은 방향전환 동작의 지지구간에서 여자 선수들은 남자선수들에 비해 최대 발목 외번 각도가 더 크게 나타났다고 보고하였다. 과도한 외번은 무릎의 외전 스트레스를 증가시키고, 전방으로 경골을 이동시키고, 하지에 부하를 증가시킨다(Nyland et al., 1999). 이와 같은 결과는 발의 회내(pronation)와 경골의 내측회전과 동반된다(Nyland et al., 1999; Trimble et al., 2002). 발의 외번과 경골의 내측회전 사이에는 선형 관계가 존재한다(Bellchamber & van den Bogert, 2000). 외전 동작은 지지구간에서 발목의 외번과 경골의 회전이 동반되었을 때 증가한다(Ford et al., 2005;). 그러나 관상면에서 하지의 원인을 밝히는 데 발목의 기여는 상대적으로 덜 알려져 있다.

## 3) 횡단면에서의 하지 부상 원인

### (1) 무릎

무릎의 내·외측 회전 운동과 회전력은 하지 부상 메커니즘에 영향을 미친다(McLean et al., 2004). Besier 등(2001)은 예측과 비예측 상황에서 사이드스텝으로 방향전환하는 과제를 수행하였다. 그들은 비예측 스포츠 활동 중에 내·외측 무릎 모멘트가 증가하였는데, 이는 비예측 상황에서 비접촉성 무릎 부상이 증가하는 것이라고 하였다. 방향전환 시 하지의 근 활성화도

예측된 상황과 비예측 상황에서 차이가 있었다(Besier et al., 2003). 예측되지 않은 사이드스텝 상황에서 근육 활성이 10~25% 증가하였다(Besier et al., 2003).

## (2) 엉덩

엉덩이는 여자선수들에게 동적인 관절 안정성을 조절하는 중요한 부위이다(Myklebust et al., 2003). 안정화 근육들의 활성 감소는 관절의 부하를 지탱하는 능력을 변화시키는데, 이는 시상면, 관상면, 횡단면에서 체중당 무릎에 가해지는 부하를 증가시킨다. Lephart 등(2002)은 여자대학선수들은 남자선수들에 비해 착지 시 엉덩 최대 내측 회전 각변위가 더 크게 나타났다고 하였다. 대둔근은 엉덩이를 외측 회전시킬 뿐만 아니라 신전시키고 외전시키는 근육이다(Delp, Hess, Hungerford, Jones, 1999). 대둔근은 여자선수들의 동적인 움직임에서 과도한 엉덩이의 회전을 조절하는 중요한 역할을 한다(McDevitt et al., 2004). Zazulak 등(2005)은 착지 시 여자선수들은 둔근의 활성이 낮게 나타났다고 하였다. 엉덩 내측회전의 증가와 엉덩 근육 활성의 감소는 부하를 증가시키고 하지에 긴장(strains)을 증가시킨다(Markolf et al., 1995).

## (3) 발목

주상골(navicular)이 내려갈 때 측정된 거골하관절(Subtalar joint)의 회내는 하지 부상 환자들에게서 더 크게 나타났다(Loudon et al., 1996). 다른 연구들은 이 결과를 반박하였다(Trimble et al., 2002). 횡단면에서 하지 부상 원인과 관련한 발목의 역할은 아직 불분명하며, 후속 연구에서 규명해야 한다.

## (4) 예측되지 않은 상황과 움직임

빠르고 예측되지 않은 상황에서의 방향전환 동작은 종종 비접촉성 하지

과열 원인을 규명하는데 사용된다(Boden et al., 2000; McNair et al., 1990). 예를 들어 핸드볼 경기 중에 하지 부상의 80%가 방향전환 또는 점프 후 착지 시에 발생한다(Myklebust et al., 1998). 농구 경기 중에 발생하는 부상의 70%는 방향전환, 회전 및 착지와 같은 고 위험도의 움직임에서 일어난다(Stacoff, Steger, Stussi, Reinschmidt, 1996). 이와 같은 움직임은 계획되지 않거나 예측되지 않은 상황에서 일어나며, 선수들은 게임 중에 볼이나 수비수에 반응해야 한다. Ford 등(2005)은 예측되지 않은 방향전환 시 하지의 외전 동작에서 성의 차이가 나타났다고 하였다. Besier 등(2001)은 예상하지 못한 동작 시 내전-외전, 내측 및 외측 무릎 모멘트가 증가하였는데, 이는 예상치 못한 운동 상황에서 비접촉성 무릎 부상을 증가시키는 것과 관련이 있다고 하였다. Olsen 등(2004)은 핸드볼 경기 중에 발생하는 하지 부상 원인을 규명하는 연구에서, 방향전환 동작과 한 발 착지 동작에서 발생한다고 하였다. 공격에서의 부상은 한 발로 착지할 때 앞으로 달려가거나 방향전환 없이 감속하는 상황에서 일어난다(Olsen et al., 2004). 자세 조정과 반사 반응은 스포츠 경기 중에 움직임에 따라 변한다(Besier et al., 2003). 위험한 동작이 많은 스포츠에서 예측되지 못한 상황에서 자세 조정을 할 시간이 적으면 하지 부상의 원인이 된다(Besier et al., 2001).

#### (5) 부상 이전에 관한 연구

부상 이전에 관한 연구는 미래에 입을 부상 위험을 예측하는 좋은 단서이다. 이런 개념은 하지 부상뿐만 아니라 일반적인 부상에도 적용된다(Hewett et al., 2005). 하지 부상은 다친 부위의 재발 보다는 반대편 무릎에서 더 흔하게 발생한다. Shelbourne 등(1998)은 반대쪽 무릎이 파열된 경우는 26건 중에 1건이고, 파열된 무릎이 다시 파열되는 경우는 38건 중에 1건이라고 보고하였다. Boden 등(2000)은 하지의 10% 정도가 양쪽 무릎을 동시에 다친 경우라고 보고하였다. 축구, 농구, 핸드볼, 레슬링 등과 같이 상대편 선수

와 접촉이 있는 운동종목은 접촉성 부상 비율이 높다. 반면에 배구, 스키와 같이 상대편 선수와 접촉이 없는 운동종목은 비접촉성 부상 비율이 높게 나타났다(Hewett, Myer & Ford, 2006; Lim et al., 2009).

Dunn 등(2004)은 6000명 이상의 젊은 환자들에게서 하지 재건 수술 후 재부상 위험에 대해서 연구하였다. 하지 재수술 비율은 수술을 받지 않은 집단보다 수술을 받은 집단에서 현저히 낮게 나타났다. 나이가 젊은 층은 수술하지 않고 치료하다가 실패하는 대표적인 케이스이며, 이후에 뒤늦게 수술을 택하게 된다. 그러나 하지 부상이 재건 수술 후에 예방된다는 객관적인 자료는 아직 부족한 실정이다. 무릎 또는 하지 부상 이전에 관한 연구는 미래에 발생할 하지 위험을 예측할 수 있는 좋은 예이다.

## 7. 점프 후 착지 동안 하지와 관련된 연구

Ford 등(2003)은 47명의 여자와 34명의 남자 고등학교 농구 선수들을 대상으로 점프 후 착지할 때 무릎 외번 동작에서 차이가 있는지 연구하였다. 연구 결과, 여자 고등학교 농구 선수들은 남자 고등학교 농구 선수들에 비해서 착지할 때 전체 외번 무릎 운동과 최대 외번 무릎 각도 값이 더 크게 나타났다. 또한, 여자 농구 선수들은 최대 외번 무릎 각도에서 주 다리와 부 다리 사이에서 유의미한 차이가 나타났다. 결론적으로 여자들은 동적인 무릎 관절의 안정성이 남자보다 떨어져서, 무릎 부상의 발생률이 증가하며, 여성들의 하지 부상이 남성보다 5배가 높은 만큼 근신경 훈련을 통해서 예방해야 한다고 보고하였다.

Hewett 등(2004)은 스포츠 부상의 위험이 높은 205명의 여자 축구, 농구, 배구 선수들을 대상으로 한 점프-착지 과제에서 하지 부상을 입은 9명은 하지 부상을 입지 않은 196명과 비교해서 무릎에 가해지는 부하와 자세가 다

르다고 하였다. 하지 부상을 입은 9명은 착지할 때 무릎 외번 각도가  $8^{\circ}$  더 크고, 무릎 외전 모멘트가 2.5배 더 크며, 지면반력이 20% 더 크게 나타났다. 반면에, 지지시간은 16% 더 짧게 나타나서 힘과 회전력이 더 빠르게 나타났다. 무릎 외번 모멘트를 통해서 하지 부상 위험을 예측할 수 있다고 하였다. 결론적으로 착지할 때 무릎에 가해지는 부하와 자세에 대한 연구는 여자 선수들의 하지 부상을 예측할 수 있는 결정요인이라고 하였다.

Agel, Arendt, Bershadsky(2005)은 1990년부터 2002년도 까지 13년 동안 남자 및 여자 농구선수와 축구선수들의 하지 부상과 관련된 자료를 연구하였다. 남자 농구선수들과 여자 농구선수들 사이에서는 접촉 상해와 비접촉 상해의 발생빈도에는 통계적인 차이가 나타나지 않았다. 100명의 여자 농구선수들은 접촉 상해를 입었고, 305명의 여자 농구선수들은 비접촉 상해를 입었다. 여자 농구선수들의 하지 부상 발생률은 0.29이며, 여자 축구선수들의 하지 부상 발생률은 0.33이라고 보고하였다. 결론적으로 종목에 상관없이 여자 선수들의 하지 부상 발생률은 남자 선수들보다 더 크다고 하였다.

### III. 연구 방법

본 연구는 사춘기 전·중·후의 여성들을 대상으로 드롭 랜딩 동작 시 완충 동작의 변화 양상을 규명하는 것이다. 연구 대상, 실험 도구, 실험 절차, 자료 분석, 그리고 통계 처리는 다음과 같다.

#### 1. 연구대상

본 연구에 참가한 연구 대상자는 사춘기 전(7~10세), 사춘기 중(13~16세), 사춘기 후(21~24세) 여성 각 15명씩 총 45명이다. 사춘기의 구분은 성장발달 기준에 의해 초조(初潮) 이전을 사춘기 전, 초조와 2차 성징이 나타난 시기를 사춘기 중, 심신 양면으로 성숙기에 접어든 청년기를 사춘기 후로 분류하였다. 실험 당시 부상 중이거나 과거에 부상 경험이 있는 여성들은 안전을 위해 본 실험에서 제외하였다. 부모, 학교장과 관할 교육청의 실험 참가 동의를 얻어서 본 연구를 수행하였다.

#### 2. 실험 도구

본 연구에 사용될 실험도구는 <표 1>과 같고, 실험도구의 배치도는 <그림 1>과 같다.

표 1. 실험 도구

실험 도구	모델명	용도	국명
영상분석 시스템	Kwon 3D XP	동작 분석	한국
지면반력 시스템	AMTI ORG-6	지면반력 분석	미국

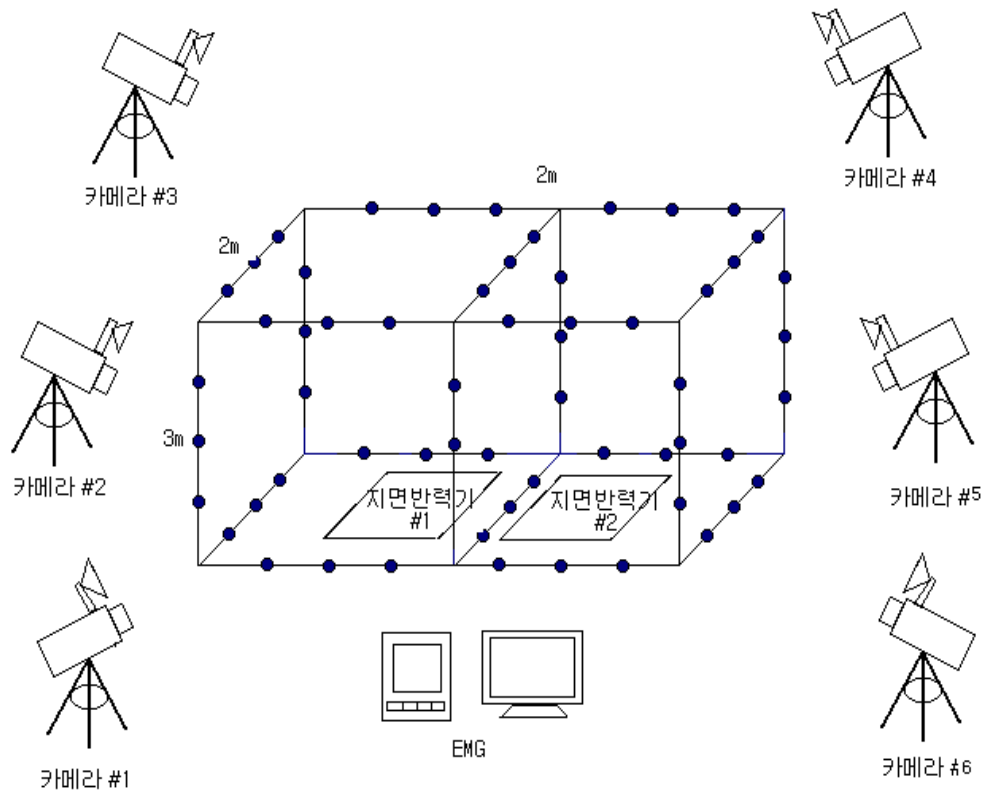


그림 1. 실험도구의 배치도

### 1) 영상분석 측정 도구

고해상도 비디오카메라(Motion Master 100, 비주얼, 광명) 6대를 사용하여 드롭 랜딩 동작을 촬영하였다. 노출시간은 1/500초, 카메라의 속도는 초당 200프레임(200Hz)으로 설정하였다.

### 2) 지면반력 측정 도구

지면반력을 측정하기 위하여 지면반력기(AMTI ORG-6, AMTI) 2대를 사용하였다. 지면반력 자료는 초당 2000개(2000Hz)로 수집하였다.

### 3) 동조 도구

영상신호와 지면반력 신호간의 동조는 동조시스템박스(VSAD-101USB, 비솔, 광명)를 사용하였다. 동조시스템박스에 6대의 LED와 지면반력의 동조 채널이 연결되어 있어 동조 버튼을 누르면 6대의 LED에 불빛이 생성되어 6대의 카메라에 불빛 신호가 기록되고, 동시에 지면반력 동조 채널에 전압 신호가 입력되도록 하여 동조를 시키도록 제작되어 있다.

### 3. 실험절차

본 연구의 실험 절차는 실험도구의 설치, 반사 마커 부착, 드롭 랜딩 동작 촬영의 순서로 진행하였다. 실험 당일 본 실험의 목적 및 주의사항, 그리고 실험 방법 등을 충분히 설명하여 연구대상자가 최대의 능력을 발휘하도록 교육 시켰으며, 드롭 랜딩 동작을 수차례 연습 시켰다. 실험 절차는 <그림 2>와 같다.

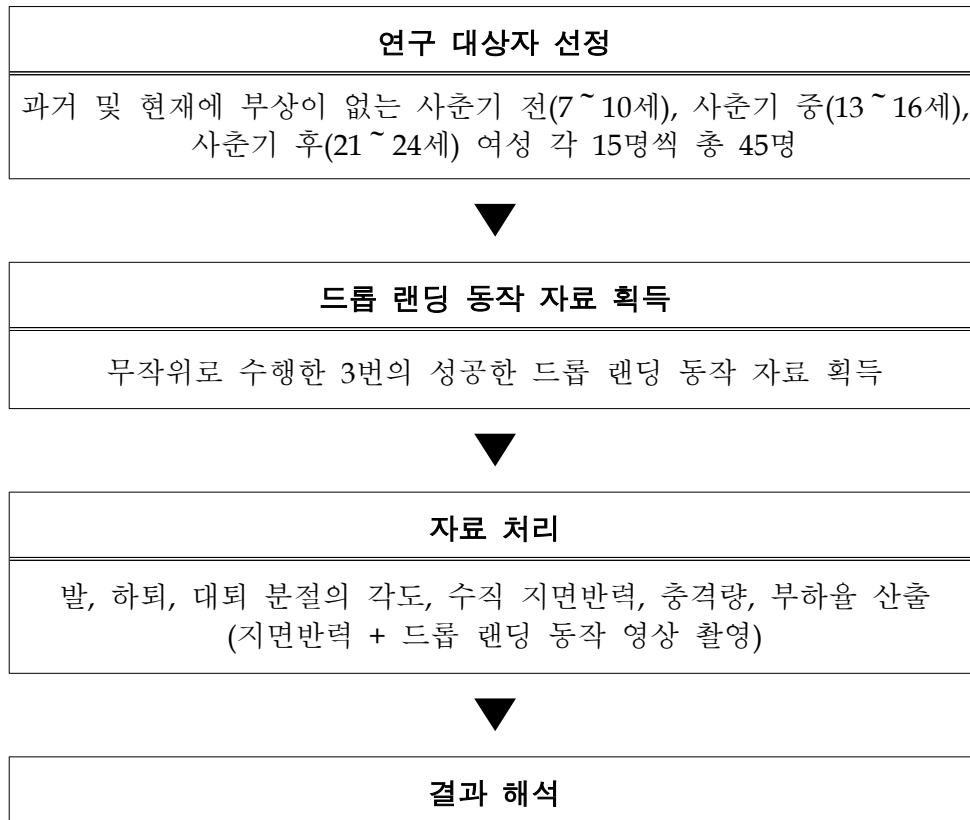


그림 2. 실험 절차

**1) 카메라, 지면반력기, 박스의 설치**

드롭 랜딩 동작을 기준으로 고해상도 카메라를 연구대상자의 앞쪽에 3대, 뒤쪽에 3대, 총 6대의 카메라를 설치하였다. 지면반력기는 연구대상자가 뛰어 내리는 지점에 나란히 붙여서 설치하였다. 박스의 높이는 각 연구대상자의 무릎 높이로 제작하여 사용하였다.

**2) 마커 부착**

인체의 운동학적 변인을 산출하기 위해 반사 마커를 좌·우 상전장골극 (Anterior Superior Iliac Spine, ASIS), 상후장골극(Posterior Superior Iliac Spine, PSIS), 좌·우 대퇴 중앙지점(mid thigh), 좌·우 외측상과(Lateral

Condyle), 좌·우 내측상과(Medial Condyle), 좌·우 하퇴 중앙지점(mid shank), 좌·우 외과(Lateral Malleolus), 좌·우 내과(Medial Malleolus), 좌·우 뒤꿈치(Heel), 좌·우 앞꿈치(Toe)에 부착 하였다<그림 3>.

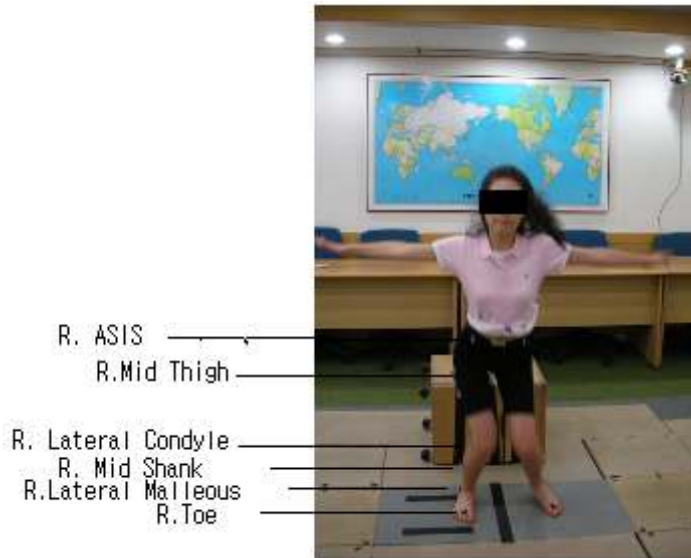


그림 3. 마커의 부착 위치

### 3) 드롭 랜딩 동작 촬영

공간 좌표 설정을 위해 가로 2m, 세로 2m, 높이 3m의 통제점 틀을 연구 대상자의 드롭 랜딩 동작을 완전히 포함할 수 있을 정도의 범위에 세운 후 통제점 틀의 앞쪽과 뒤쪽에 각각 3대씩, 총 6대의 고해상도 비디오카메라 (MotionMaster100, 비슬, 광명)를 설치하였다.

드롭 랜딩 동작을 하기 전에 통제점 틀을 촬영하고 이를 제거한 후, 통제점 틀 공간 내에서 드롭 랜딩 동작을 실시하였다. 드롭 랜딩 동작 수행 순서는 무작위로 배정한 후 한 사람씩 돌아가며 3번을 수행하였다. 지역 좌표계 설정과 관절의 중심점을 찾기 위해 양 발 간격을 20cm 평행하게 유지한 정지 자세(static trial)를 약 3초간 촬영하였다. 정지 자세에서 관절의 중심

점을 찾기 위해서 사용되었던 좌·우 내과(Medial Malleous), 좌·우 내측상과(Medial Epicondyle) 마커는 드롭 랜딩 동작 수행 전에 제거하였다. 6대의 고해상도 비디오카메라를 사용하여 200Hz의 속도로 드롭 랜딩 동작을 촬영하였다. 드롭 랜딩 동작은 연구대상자를 무릎 높이의 박스 위에서 양 발을 편안하게 벌린 상태로 지면 반력기 위에 한 대에 한 발씩 뛰어 내리도록 하였다. 드롭 랜딩 시 넘어지거나 균형을 잃거나 손이 지면에 닿지 않은 성공적인 3회의 시기를 기록하였다<그림 4>. 분석 시에는 주동발로 수행한 3회의 시기를 평균내서 분석하였다.

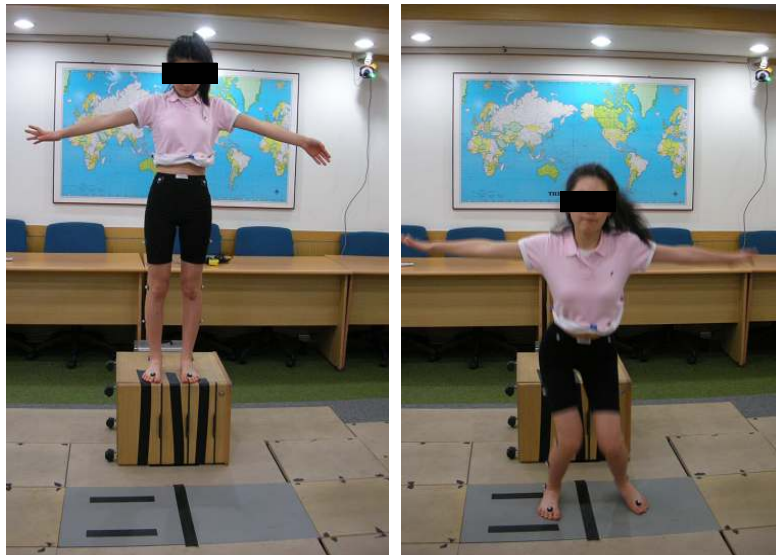


그림 4. 드롭 랜딩 동작

#### 4. 자료분석

영상으로 촬영된 자료 및 지면반력의 분석은 Kwon3d XP 운동동작 분석 프로그램을, 통계처리는 윈도우용 SPSS 14.0 분석 프로그램을 활용하였다. 자료 획득 및 처리 절차는 <그림 5>와 같다.

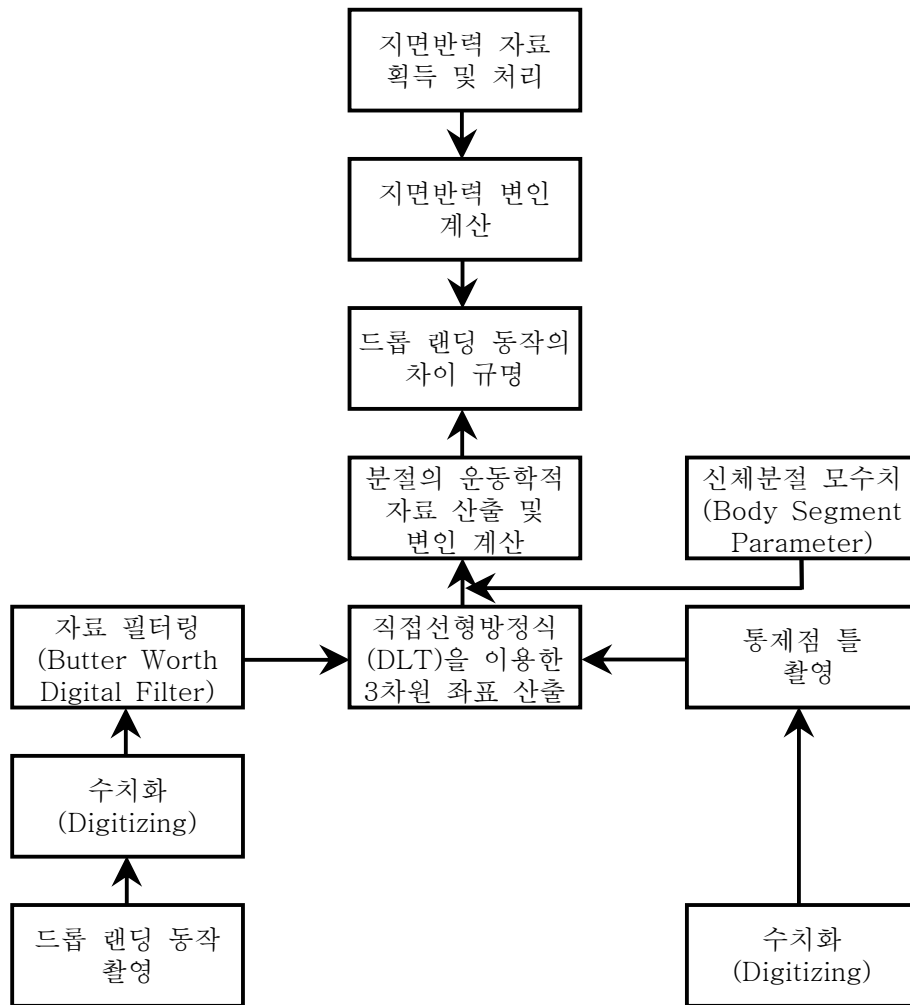


그림 5. 자료획득 및 처리절차

### 1) 3차원 좌표의 계산

통제점 및 인체에 부착된 반사 마커의 3차원 좌표 계산은 Abdel-Aziz와 Karara(1971)의 직접선형변형식(DLT, Direct Linear Transformation)을 사용하였다. 3차원 좌표 계산 시 발생하는 노이즈(noise)를 제거하기 위하여 저역 통과 필터(lowpass filter) 방법에 의해 스무딩하고, 차단 주파수는 9Hz로 설정하였다(Ford et al., 2003).

## 2) 인체좌표계(지역좌표계) 설정

엉덩, 무릎, 발목 관절 중심의 계산과 근위분절에 대한 원위분절의 상대 자세변인의 계산을 위한 인체좌표계(지역좌표계) 설정 방법은 <그림 6>과 같다. 하퇴의 지역좌표계는 대퇴에서 정의된 지역좌표계와 동일한 방법으로 설정하였다.

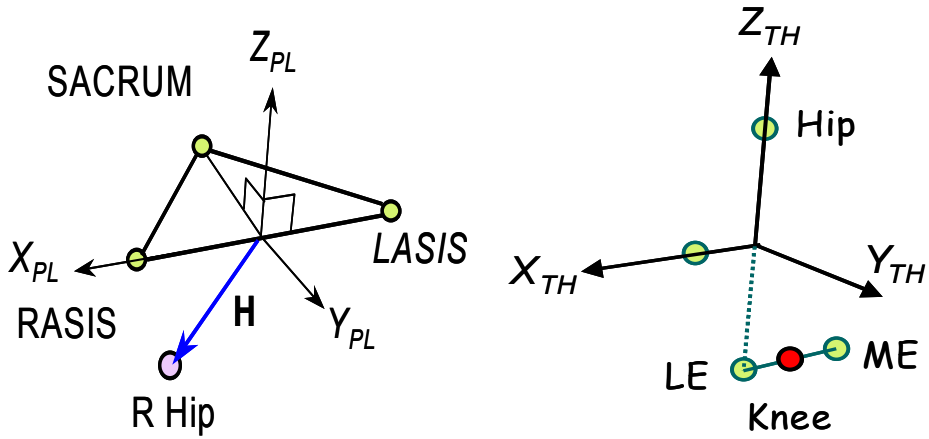


그림 6. 골반과 대퇴에서 정의된 인체좌표계

## 3) 관절중심의 계산

발, 무릎, 엉덩 관절 중심은 Tylkowsky 방식(Tylkowski, Simon & Mansour, 1982)을 사용하여 계산하였다. 엉덩 관절 중심의 계산 방법은 <그림 7>과 같고, 무릎 관절 중심의 계산 방법은 <그림 6>과 같다. 발목 관절 중심의 계산 방법은 무릎 관절 중심의 계산 방법과 동일하다.

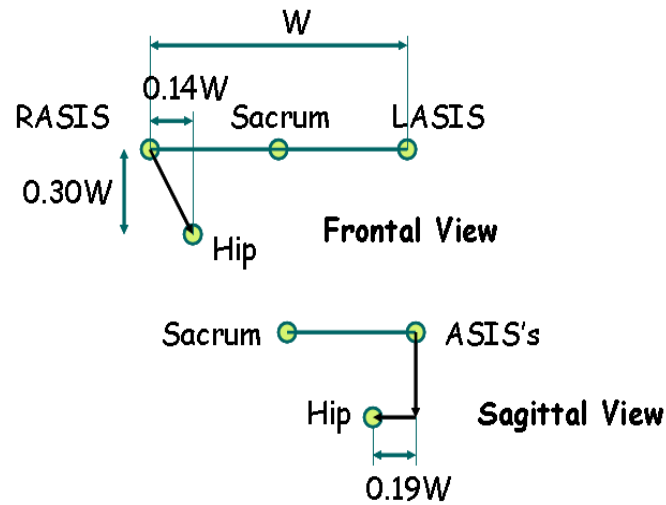


그림 7. 엉덩 관절 중심의 계산  
(Tylkowski, Simon & Mansour, 1982)

#### 4) 하지 굴곡, 외전 및 내·외측 회전 각도의 계산

하지 굴곡, 외전 및 내·외측 회전 각도는 관절좌표계의 방향각 (orientation angle)을 통해서 계산하였다(Grood & Suntay, 1983). 신체분절 들은 관절을 중심으로 연결되어 있으며, 관절 구조는 관절의 운동 형태를 결정한다. 관절운동은 관절을 형성하는 근위 분절에 대한 원위분절의 상대 적인 운동이다. 설정된 두 개의 지역좌표계에서 x축-y축-z축으로 회전을 한 도식은 <그림 8>과 같다.

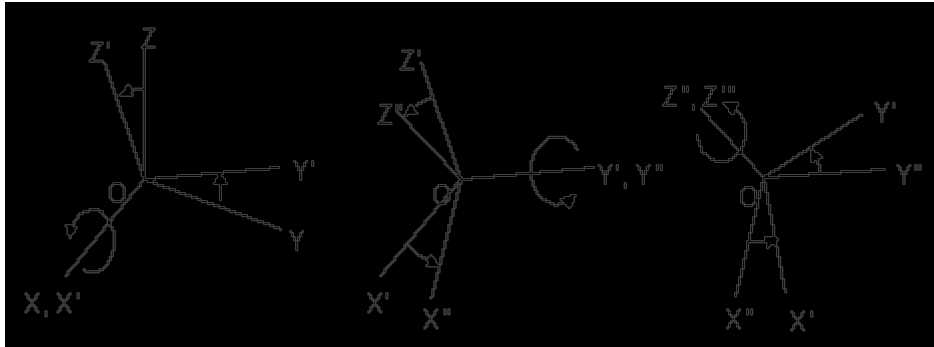


그림 8. x축-y축-z축 회전

대퇴와 하퇴에 설정된 지역 좌표축의 단위 벡터를 산출하고, 동작이 변함에 따른 지역 좌표축의 변화는 오일러 각(Eulerian angles)을 이용하여 계산하였다. 오일러 각의 산출은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 T_{AB} &= \begin{pmatrix} \cos \Psi & \sin \Psi & 0 \\ -\sin \Psi & \cos \Psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \Theta & 0 & -\sin \Theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \Theta & 0 & \cos \Theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \Phi & \sin \Phi \\ 0 & -\sin \Phi & \cos \Phi \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} \cos \Theta \cos \Psi & \sin \Phi \sin \Theta \cos \Psi + \cos \Phi \sin \Psi & -\cos \Phi \sin \Theta \cos \Psi + \sin \Phi \sin \Psi \\ -\cos \Theta \sin \Psi & -\sin \Phi \sin \Theta \sin \Psi + \cos \Phi \cos \Psi & \cos \Phi \sin \Theta \sin \Psi + \sin \Phi \cos \Psi \\ \sin \Theta & -\sin \Phi \cos \Theta & \cos \Phi \cos \Theta \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} \\ u_{21} & u_{22} & u_{23} \\ u_{31} & u_{32} & u_{33} \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\Theta = \arcsin(t_{31}) \quad -\frac{\pi}{2} < \Theta < \frac{\pi}{2}$$

$$\Phi = \begin{cases} \arctan\left(\frac{-u_{32}}{u_{33}}\right) & (\text{if } u_{33} > 0) \\ \arctan\left(\frac{-u_{32}}{u_{33}}\right) + \pi & (\text{if } u_{33} < 0) \end{cases}$$

$$\Psi = \begin{cases} \arctan\left(\frac{-u_{21}}{u_{11}}\right) & (\text{if } u_{11} > 0) \\ \arctan\left(\frac{-u_{21}}{u_{11}}\right) + \pi & (\text{if } u_{11} < 0) \end{cases}$$

본 연구에서 설정한 인체 좌표계의 x축, y축, z축은 각각 좌우축, 전후축, 수직축을 의미하며, 3가지의 연속적인 회전은 각각 굴곡-신전, 내전-외전, 내측-외측 회전을 나타낸다.

본 연구에서 골반좌표계는 전역좌표계(global reference frame), 대퇴좌표계는 골반좌표계, 하퇴좌표계는 대퇴좌표계와의 상대적인 운동으로 정의하였다. 인체 좌표계의 x축, y축, z축은 각각 좌우축, 전후축, 수직축을 의미하며, 3가지의 연속적인 회전은 각각 굴곡-신전, 내번-외번, 내측-외측 회전을 의미한다.

### 5) 충격량과 부하율의 계산

충격량은 지면반력기 위에 착지한 후 무릎이 최대로 굴곡된 시점까지 수직지면반력 값을 시간에 대하여 적분하여 계산하였다. 충격량은 3차 스플라인법에 의한 적분으로 구하였다<그림 9>.

$$I_i = \int_{t_{i0}}^{t_{id}} F_i(t) dt \quad \left\{ \begin{array}{l} t_{TD} : \text{신체가 지면에 착지한 시간} \\ t_{T0} : \text{신체가 지면에서 이지한 시간} \\ F_i(t) : \text{수직 충격량} \\ I_i : \text{충격량} \end{array} \right.$$

부하율의 계산 공식은 다음과 같다(채원식, 2006).

$$\text{부하율 (N/sec)} = (P1-F50+) / (T1-T50+)$$

- P1: 지면반력 착지 시 발생하는 최대수직반력값(N)
- F50+: P1발생 전 수직지면반력이 50N의 값을 넘어선 최초의 수직지면반력 값(N)
- T1: P1 발생하는 시점(sec)
- T50+: F50+ 이 발생하는 시점(sec)

충격량과 부하율의 분석구간은 지면반력기 위에 착지한 순간부터 무릎이 최대로 굴곡된 시점까지이다. 지면반력을 통하여 알 수 있는 지면반력의 크기 및 충격량 산출에 있어서 연구 대상자들 간의 체중이 다르기 때문에 연구 대상자간의 비교를 위하여 결과를 대상자들의 몸무게로 나누어 일반화하였다.

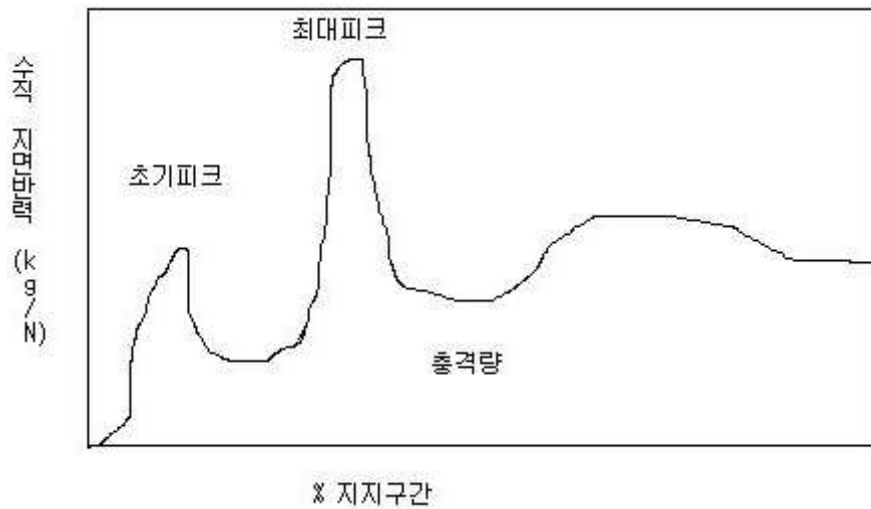


그림 9. 지면반력의 초기피크, 최대피크, 충격량

## 5. 통계 분석

본 연구는 사춘기 전·중·후 여성들을 대상으로 드롭 랜딩 동작 시 완충 동작의 변화 양상을 규명하는 것이다. 따라서 성숙(3수준, 사춘기 전·중·후)을 독립변인으로 하는 일원 변량 분석을 실시하였다. 가설 검증을 위한 유의 수준은  $\alpha=.05$ 로 설정하였으며, 사후검증은 Tukey 방법을 사용하였다.

## IV. 연구 결과

본 연구는 사춘기 전·중·후의 여성들을 대상으로 드롭 랜딩 동작 시 완충 동작의 변화 양상을 규명하는 것이다. 본 연구를 통하여 나타난 결과는 다음과 같다.

### 1. 대퇴 분절의 굴곡, 외전 및 내측회전 각도

사춘기 전·중·후 여성들을 대상으로 드롭 랜딩 동작 시 대퇴 분절의 굴곡, 외전 및 내측회전 각도를 측정된 결과는 <표 2>와 같다.

사춘기 중과 후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 대퇴 분절의 굴곡 각도가 더 작게 나타났다( $p<.05$ )<그림 10>. 사춘기 중의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 대퇴 분절의 외전 각도가 더 크게 나타났다( $p<.05$ )<그림 11>. 사춘기 중과 후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 대퇴 분절의 내측회전 각도가 더 크게 나타났다( $p<.05$ )<그림 12>.

표 2. 대퇴 분절의 굴곡, 외전 및 내측회전 각도

변인	성숙도		
	사춘기 전 (n=15)	사춘기 중 (n=15)	사춘기 후 (n=15)
대퇴 굴곡(도)	69.74 (21.90)	42.27* (16.09)	48.21* (14.08)
대퇴 외전(도)	-0.28 (0.08)	-5.90* (1.84)	-3.36 (2.23)
대퇴 내측회전(도)	24.39 (11.61)	47.13* (9.10)	38.27* (12.01)

\*사춘기전과의 통계적인 차이( $p<.05$ )

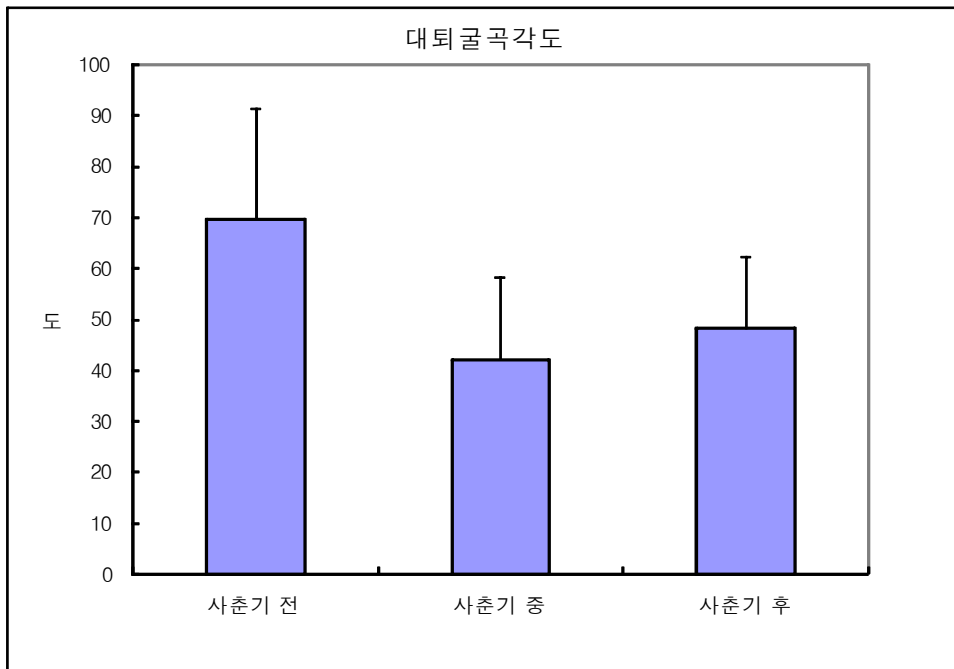


그림 10. 사춘기 전·중·후 여성들의 대퇴굴곡 각도의 비교

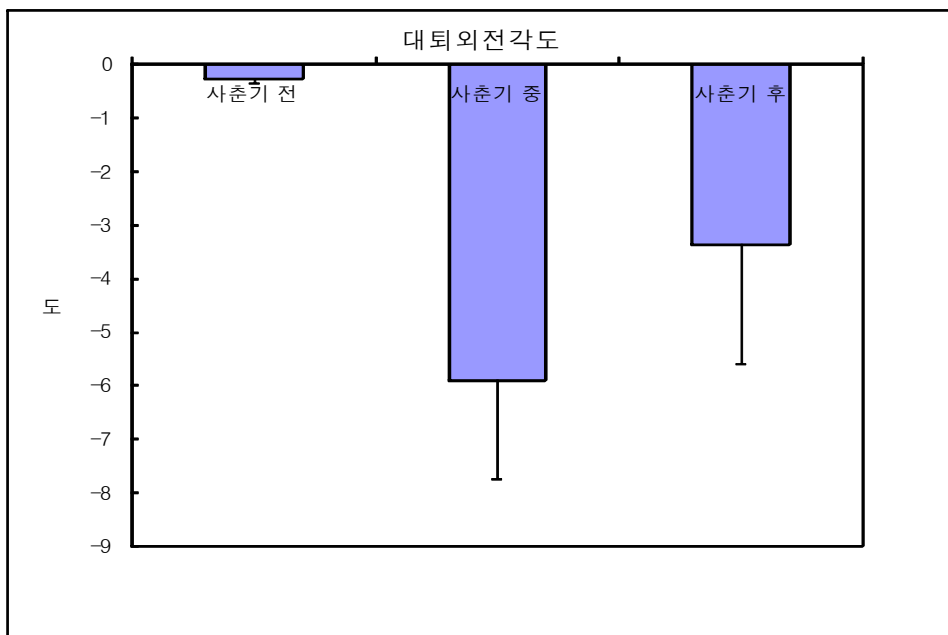


그림 11. 사춘기 전·중·후 여성들의 대퇴외전 각도의 비교

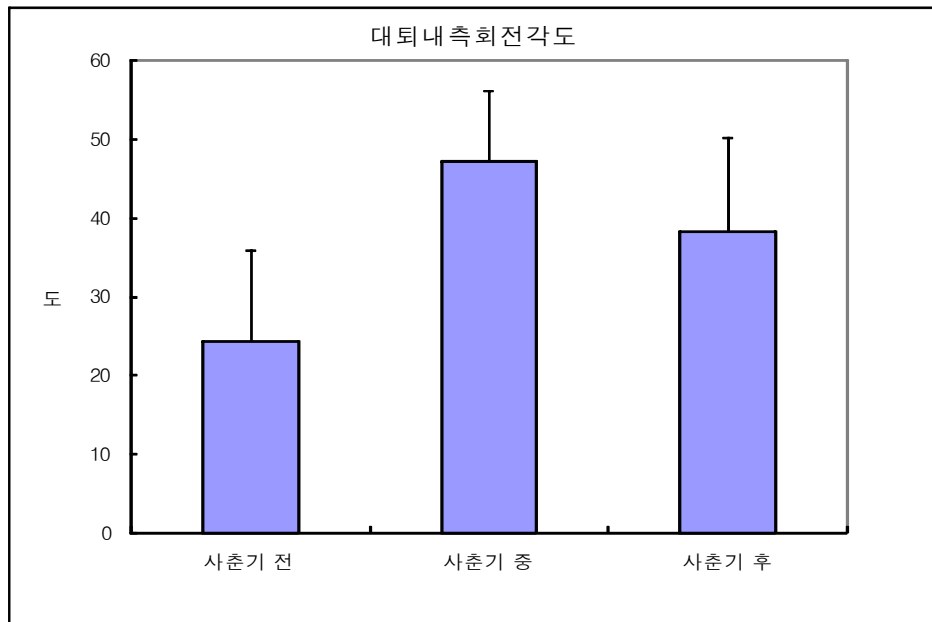


그림 12. 사춘기 전·중·후 여성들의 대퇴내측회전 각도의 비교

## 2. 하퇴 분절의 굴곡, 외전 및 외측회전 각도

사춘기 전·중·후 여성들을 대상으로 드롭 랜딩 동작 시 하퇴 분절의 굴곡, 외전 및 외측회전 각도를 측정된 결과는 <표 3>과 같다.

사춘기 중의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 하퇴 분절의 굴곡 각도가 더 작게 나타났다( $p < .05$ )<그림 13>. 사춘기 중과 후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 하퇴 분절의 외전 각도가 더 크게 나타났다( $p < .05$ )<그림 14>.

표 3. 하퇴 분절의 굴곡, 외전 및 외측회전 각도

변인	성숙도		
	사춘기 전 (n=15)	사춘기 중 (n=15)	사춘기 후 (n=15)
하퇴 굴곡(도)	108.23 (22.92)	76.77* (18.95)	83.91 (12.75)
하퇴 외전(도)	-1.52 (5.53)	-14.25* (7.13)	-13.80* (6.03)
하퇴 외측회전(도)	-1.91 (13.76)	-3.42 (10.09)	-2.05 (20.53)

\*사춘기전과의 통계적인 차이(p<.05)

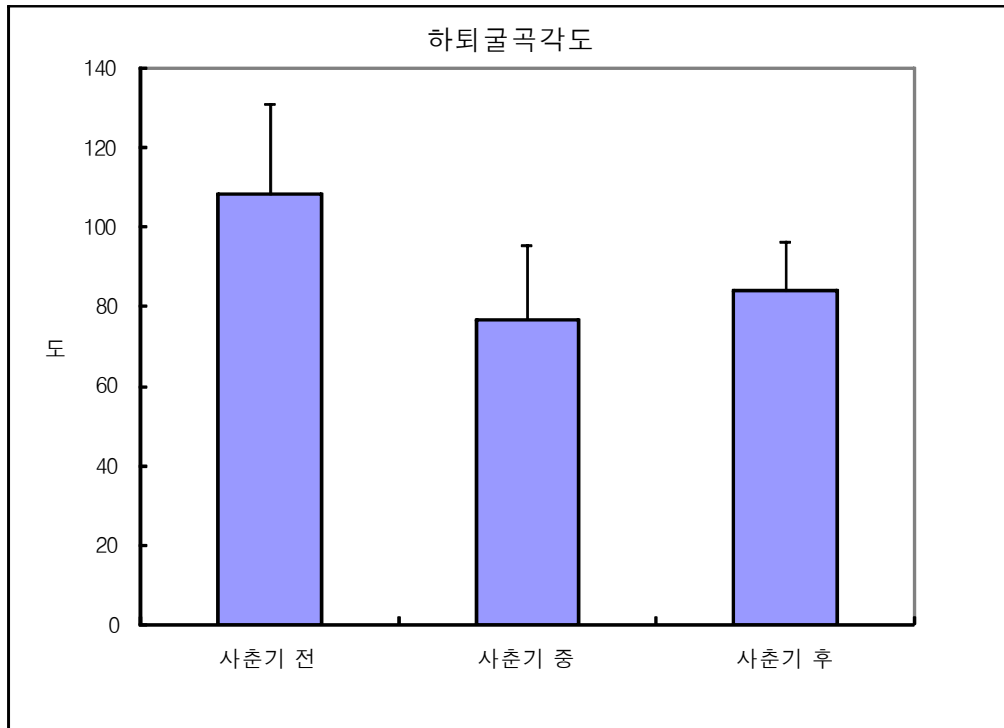


그림 13. 사춘기 전·중·후 여성들의 하퇴굴곡 각도의 비교

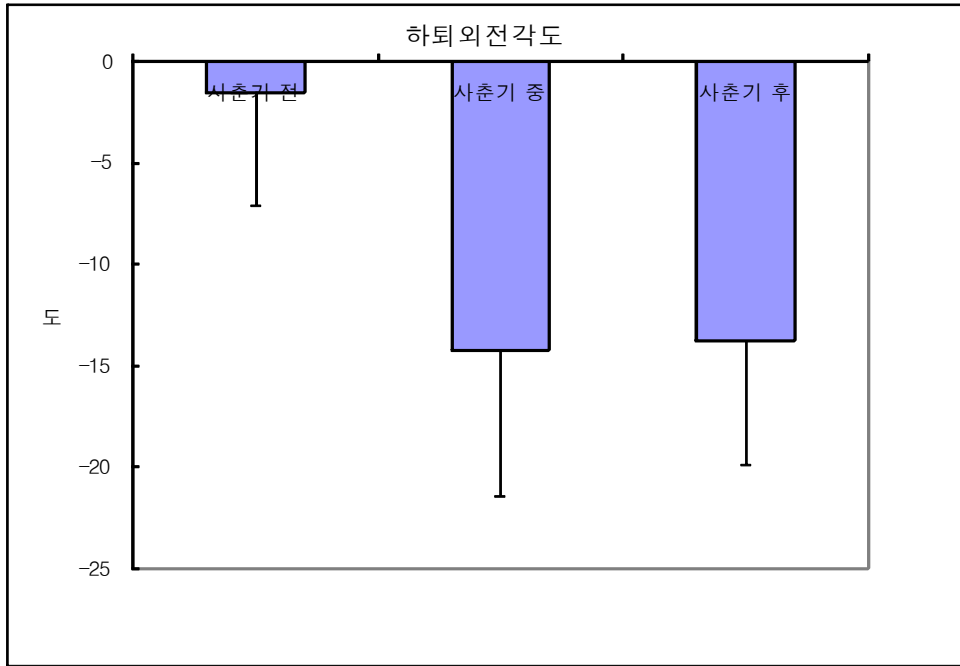


그림 14. 사춘기 전·중·후 여성들의 하퇴외전 각도의 비교

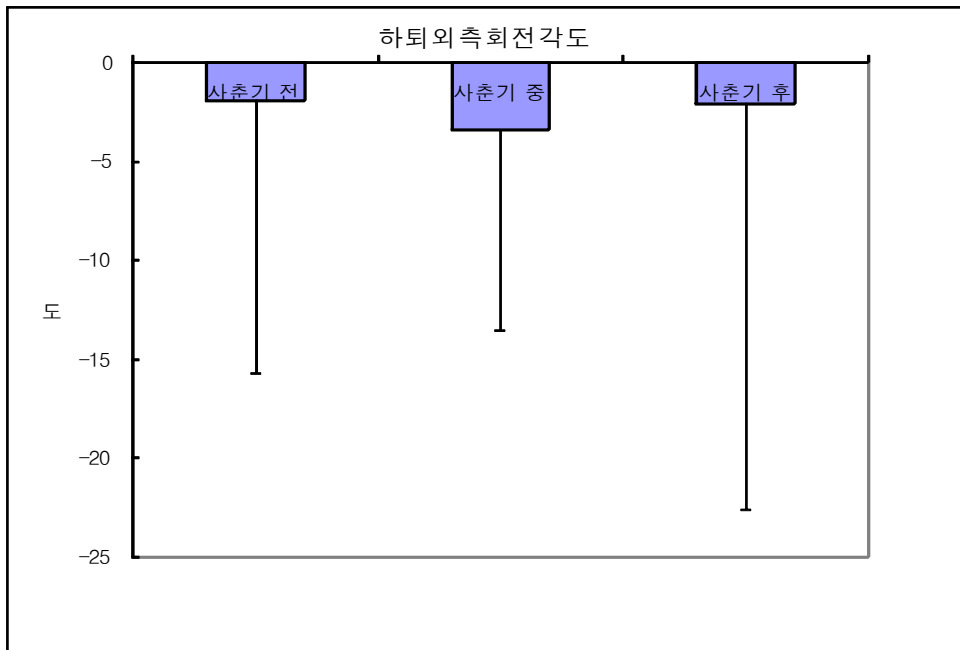


그림 15. 사춘기 전·중·후 여성들의 하퇴외측회전 각도의 비교

### 3. 발 분절의 배측굴곡, 외전 및 내번 각도

사춘기 전·중·후 여성들을 대상으로 드롭 랜딩 동작 시 발 분절의 배측굴곡, 외전 및 내번 각도를 측정 한 결과는 <표 4>와 같다.

사춘기 중의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 발 분절의 외전 각도가 더 크게 나타났다( $p < .05$ )<그림 17>.

표 4. 발 분절의 배측굴곡, 외전 및 내번 각도

변인	성숙도		
	사춘기 전 (n=15)	사춘기 중 (n=15)	사춘기 후 (n=15)
발 배측굴곡(도)	37.67 (16.88)	26.07 (25.62)	30.07 (22.86)
발 외전(도)	-13.87 (13.88)	-17.16* (11.39)	-15.89 (9.39)
발 내번(도)	13.57 (27.25)	22.66 (18.35)	26.56 (24.66)

\*사춘기전과의 통계적인 차이( $p < .05$ )

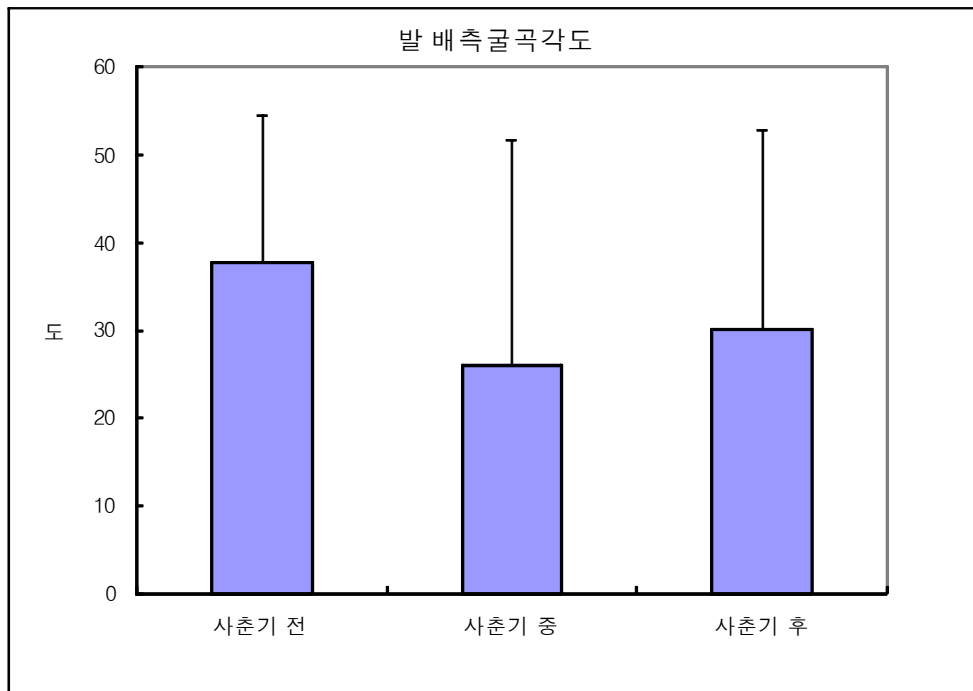


그림 16. 사춘기 전·중·후 여성들의 발 배측굴곡 각도의 비교

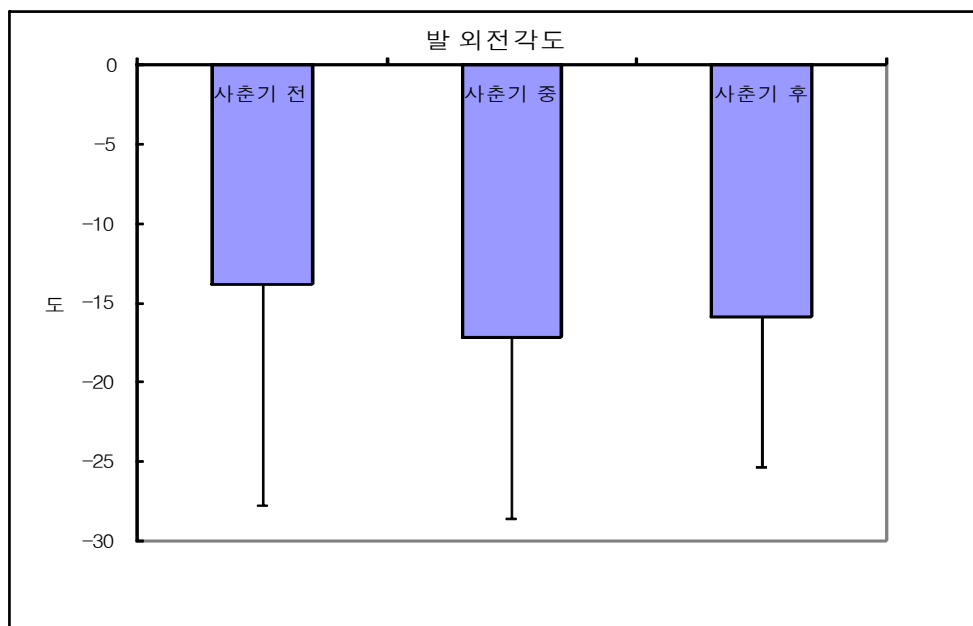


그림 17. 사춘기 전·중·후 여성들의 발 외전 각도의 비교

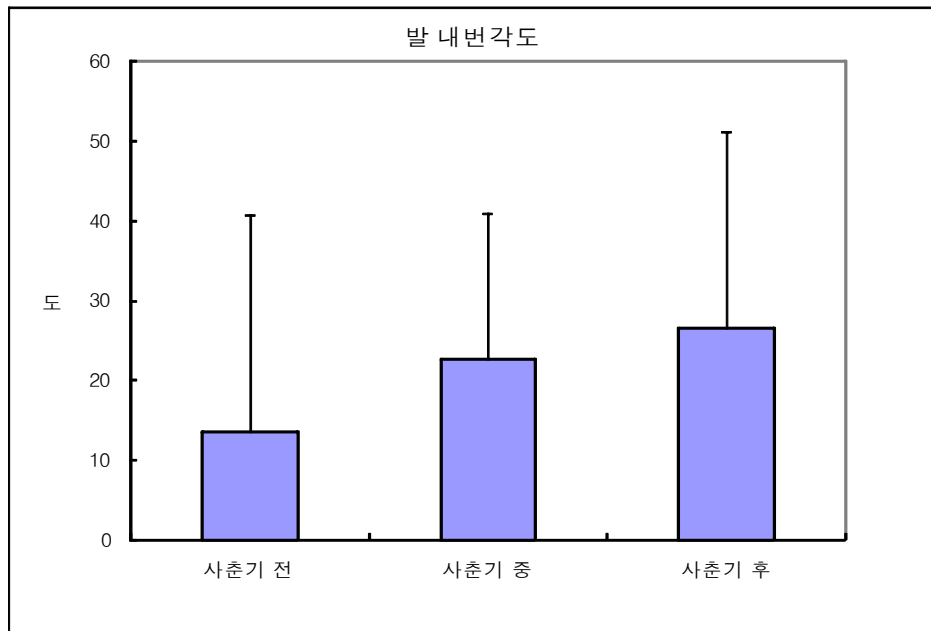


그림 18. 사춘기 전·중·후 여성들의 발 내번 각도의 비교

#### 4. 지면반력의 초기피크, 최대피크, 충격량, 부하율

사춘기 전·중·후 여성들을 대상으로 드롭 랜딩 동작 시 지면반력의 초기 피크, 최대피크, 충격량 및 부하율을 측정된 결과는 <표 5>와 같다.

사춘기 중과 후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 초기피크 값이 더 크게 나타났다( $p < .05$ )<그림 19>. 사춘기 중과 후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 최대피크 값이 더 크게 나타났다( $p < .05$ )<그림 20>. 사춘기 중과 후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 충격량이 더 크게 나타났다( $p < .05$ )<그림 21>. 사춘기 중과 후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 부하율이 더 크게 나타났다( $p < .05$ )<그림 22>.

표 5. 사춘기 전·중·후 여성들을 대상으로 드롭 랜딩 동작 시 지면반력 변인의 비교

변인	성숙도		
	사춘기 전 (n=15)	사춘기 중 (n=15)	사춘기 후 (n=15)
초기피크 (N/kg)	5.94 (1.06)	8.94* (1.64)	9.01* (1.67)
최대피크 (N/kg)	12.90 (2.19)	16.84* (2.64)	17.05* (2.61)
충격량 (Ns/kg)	2.83 (0.18)	3.15* (0.29)	3.21* (0.27)
부하율 (N/s)	9861.37 (2364.94)	11342.57* (2645.34)	12394.61* (2867.64)

\*사춘기전과의 통계적인 차이(p<.05)

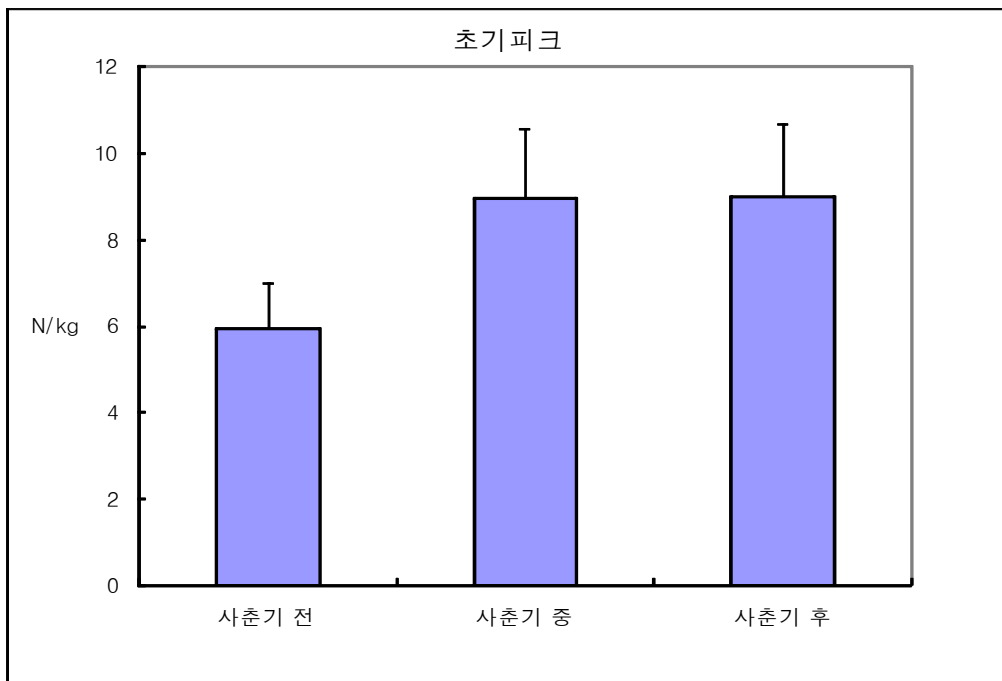


그림 19. 사춘기 전·중·후 여성들의 지면반력 초기피크 값의 비교

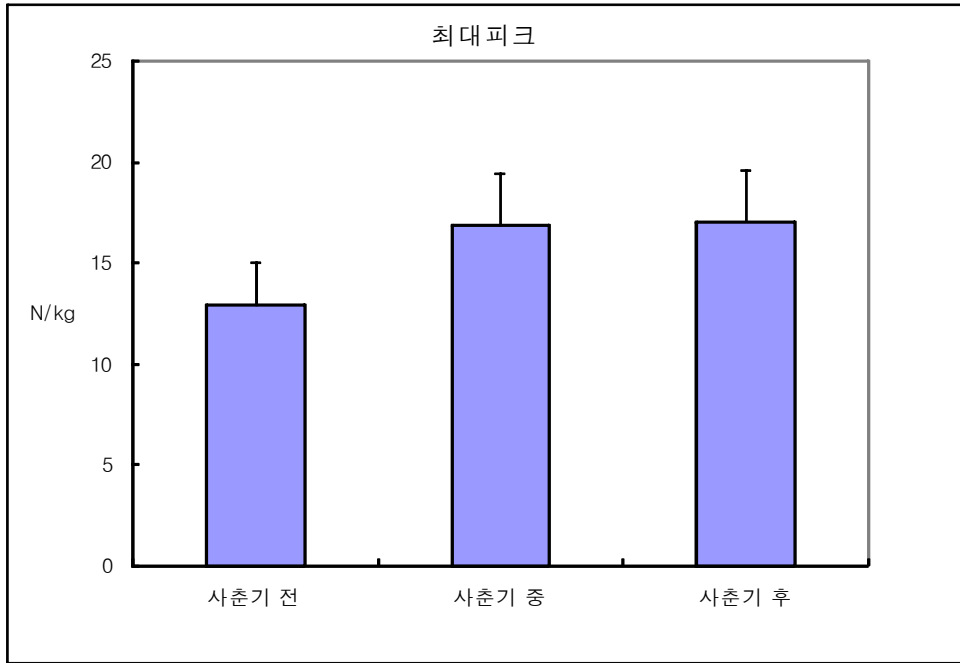


그림 20. 사춘기 전·중·후 여성들의 지면반력 최대피크 값의 비교

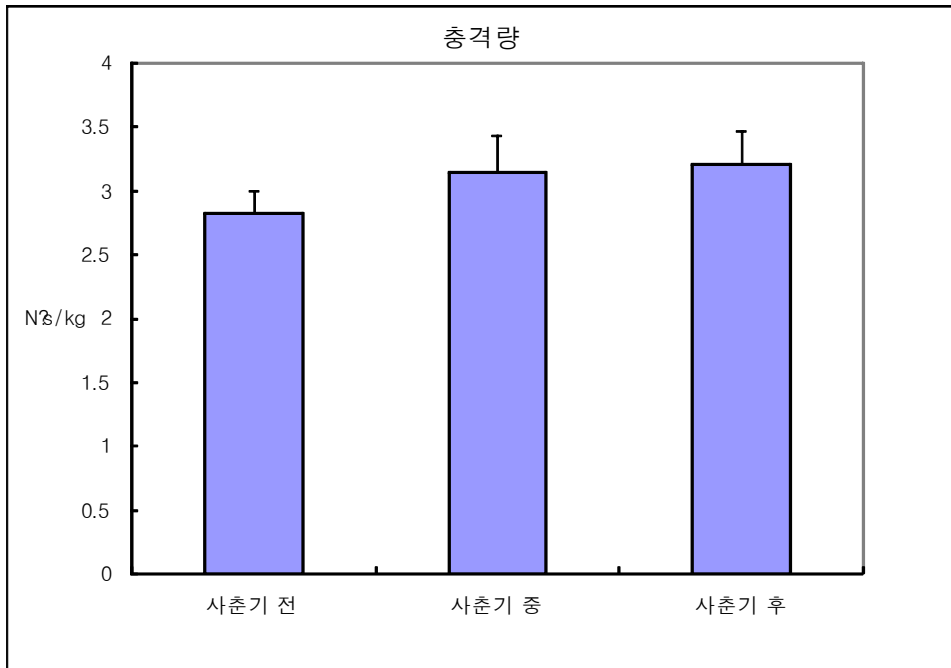


그림 21. 사춘기 전·중·후 여성들의 지면반력 충격량의 비교

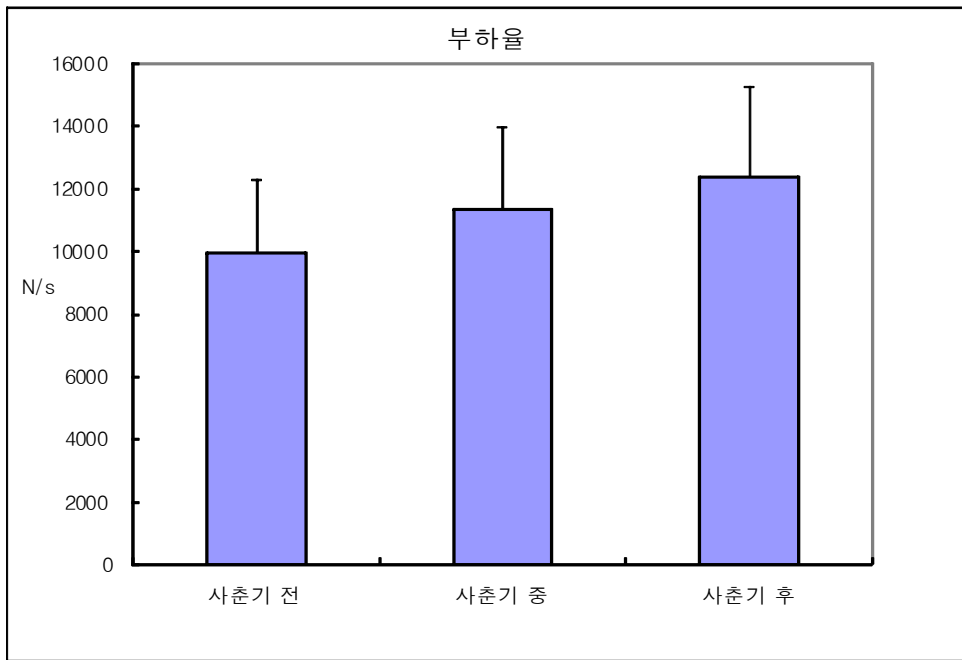


그림 22. 사춘기 전·중·후 여성들의 지면반력 부하율의 비교

## V. 논의

본 연구는 사춘기 전·중·후의 여성들을 대상으로 드롭 랜딩 동작 시 완충 동작의 변화 양상을 규명하는 것이다. 본 연구에서 설정한 가설대로 나이대 별 굴곡각도는 사춘기 중 여성들은  $42.27^\circ$ , 사춘기 이후의 여성들은  $48.21^\circ$  로 사춘기 이전 여성들의  $69.74^\circ$  에 비해 드롭 랜딩 시 대퇴의 굴곡 각도가 더 작은 것으로 드러났다. 외전 각도는 사춘기 중 여성들은  $5.90^\circ$  로 나타나서 사춘기 전 여성들의  $0.28^\circ$  에 비해서 더 크게 나타났다. 내측회전 각도는 사춘기 중 여성들은  $47.13^\circ$ , 사춘기 이후의 여성들은  $38.27^\circ$  로 나타나서 사춘기 전 여성들의  $24.39^\circ$  에 비해서 더 크게 나타났다. 이는 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 무릎의 전방십자인대에 부하가 더 많이 가해져서 비접촉성 전방십자인대 부상 위험이 증가한다는 것을 의미한다.

엉덩이는 여자선수들에게 동적인 관절 안정성을 조절하는 중요한 부위이며(Myklebust et al., 2003), 착지할 때 엉덩이 각도는 무릎에서의 충격력을 결정하는 중요한 요인이 된다(Malinzak et al., 2001). 여성들은 대퇴직근의 활성 증가와 둔근(gluteal)의 활성 감소를 포함하여 근수축 패턴에서 근신경 불균형을 보인다(Sell, Ferris, Abt, Tsai, Myers, Fu, & Lephart, 2004). 엉덩 동작을 조절하지 못하는 매우 고난도의 위험 과제는 무릎의 외전 동작을 무너뜨리고 전방십자인대 파열을 일으킬 수 있다(Boden et al., 2000). 여성들은 착지할 때 엉덩 굴곡 각도의 감소를 보였다. 또한 엉덩 근육 활성의 감소는 무릎의 외전 동작을 증가시켜서 비접촉성 전방십자인대 부상 위험을 증가시킨다(Ford et al., 2003; Hewett, Myer & Ford, 2006). 엉덩 내측회전의 증가와 엉덩 근육 활성의 감소는 부하를 증가시키고 전방십자인대에 긴장(strains)을 증가시킨다(Markolf, Burchfield, Shapiro, Shepard, Finerman & Slauterbeck, 1995).

본 연구에서 설정한 가설대로 사춘기 중 여성들은 굴곡각도가  $76.77^\circ$  , 사춘기 이후의 여성들은  $83.91^\circ$  로 나타나서, 사춘기 이전 여성들의  $108.23^\circ$  에 비해 드롭 랜딩 시 하퇴의 굴곡 각도가 더 작은 것으로 드러났다. 외전 각도는 사춘기 중 여성들은  $14.25^\circ$  , 사춘기 이후의 여성들은  $13.80^\circ$  로 나타나서, 사춘기 이전 여성들의  $1.52^\circ$  에 비해 드롭 랜딩 시 하퇴의 외전 각도가 더 컸다. McNair, Marshal, & Matheson(1990)은 전방십자인대 부상은 무릎이 최대로 신전했을 때부터  $20^\circ$  굴곡 사이에서 일어났다고 하였다. Olsen, Myklebust, Engebretsen & Bahr(2004)과 Boden, et al. (2000)의 비디오 분석에 의하면, 역시나 무릎 굴곡이  $0^\circ$  에서  $30^\circ$  사이에서 전방십자인대 부상이 일어났다고 하였다. 무릎에서의 동적인 외전 회전력은 전방으로의 경골 이동이 현저하게 증가하고 전방십자인대에 몇 배의 부하를 준다(Fukuda, Woo & Loh, 2003). 생체역학과 전향연구에서 무릎 외전 각도는 전방십자인대 부상 위험을 예측하는 요인이 된다(Hewett, Myer & Ford, 2005). 무릎 외전 각도는 전방십자인대 부상 집단이 부상을 입지 않은 집단보다  $8^\circ$  더 크게 나타났다. Hewett, et al. (2005)은 무릎의 굴곡 각도는 전방십자인대 부상의 강력한 예측 요인이 아니며, 부상을 입은 선수들에서 관찰된 외전 동작의 증가는 전방십자인대 파열을 일으키는 중요한 위험 요인이라고 보고하였다.

본 연구에서 설정한 가설대로 드롭 랜딩 시 발의 외전 각도는 사춘기 중 여성들은  $17.16^\circ$  로 사춘기 이전 여성들의  $13.87^\circ$  에 비해 그 각도가 더 크게 나타났다. 성별의 차이에서 오는 발목의 운동학적 차이 역시 전방십자인대 부상 비율에 영향을 준다(Griffin, Agel & Albohm, 2000). 발목 관절 각도의 차이는 관절력, 모멘트, 근활동 패턴에 영향을 미친다(Ford et al., 2005; Griffin et al., 2000). 발목 외번(eversion)의 증가는 전방십자인대 부상 비율에서 성의 차이를 나타내는 잠재적 요인이다. Ford, et al. (2005)은 방향전환 동작의 지지구간에서 여자 선수들은 남자선수들에 비해 최대 발목 외번

각도가 더 크게 나타났다고 보고하였다. 과도한 외번은 무릎의 외전 스트레스를 증가시키고, 전방으로 경골을 이동시키고, 전방십자인대에 부하를 증가시킨다(Nyland, Caborn, Shapiro, Johnson & Fang, 1999). 이와 같은 결과는 발의 회내(pronation)와 경골의 내측회전과 동반된다(Trimble, Bishop, Buckley, Fields & Rozea, 2002). 발의 외번과 경골의 내측회전 사이에는 선형 관계가 존재한다(Bellchamber & van den Bogert, 2000). 외전 동작은 지지구간에서 발목의 외번과 경골의 회전이 동반되었을 때 증가한다(Ford et al., 2005).

본 연구에서 설정한 가설대로 드롭 랜딩 시 지면반력의 초기피크 값은 사춘기 중 여성들은 8.94N/kg, 사춘기 이후의 여성들은 9.01N/kg로 나타나서, 사춘기 이전 여성들의 5.94N/kg에 비해 그 값이 더 크게 나타났다. 또 드롭 랜딩 시 지면반력의 최대피크 값은 사춘기 중 여성들은 16.84N/kg, 사춘기 이후의 여성들은 17.05N/kg로 나타나서, 사춘기 이전 여성들의 12.90N/kg에 비해 그 값이 더 크게 나타났다. 또한 드롭 랜딩 시 지면반력의 충격량은 사춘기 중 여성들은 3.15N·s/kg, 사춘기 이후의 여성들은 3.21N·s/kg로 나타나서, 사춘기 이전 여성들의 2.83N·s/kg에 비해 그 양이 더 크게 나타났다. 그리고 드롭 랜딩 시 지면반력의 부하율은 사춘기 중 여성들은 11342.57N/s, 사춘기 이후의 여성들은 12394.61N/s로 나타나서, 사춘기 이전 여성들의 9861.37N/s에 비해 그 부하율이 더 크게 나타났다. 이는 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 무릎의 전방십자인대에 부하가 더 많이 가해져서 비접촉성 전방십자인대 부상 위험이 증가함을 의미한다.

무릎 부상이 남성과 여성 모두에서 나이가 들면서 증가하긴 하지만, 여성들은 성장기 이후에 부상 비율이 현저히 높아진다(Tursz & Crost, 1986). 사춘기 동안 경골과 대퇴골이 남성과 여성 모두에서 현저히 성장한다(Tanner & Davies, 1985). 경골과 대퇴골의 성장은 무릎에서 큰 회전력을 만든다(Hewett et al., 2004). 신장의 증가는 질량중심을 더 높게 하고, 질량

에 대한 근력 조절을 증가시킨다. 체중의 증가는 관절력의 증가를 동반하며, 높은 속도가 요구되는 운동에서 균형 잡기가 더 어려워지게 된다.

남성들의 순발력과 근력, 그리고 협응력은 나이가 들면서 증가하는데, 이로 인해 동적인 하지의 움직임을 조절하는 능력이 향상된다. 남성들과 여성들의 근 신경 패턴은 사춘기 동안에 달라지는데(Hewett et al., 2004), 여성들은 사춘기 이후에 적응 능력이 떨어진다고(Hewett et al., 2005). 그러므로 사춘기와 함께 오는 남성과 여성의 성장과 발달의 차이는 전방십자인대 손상 위험의 차이를 수반하는데 이는 근신경, 생체역학, 호르몬 요인과 관련이 있다(Hewett et al., 2004).

Uhorchak 등(2003)은 신장, 체중, 그리고 신체질량지수는 여성 육군신병 모집 시 고려하는 중요한 무릎 부상 위험의 지표라고 하였다. 체중 또는 신체질량지수가 평균보다 1표준편차 이상인 여성 지원자들은 체중 또는 신체질량지수가 낮은 여성지원자들보다 각각 3.2배와 3.5배 무릎 부상발생률이 더 높다고 보고하였다. 신장과 체중은 사춘기 이후 여성들에 있어서 무릎 손상 위험의 잠재적인 예측 요인이 된다(Buehler-Yund, 1999). 사춘기 이전인 5살에서 12살 나이의 여성들을 대상으로 한 연구에서는 무릎 손상 위험에서 성(性)의 차이가 나타나지 않았다. 그러나 15살 이상의 여성들에게서 신장과 체중은 무릎 손상의 중요한 위험요인으로 지적된다. 이는 이때가 신체질량지수가 증가되는 시기이기 때문이다(Buehler-Yund, 1999). 그러므로 사춘기 이후의 신체질량지수의 증가는 여성들에게 있어서 무릎 부상 위험의 증가에 중요한 요인역할을 한다.

드롭 랜딩 시 지면반력의 크기와 근골격계의 부상은 상관성이 있는 것으로 밝혀졌는데(임비오 등, 2008; Hewett et al., 2006), 무릎을 굽히면서 발 앞쪽으로 착지할 때 지면에 가해지는 충격량은 감소하고 근골격계에도 부하가 감소하게 된다(임비오 등, 2008; Arendt & Dick, 1995). Hewett 등(2004)은 스포츠 부상의 위험이 높은 205명의 여자 축구, 농구, 배구 선수들을 대

상으로 한 점프-착지 과제에서 무릎 부상을 입은 9명은 무릎 부상을 입지 않은 196명과 비교해서 무릎에 가해지는 부하가 다르다고 하였다. 무릎 부상을 입은 9명은 점프 후 착지할 때 지면반력의 최대피크 값은 20% 더 크게 나타났다고 하였다. 결론적으로 착지할 때 무릎에 가해지는 부하에 대한 연구는 여자 선수들의 무릎 부상을 예측할 수 있는 결정요인이라고 하였다.

본 연구에서 드롭 랜딩 시 지면반력의 초기피크 값은 사춘기 중 여성들은 8.94N/kg, 사춘기 이후의 여성들은 9.01N/kg로 나타나서, 사춘기 이전 여성들의 5.94N/kg에 비해 그 값이 더 크게 나타났다. 드롭 랜딩 시 지면반력의 최대피크 값은 사춘기 중 여성들은 16.84N/kg, 사춘기 이후의 여성들은 17.05N/kg로 나타나서, 사춘기 이전 여성들의 12.90N/kg에 비해 그 값이 더 크게 나타났다. 이것은 무릎에 가해지는 부하가 더 크게 작용했다는 것을 의미한다(임비오 등, 2008). 본 실험에서 사춘기 중과 후의 여성들이 사춘기 이전의 여성들보다 부하율이 더 클 것이라는 가설은 채택되었다. 부하율은 임팩트 시 발생하는 힘의 발현을 반영하는데, 사춘기 중과 후의 여성들에서 부하율이 증가하였다는 의미는 드롭 랜딩 동작 시에 작용된 수직 지면반력 값이 상대적으로 짧은 시간동안 급격하게 상승했다는 것을 의미한다. 이것은 드롭 랜딩 동작에 필요한 하지의 근신경 조직에 부정적 영향을 미쳐 무릎의 불안정성이 증가된 것이다(임비오 등, 2008). 후속 연구로 이러한 요인의 메커니즘을 규명하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후속 연구에서는 통계적인 파워를 향상시키기 위해서 연구대상자 수를 더 늘리고, 종합적인 관점에서 여성들의 성숙이 하지의 부상위험 요인에 미치는 영향을 규명하기 위해서 운동역학적(kinetics) 관점과 근전도 연구가 추가로 실시되어야 할 것으로 판단된다.

## VI. 결론

본 연구는 사춘기 전·중·후의 여성들을 대상으로 드롭 랜딩 동작 시 완충 동작의 변화 양상을 규명하는 것이다. 본 연구에 참가한 연구 대상자는 사춘기 전(7~10세), 사춘기 중(13~16세), 사춘기 후(21~24세) 여성 각 15명씩 총 45명이다. 사춘기의 구분은 성장발달 기준에 의해 초조(初潮) 이전을 사춘기 전, 초조와 2차 성징이 나타난 시기를 사춘기 중, 심신 양면으로 성숙기에 접어든 청년기를 사춘기 후로 분류하였다. 드롭 랜딩 동작은, 연구대상자를 무릎 높이의 박스 위에서 양 발을 편안하게 벌린 상태로 지면 반력기 위에 한 대에 한 발씩 뛰어 내리도록 하였다. 드롭 랜딩 시 넘어지거나 균형을 잃거나 손이 지면에 닿지 않은 성공적인 3회의 시기를 기록하였다. 영상으로 촬영된 자료 및 지면반력의 분석은 Kwon3d XP 운동동작 분석 프로그램을, 통계처리는 윈도우용 SPSS 14.0 분석 프로그램을 활용하였다. 본 연구의 통계처리는 성숙(3수준, 사춘기 전·중·후)을 독립변인으로 하는 일원 변량 분석을 실시하였다. 가설 검증을 위한 유의 수준은  $\alpha=0.05$ 로 설정하였으며, 사후검증은 Tukey 방법을 사용하였다. 연구 결과, 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 하지의 굴곡 각도가 더 작게 나타났으며, 외전 각도와 내측회전 각도는 더 크게 나타났다. 또한, 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 시 초기피크, 최대피크, 충격량 및 부하율이 더 크게 나타났다. 이는 사춘기 이후의 여성들은 사춘기 이전 여성들에 비해 드롭 랜딩 동작을 수행할 때 무릎의 전방 십자인대에 부하가 더 많이 가해지는 자세로 착지하기 때문에 비접촉성 전방 십자인대 부상 위험에 더 노출되어 있다는 것을 의미한다.

## 참고문헌

- 김현주, 김종덕, 김미영(2010). 여성들의 성숙이 드롭랜드 시 하지의 부상위험 요인에 미치는 영향. 한국체육학회지, 49(1), 437-443.
- 임비오, 박용현(2007). 농구 리바운드 점프 후 착지 시 성별에 따른 무릎의 근신경 생체역학적 요인의 차이 규명. 한국운동역학회지, 17(3), 23-29.
- 임비오, 박용현(2008). 스포츠상해 예방훈련이 여자고등학교 농구선수들의 리바운드 점프 후 착지 시 지면반력에 미치는 영향. 한국운동역학회지, 18(1), 31-38.
- 임비오, 정철수, 신인식, 김석범, 남기정, 이상우, 박용현(2008). 스포츠상해 예방훈련이 여자고등학교 농구선수들의 리바운드 점프 후 착지 시 지면반력에 미치는 영향. 한국운동역학회지, 18(1), 31-38.
- 채원식 (2006). 롤러신발과 조깅 슈즈 신발 착용 후 보행 시 지면반력의 형태 비교 분석. 한국운동역학회지, 16(1), 101-108.
- 한기훈, 임비오(2007). 여자고등학교 농구 선수들이 리바운드 점프 후 착지할 때 무릎보호대가 무릎의 근신경 생체역학적 변인에 미치는 효과. 한국운동역학회지, 17(4), 107-113.
- 한기훈, 임비오(2009). 여자 선수들의 하지 부상원인과 위험요인. 운동학 학술지, 제11권 3호, 61-83.
- Adirim, T. A., & Cheng, T. L. (2003). Overview of injuries in the young athlete. *Sports Medicine*, 33(1), 75-81.
- Agel, J., Arendt, E., & Bershadsky, B. (2005). Anterior cruciate ligament injury in national collegiate athletic association basketball and soccer. *American Journal of Sports Medicine*, 33(4), 524-531.
- Ahmad, C. S., Clark, A. M., Heilmann, N., Schoeb, J. S., Gardner, T. R., &

- Levine, W. N. (2006). Effect of gender and maturity on quadriceps-to-hamstring strength ratio and anterior cruciate ligament laxity. *American Journal of Sports Medicine*, 34(3), 370–374.
- Andrish, J. T. (2001). Anterior cruciate ligament injuries in the skeletally immature patient. *American Journal of Orthopedics*, 30, 103–110.
- 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.
- Arms, S. W., Pope, M. H., Johnson, R. J., Fischer, R. A., Arvidsson, I., & Eriksson, E. (1984). The biomechanics of anterior cruciate ligament rehabilitation and reconstruction. *American Journal of Sports Medicine*, 12, 8–18.
- Bellchamber, T. L, van den Bogert, A. J. (2000). Contributions of proximal and distal moments to axial tibial rotation during walking and running. *Journal of Biomechanics*, 33, 1397–1403.
- Besier, T. F., Lloyd, D. G., & Ackland, T. R. (2003). Muscle activation strategies at the knee during running and cutting maneuvers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35, 119–127.
- Besier, T. F., Lloyd, D. G., Ackland, T. R, Cochrane JL. (2001). Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 1176–1181.
- Beunen, G., & Malina, R. M. (1988). Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 16, 503–540.

- Beynnon, B., Howe, J. G., Pope, M. H., Johnson, R. J., Fleming, B. C. (1992). The measurement of anterior cruciate ligament strain in vivo. *International Orthopaedics*, 16, 1-12.
- Beynnon, B., Slauterbeck, J., & Padua, D. (2001). Update on ACL risk factors and prevention strategies in the female athlete. In: National Athletic Trainers' Association 52nd Annual Meeting and Clinical Symposia. Los Angeles, Calif: Human Kinetics, 15-18.
- Beynnon, B. D., Fleming, B. C., Johnson, R. J., Nichols, C. E., Renstrom, P. A., & Pope, M. H. (1995). Anterior cruciate ligament strain behavior during rehabilitation exercises in vivo. *American Journal of Sports Medicine*, 23, 24-34.
- Boden, B. P., Dean, G. S., Feagin, J. A., & Garrett, W. E. Jr. (2000). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*, 23, 573-578.
- Booth, F. W., & Tipton, C. M. (1970). Ligamentous strength measurements in prepubescent and pubescent rats. *Growth*, 34, 177-185.
- Buehler-Yund, C. (1999). A longitudinal study of injury rates and risk factors in 5 to 12 year old soccer players. In: *Environmental Health*. Cincinnati, Ohio: University of Cincinnati, 161.
- Chandy, T. A., & Grana, W. A. (1985). Secondary school athletic injury in boys and girls: a three-year comparison. *Physician and Sportsmedicine*, 13, 106-111.
- Chappell, J. D., Yu, B., Kirkendall, D. T., & Garrett, W. E. (2002). A comparison of knee kinetics between male and female recreational athletes in stop-jump tasks. *American Journal of Sports Medicine*, 30, 261-267.

- Chmielewski, T. L., Rudolph, K. S., & Snyder-Mackler, L. (2002). Development of dynamic knee stability after acute ACL injury. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 12, 267–274.
- Cowling, E. J., & Steele, J. R. (2001). Is lower limb muscle synchrony during landing affected by landing? *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 11, 263–268.
- Deacon, A., Bennell, K., Kiss, Z. S., Crossley, K., & Brukner, P. (1997). Osteoarthritis of the knee in retired, elite Australian Rules footballers. *The Medical Journal of Australia*, 16(4), 187–190.
- Decker, M. J., Torry, M. R., Wyland, D. J., Sterett, W. I., Richard, & Steadman, J. (2003). Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clinical Biomechanics*, 18, 662–669.
- Delp, S. L., Hess, W. E., Hungerford, D. S., & Jones, L. C. (1999). Variation of rotation moment arms with hip flexion. *Journal of Biomechanics*, 32, 493–501.
- Devita, P., & Skelly, W. A. (1992). Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 108–115.
- Dunn, W. R., Lyman, S., Lincoln, A. E., Amoroso, P. J., Wickiewicz, T., & Marx, R. G. (2004). The effect of anterior cruciate ligament reconstruction on the risk of knee reinjury. *American Journal of Sports Medicine*, 32, 1906–1914.
- Emerson, R. J. (1993). Basketball knee injuries and the anterior cruciate ligament. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 12, 317–328.
- 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, 233–240.

Fleming, B. C., Ohlen, G., Renstrom, P. A., Peura, G. D., Beynon, B. D., & Badger, G. J. (2003). The effects of compressive load and knee joint torque on peak anterior cruciate ligament strains. *American Journal of Sports Medicine*, 31, 701–707.

Ford, K. R. (1997). A comparison of knee joint kinematics and related muscle onset patterns observed during a 180° cutting maneuver executed by male and female soccer players. In: *Kinesiology and Health Promotion*. Lexington: University of Kentucky, 83.

Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2003). Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35, 1745–1750.

Freedman, K. B., Glasgow, M. T., Glasgow, S. G., & Bernstein, J. (1998). Anterior cruciate ligament injury and reconstruction among university students. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 356, 208–212.

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.

Gallagher, S. S., Finison, K., Guyer, B., & Goodenough, S. (1984). The incidence of injuries among 87,000 Massachusetts children and adolescents: results of the 1980–81 Statewide Childhood Injury Prevention Program Surveillance System. *American Journal of Public Health*, 74, 1340–1347.

- Gray, J., Taunton, J. E., McKenzie, D. C., Clement, D. B., McConkey, J. P., & Davidson, R. G. (1985). A survey of injuries to the anterior cruciate ligament of the knee in female basketball players. *International Journal of Sports Medicine*, 6, 314–316.
- Griffin, L. Y., Agel, J., & Albohm, M. J. (2000). Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 8, 141–150.
- Grood, E. S., & Suntay, W. J. (1983). A joint coordinate system for the clinical description of three-dimensional motions: application to the knee. *Journal of Biomechanics*, 105, 136–144.
- Haycock, C. E., & Gillette, J. V. (1976). Susceptibility of women athletes to injury: myth vs. reality. *JAMA*, 236, 163–165.
- Heitz, N. A., Eisenman, P. A., Beck, C. L., & Walker, J. A. (1999). Hormonal changes throughout the menstrual cycle and increased anterior cruciate ligament laxity in females. *Journal of Athletic Training*, 34, 144–149.
- 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. (2004). Decrease in neuromuscular control about the knee with maturation in female athletes. *Journal of bone and joint surgery*, 86, 1601–1608.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., & Ford, K. R. (2006). Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: part 1, mechanism and risk

- factors. *American Journal of Sports Medicine*, 34, 299–311.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., & Ford, K. R. (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, 492–501.
- Hewett, T. E., Paterno, M. V., & Myer G. D. (2002). Strategies for enhancing proprioception and neuromuscular control of the knee. *Clinical Orthopedic*, 402, 76–94.
- Hewett, T. E., Stroupe, A. L., Nance, T. A., & Noyes, F. R. (1996). Plyometric training in female athletes: decreased impact forces and increased hamstring torques. *American Journal of Sports Medicine*, 24, 765–773.
- Huston, L. J., Vibert, B., Ashton–Miller, J. A., & Wojtys, E. M. (2001). Gender differences in knee angle when landing from a drop–jump. *American Journal of Knee Surgery*, 14, 215–219.
- Huston, L. J., & Wojtys, E. M. (1996). Neuromuscular performance characteristics in elite female athletes. *American Journal of Sports Medicine*, 24, 427–436.
- Hutchinson, M. R., & Ireland, M. L. (1995). Knee injuries in female athletes. *Sports Medicine*, 19, 288–302.
- Imran, A., & O'Connor, J. J. (1997). Theoretical estimates of cruciate ligament forces: effects of tibial surface geometry and ligament orientations. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 211, 425–439.
- Karageanes, S. J., Blackburn, K., & Vangelos, Z. A. (2000). The association

of the menstrual cycle with the laxity of the anterior cruciate ligament in adolescent female athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 10, 162–168.

Kellis, E., Tsitskaris, G. K., Nikopoulou, M. D., & Moiusikou, K. C. (1999). The evaluation of jumping ability of male and female basketball players according to their chronological age and major leagues. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(1), 40–46.

Lebrun, C. M. (1994). The effect of the phase of the menstrual cycle and the birth control pill in athletic performance. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 13, 419–441.

Lephart, S. M., Ferris, C. M., Riemann, B. L., Myers, J. B., & Fu, F. H. (2002). Gender differences in strength and lower extremity kinematics during landing. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 401, 162–169.

Lim, B. O., Lee, Y. S., Kim, J. G., An, K. O., Yoo, J., & Kwon, Y. H. (2009). Effects of sports injury prevention training on the biomechanical risk factors of anterior cruciate ligament injury in high school female basketball players. *American Journal of Sports Medicine*, 37(9), 1728–1734.

Loudon, J. K., Jenkins, W., & Loudon, K. L. (1996). The relationship between static posture and ACL injury in female athletes. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 24, 91–97.

Malina, R. M., & Bouchard, C. (1991). Timing and sequence of changes in growth, maturation, and performance during adolescence. In: *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Champaign, Ill: Human Kinetics, 267–272.

- Malinzak, R. A., Colby, S. M., Kirkendall, D. T., Yu, B., & Garrett, W. E. (2001). A comparison of knee joint motion patterns between men and women in selected athletic tasks. *Clinical Biomechanics*, 16, 438–445.
- Markolf, K. L., Burchfield, D. M., Shapiro, M. M., Shepard, M. F., Finerman, G. A., & Slauterbeck, J. L. (1995). Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *Journal of Orthopaedic Research*, 13, 930–935.
- Markolf, K. L., Graff–Redford, A., & Amstutz, H. C. (1978). In vivo knee stability: a quantitative assessment using an instrumented clinical testing apparatus. *Journal of bone and joint surgery*. 60, 664–674.
- Martineau, P. A., Al–Jassir, F., Lenczner, E., & Burman, M. L. (2004). Effect of the oral contraceptive pill on ligamentous laxity. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 14, 281–286.
- McDevitt, E. R., Taylor, D. C., & Miller, M. D, et al. (2004). Functional bracing after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, multicenter study. *American Journal of Sports Medicine*, 32, 1887–1892.
- McLean, S. G., Huang, X., Su, A., & Van Den Bogert, A. J. (2004). Sagittal plane biomechanics cannot injure the ACL during sidestep cutting. *Clinical Biomechanics*, 19, 828–838.
- McLean, S. G., Neal, R. J., Myers, P. T., & Walters, M. R. (1999). Knee joint kinematics during the sidestep cutting maneuver: potential for injury in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31, 959–968.
- McNair, P. J., Marshall, R. N., & Matheson, J. A. (1990). Important features

associated with acute anterior cruciate ligament injury. *New Zealand Medical Journal*, 103, 537–539.

Meeuwisse, W. H., Sellmer, R., & Hagel, B. E. (2003). Rates and risks of injury during intercollegiate basketball. *American Journal of Sports Medicine*, 31(3), 379–385.

Moller-Nielson, J., & Hammar, M. (1991). Sports injuries and oral contraceptive use: is there a relationship? *Sports Medicine*, 12, 152–160.

Myer, G. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2005). The effects of gender on quadriceps muscle activation strategies during a maneuver that mimics a high ACL injury risk position. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 15, 181–189.

Myklebust, G., Engebretsen, L., Braekken, I. H., Skjolberg, A., Olsen, O. E., & Bahr, R. (2003). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 13, 71–78.

National Collegiate Athletic Association. (2002). *NCAA Injury Surveillance System Summary*. Indianapolis, Ind: National Collegiate Athletic Association.

National Federation of State High School Associations. (2002). *2002 High School Participation Survey*. Indianapolis, Ind: National Federation of State High School Associations.

Nyland, J. A., Caborn, D. N., Shapiro, R., & Johnson, D. L. (1997). Fatigue after eccentric quadriceps femoris work produces earlier gastrocnemius and delayed quadriceps femoris activation during crossover cutting among normal athletic women. *Knee Surgery,*

Sports Traumatology, Arthroscopy. 5, 162–167.

- Nyland, J., Caborn, D. N., Shapiro, R., Johnson, D. L., & Fang, H. (1999). Hamstring extensibility and transverse plane knee control relationship in athletic women. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, 257–261.
- Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *American Journal of Sports Medicine*, 32, 1002–1012.
- Pflum, M. A., Shelburne, K. B., Torry, M. R., Decker, M. J., & Pandy, M. G. (2004). Model prediction of anterior cruciate ligament force during drop-landings. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 1949–1958.
- Posthuma, B. W., Bass, M. J., Bull, S. B., & Nisker, J. A. (1987). Detecting changes in functional ability in women with premenstrual syndrome. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 156, 275–278.
- Rosene, J. M., & Fogarty, T. D. (1999). Anterior tibial translation in collegiate athletes with normal anterior cruciate ligament integrity. *Journal of Athletic Training*, 34, 93.
- Rozzi, S. L., Lephart, S. M., Gear, W. S., & Fu, F. H. (1999). Knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female soccer and basketball players. *American Journal of Sports Medicine*, 27, 312–319.
- Ruiz, A. L., Kelly, M., & Nutton, R. W. (2002). Arthroscopic ACL reconstruction: a 5–9 year follow-up. *Knee*, 9, 197–200.

- Samuel, C. S., Butkus, A., Coghlan, J. P., & Bateman, J. F. (1996). The effect of relaxin on collagen metabolism in the nonpregnant rat pubic symphysis: the influence of estrogen and progesterone in regulating relaxin activity. *Endocrinology*, 137, 3884-3890.
- Sarwar, R., Beltran, N. B., & Rutherford, O. M. (1996). Changes in muscle strength, relaxation rate and fatiguability during the human menstrual cycle. *Journal of Physiology*, 493, 267-272.
- Schutte, M. J., Dabezies, E. J., Zimny, M. L., & Happel, L. T. (1987). Neural anatomy of the human anterior cruciate ligament. *Journal of bone and joint surgery*, 69, 243-247.
- Sell, T., Ferris, C. M., & Abt, J. P., et al. (2004). Predictors of anterior tibia shear force during a vertical stop-jump. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 34, A56.
- Seneviratne, A., Attia, E., Williams, R. J., Rodeo, S. A., & Hannafin, J. A. (2004). The effect of estrogen on ovine anterior cruciate ligament fibroblasts: cell proliferation and collagen synthesis. *American Journal of Sports Medicine*, 32, 1613-1618.
- Shelbourne, K., Davis, T., & Klootwyk, T. (1998). The relationship between intercondylar notch width of the femur and the incidence of anterior cruciate ligament tears. *American Journal of Sports Medicine*, 26, 402-408.
- Slauterbeck, J. L., Fuzie, S. F., & Smith, M. P, et al. (2002). The menstrual cycle, sex hormones, and anterior cruciate ligament injury. *Journal of Athletic Training*, 37, 275-278.
- Soderman, K., Alfredson, H., Pietila, T., & Werner, S. (2001). Risk factors for leg injuries in female soccer players: a prospective investigation

- during one out-door season. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 9, 313–321.
- Solomonow, M., Baratta, R., & Zhou, B. H., et al. (1987). The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *American Journal of Sports Medicine*, 15, 207–213.
- Stacoff, A., Steger, J., Stussi, E., & Reinschmidt, C. (1996). Lateral stability in sideward cutting movements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 350–358.
- Strickland, S. M., Belknap, T. W., Turner, S. A., Wright, T. M., & Hannafin, J. A. (2003). Lack of hormonal influences on mechanical properties of sheep knee ligaments. *American Journal of Sports Medicine*, 31, 210–215.
- Tanner, J. M., & Davies, P. S. (1985). Clinical longitudinal standards for height and height velocity for North American children. *Journal of Pediatrics*, 107, 317–329.
- Teitz, C. C. (2001). Video analysis of ACL injuries. In: Griffin LY, ed. *Prevention of Noncontact ACL Injuries*. Rosemont, Ill: American Academy of Orthopaedic Surgeons, 93–96.
- Trimble, M. H., Bishop, M. D., Buckley, B. D., Fields, L. C., & Rozea, G. D. (2002). The relationship between clinical measurements of lower extremity posture and tibial translation. *Clinical Biomechanics*, 17, 286–290.
- Tursz, A., & Crost, M. (1986). Sports-related injuries in children: a study of their characteristics, frequency, and severity, with comparison to other types of accidental injuries. *American Journal of Sports*

Medicine, 14, 294-299.

- 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.
- Uhorchak, J. M., Scoville, C. R., Williams, G. N., Arciero, R. A., St Pierre, P., & Taylor, D. C. (2003). Risk factors associated with noncontact injury of the anterior cruciate ligament: a prospective four-year evaluation of 859 West Point cadets. *American Journal of Sports Medicine*, 31, 831-842.
- Wojtys, E. M., Huston, L. J., Boynton, M. D., Spindler, K. P., & Lindenfeld, T. N. (2002). The effect of the menstrual cycle on anterior cruciate ligament injuries in women as determined by hormone levels. *American Journal of Sports Medicine*, 30, 182-188.
- Wojtys, E. M., Huston, L. J., Lindenfeld, T. N., Hewett, T. E., & Greenfield, M. L. (1986). Association between the menstrual cycle and anterior cruciate ligament injuries in female athletes. *American Journal of Sports Medicine*. 26, 614-619.
- Wojtys, E. M., Huston, L. J., Schock, H. J., Boylan, J. P., & Ashton-Miller, J. A. (2003). Gender differences in muscular protection of the knee in torsion in size-matched athletes. *Journal of bone and joint surgery*, 85, 782-789.
- Yack, H. J., Chandran, R., Rao, S., & Wilken, J. (2003). How normal fluctuations in women influence the biomechanics of stepping and cutting. Proceedings of the ACL Research Retreat II: The Gender Bias. *Journal of Orthopedic Sports Physical Therapy*, 33(8), A28.

- Yu, B., Herman, D., Preston, J., Lu, W., Kirkendall, D. T., & Garrett, W. E. (2004). Immediate effects of a knee brace with a constraint to knee extension on knee kinematics and ground reaction forces in a stop-jump task. *American Journal of Sports Medicine*, 32, 1136-1143.
- Zazulak, B. T., Ponce, P. L., Straub, S. J., Medvecky, M. J., Avedisian, L., & Hewett, T. E. (2005). Gender comparison of hip muscle activity during singleleg landing. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 35, 292-299.
- Zelisko, J. A., Noble, H. B., & Porter, M. (1982). A comparison of men's and women's professional basketball injuries. *American Journal of Sports Medicine*, 10, 297-299.

# ABSTRACT

## Effects of female maturation on the lower extremity injury risk factors during the box drop landing

Kim, Hyun Joo  
Department of Physical Education  
Graduate School  
SungShin Women's University

The purpose of this study were to investigate of the effects of female maturation on the lower extremity injury risk factors during the box drop landing. Forty four females (ages 7 to 24 years) were participated in this study. The participants divided three groups with ages(7 to 10, 13 to 16, and 21 to 24 year old females) and drop landing with her's knee height box. Statistical analysis consisted of one-way ANOVA with the level of significance set at  $p < .05$ . Results of this study were that the puberty and postpuberty females showed decreased knee flexion angles and increased knee abduction and internal rotation angles than prepuberty females during the drop landing. And the postpuberty females showed increased initial peak, maximal peak, impulse and loading rate than prepuberty females during the box drop landing. Puberty and postpuberty females increases noncontact anterior cruciate ligament injury risk factors due to the greater knee loads than prepuberty females.