

## 하지근력의 좌우 비대칭성이 드롭랜딩 시 동적 안정성에 미치는 영향

김철주<sup>1</sup> · 이정일<sup>1</sup> · 홍완기<sup>2</sup>

<sup>1</sup>조선대학교 체육대학 체육학부 · <sup>2</sup>조선대학교 대학원 체육학과

### The Effect of Asymmetric Muscle Force in the Lower Extremity on Dynamic Balance on during Drop Landing

Chul-Ju Kim<sup>1</sup> · Kyung-Il Lee<sup>1</sup> · Wan-Ki Hong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Education, College of Physical Education, Chosun University, Gwangju, Korea

<sup>2</sup>Department of Physical Education, Graduate School of Chosun University, Gwangju, Korea

Received 29 April 2011; Received in revised form 9 May 2011; Accepted 21 June 2011

#### ABSTRACT

This study aims to analyse difference in biomechanical factors between dominant legs and recessive ones according to muscular imbalance during drop landing targeting talented children in sports. The subjects of the study were ten primary students who are attending to Sports Program for Talented Children organized by C university (age: 12.28±0.70 year, height: 1.52±0.11 m, and weight: 45.2±4.9 kg). Strength legs were classified into dominant side and strengthless legs were classified into non-dominant legs. For three-dimensional analyses of the data collected, 6 video cameras(MotionMaster200, Visol, Korea) were used. To analyse ground reaction force, two force platforms(AMTI ORG-6, MA) were used and to analyse electromyography a 8-channeled wireless Noraxon Myoresearch made in USA was used at 1000 Hz for sampling. As a result, it was discovered that the dominants legs controlled knee bending motions more stably than strengthless legs as the maximum vertical ground reaction force was significantly high in dominant legs( $p<.05$ ), and joint moment of knee joints of the dominant legs was high( $p<.05$ ). Therefore, this study suggested that injury prevention program focusing on muscular balance as well as the existing sports programs for talented children should be developed based on results of the study and it is expected that the results will be useful for improvement of sports programs for talented children.

*Keywords* : Drop Landing, Lower Extremity, Imbalance

## I. 서론

스포츠 활동이 증가함에 따라 스포츠 활동에서 일어날 수 있는 상해 기전에 관한 연구들이 다양하게 이루어지고 있다. 특히 스포츠 동작에서 빈번하게 발생하는 점프 후 착지에 대한 연구는 성별, 부상유무, 보조기 이용, 착지 방법 등(Cho, Kim, Moon, Cho, & Lee, 2010; Choi & Lim, 2009; Chae & kang, 2009;

Ford et al., 2006; Pflum, Shelburne, Torrt, Deck & Pand, 2004), 여러 형태로 이루어지고 있으며, 실제로 스포츠에 있어서 점프 후 착지는 하지관절의 부상 발생과 많은 관련이 있는 것으로 보고되고 있다(Woods, Hawkins, Hulse & Hodson, 2002).

또 다른 스포츠상해의 예측 요인으로 근육의 불균형(muscle imbalance)이 제안되고 있다(Brown, 2000). 근육균형(muscle balance)은 운동수행능력을 가늠 할 수 있는 하나의 지표이며, 실제적인 운동수행 능력과 잘못된 자세로 인한 부상 유발 가능성을 평가할 수 있는 것으로 알려져 왔다(Kim et al., 2010).

근육의 불균형은 동측 근육의 불균형과 이측 근육의 불균형으로 구분 할 수 있다. 동측 근육차를 전통적으로 해석하는

Corresponding Author : Kyung-Il Lee  
Department of Physical Education, College of Physical Education,  
Chosun University, 375 Seosuk-dong, Dong-gu, Gwangju, Korea  
Tel : +82-82-62-230-7429 / Fax : +82-62-232-7269  
E-mail : lki7429@chosun.ac.kr

H/Q ratio(Hamstring/Quadriceps ratio) 근력 비율은 특정 스포츠에 필요한 요소와 ACL 또는 슬골곡근(hamstring)과 같은 특정 부상과 깊은 관련이 있는 것으로 보고되고 있고(Calmels & Minaire, 1995), 이측 근력의 불균형은 다양한 형태의 스포츠 활동에서 내재적 상해유발 요인으로 보고되었다(Slagle, 1979). 이와 관련하여 Knapik, Baumann, Jones, Harri와 Vaughan,(1991)은 15% 이상의 이측 근불균형을 가진 선수들은 약한 쪽 하지에서 2.6배 이상의 부상위험을 가진다고 보고하였으며, Fowler와 Reilly(1993)는 프로축구선수들의 20% 이상의 이측 근력 차이는 부상의 기여 요인일 수 있다고 지적 하였다.

점프 후 착지 동작은 매우 강한 무릎관절의 신전 동작이 요구되어지며, 대퇴사두근(quadriceps)의 강한 신장성 수축에 의해 제어된다. 이렇게 나타나는 신장성 근 수축은 근섬유의 과도한 긴장을 유발하여 부상의 주된 원인으로 작용되기 때문에(Cutlip, Baker, Hollander & Enseya, 2008), 대퇴사두근과 대퇴이두근(biceps femoris)의 근 불균형이 점프 후 착지 동작 시 무릎관절 상해를 예상할 수 있는 변인으로 제안할 수 있으며, 무릎관절에 근 불균형과 드롭 착지 시 나타나는 운동역학적 변인들은 높은 상관관계가 있을 것으로 생각된다.

그러나 잠재적 상해유발 요인인 근 불균형에 관한 연구는 등속성 parameter들을 다양하게 적용한 추적 연구(Kim, Kim, & Lee, 2008; Newton et al., 2006; Sangnier & Toumcy, 2007)만 이루어지고 있을 뿐 동역학적 관점에서의 상해유발 기전에 관한 연구는 전무한 실정이다. 이와 같은 관점에서 무릎관절에 근 불균형은 중요한 의미를 갖는다고 생각된다. 따라서 본 연구에서는 체력관련 요인들의 객관적 평가를 통해 선발된 체육영재 아동들을 대상으로 동역학적인 관점에서 하지근력의 불균형이 드롭 랜딩 시 나타날 수 있는 최대지면 반력, 최대무릎각도, 관절 모멘트, 근전도에서의 문제점에 대해 밝히고자 하며, 이를 통해 잠재적 부상원인인 근 불균형에 대한 상해 예측 기능성의 간접적 근거를 제시하고 미성숙 아동들의 운동참여에 따른 상해 예방 프로그램의 필요성을 제시하고자 함에 그 목적이 있다.

## II. 연구방법

### 1. 피험자

본 연구의 피험자는 G광역시 C대학 체육영재센터에서 영재 프로그램에 참여하는 초등학생 10명(연령 12.28±0.70 year, 신장 1.52±0.11 m, 체중 45.2±4.9 kg)을 대상으로 하였다. 이들 모두는 최근 1년 동안 하지관절 및 전신에 어떠한 부상경험도 없었으며, 실험 전 등속성 운동기구(60 deg/s)를 사용하여 대퇴사두근 및 대퇴이두근의 최대 근회전력(peak torque)을 측정하여 두

근육군의 좌우 근력 대칭비가 10 % 이상인 피험자를 선정하였다. 하지근력의 좌우 균형비는 굴곡 및 신전 시 좌·우 최대 토크 값을 각각 산출하여, 높은 최대 토크값에서 낮은 최대토크값은 제한 후 높은 최대 토크값으로 나누어 백분율로 산출하였다(Gleim, Nicholas & Webb, 1978).

### 2. 실험도구

본 실험은 C대학교 운동역학 실험실에서 이루어졌으며, 실험도구는 고해상도 비디오 카메라(MotionMaster200, visol, korea) 6대를 사용하였으며, 노출시간은 1/500 sec, 카메라의 속도는 100 frame/s로 설정하였다. 지면반력 자료의 수집은 지면반력 측정기(AMTI ORG-6, MA) 2대를 사용하였으며, 근전도는 8채널 무선 노락슨(Noraxon Myoresearch, USA)을 사용하여 측정하였다. 영상분석, 지면반력, 근전도 신호의 동조는 동조시스템 박스(VSAD-101USB, Visol, Korea)를 사용하였다. 영상분석 신호와 지면반력 신호는 동조시스템에 2대의 LED와 지면반력 동조(sync)채널에 연결하여 동조시켰다. 근전도 신호는 마지막 채널을 동조(sync)채널로 설정하여 동조버튼을 누르면 TTL 신호가 발생되게 하여 동조시켰다.

### 3. 실험방법

본 연구는 드롭 착지 시 하지 불균형이 있는 남자 초등학생들을 대상으로 하지의 생체역학적 차이를 규명하는 것이다. 따라서 근력이 강한 다리(strength leg)를 우성하지(dominant side)로, 근력이 약한 다리(strengthless leg)를 열성하지(non-dominant side)로 결정하였으며, 각 분석은 좌우측이 아닌 우성 및 열성하지를 기준으로 이루어졌다. 실험에 참가한 피험자 모두는 실험 중 발생할 수 있는 부상을 예방하기 위해 10분간의 스트레칭과 준비운동으로 워업과 드롭랜딩을 5회 이상 연습을 실시한 후 실험에 참여하였다. 피험자 모두 신발을 착용하지 않은 상태에서 스판 재질의 운동복을 착용하고 피험자의 대퇴 및 하퇴, 견갑부에 직경 1.4 cm 크기의 반사마커 21개를 부착하였으며 <Figure 1>, 지역좌표계 설정과 관절중심점을 찾기 위해 양 발을 20 cm 평행하게 유지한 정지 자세(static trial)를 3초간 촬영하였다. 정지자세에서 관절의 중심점을 찾기 위해서 사용되었던 좌·우 내측상과(medial epicondyle)와 내과(medial malleous) 마커는 랜딩 동작 수행 전에 제거하였다. 근전도 분석을 위해 대퇴직근(rectus femoris)과 대퇴이두근(biceps femoris), 외측 비복근(lateral gastrocnemius)에 표면전극(surface electrode)을 부착하였으며(Cram, Kasman & Holtz, 1998), 부착하기 전 측정오류를 최소화하기 위하여 알코올로 깨끗이 소독하였다. 자료 표준화를 위해 하지관절의 최대 정적 근력을 실제 데이터수집 전에 측정 되었다(Table 1).

Table 1. EMG<sub>max</sub> Measurement

EMG <sub>max</sub>	Measurement
Knee extension	In the sitting position in a chair, tibia is taken place vertically on the ground. Resisted force is applied to the back from the front of the ankle.
Ankle plantar flexion	Stand up straight. Resisted force is applied to the floor from dorsum of foot
Knee flexion	In Prone position and knee flexion in 120 angles, resisted force is applied to the floor from shank.

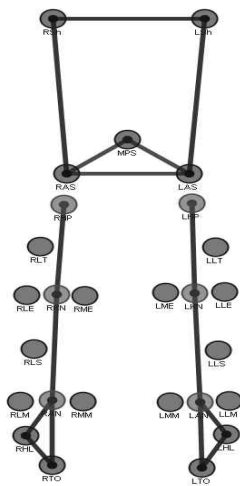


Figure 1. Makers Point

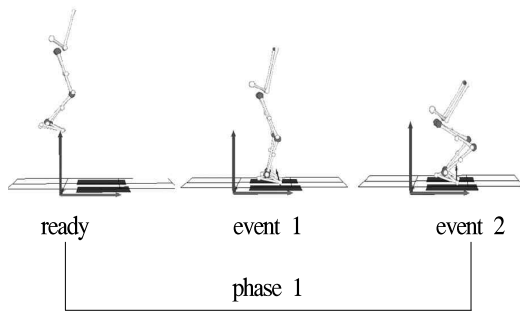


Figure 2. Event and phase

드롭 착지 동작은 양발을 편안하게 벌린 상태에서 50 cm 높이의 박스위에서 2대의 지면반력기 위에 뛰어 내려 양발로 착지하였으며, 본 연구의 주된 분석 대상이 하지인 점을 고려하여 양발을 가슴을 교차하도록 해 상지의 운동을 억제하였다. 드롭 착지 시 넘어지거나 균형을 잃어 손이 지면에 닿는 것을 제외한 성공적인 2회 동작을 기록하였다. 본 실험에서의 구간 설정은 착지 시 순간의 최저 한계치를 8 N으로 하여 그 이상의 값이 나오는 발이 지면에 닿는 시점(initial contact, IC)과 무릎이 최대로 굴곡(maximum knee flexion, MKF) 시점으로 구분하였으며, 두 시점 사이를 landing phase(LP)로 분류하여 분석하였다

<Figure 2>. 수집된 지면반력 데이터 값을 일반화하기 위해 각 대상자들의 몸무게(body weight)로 나누었다.

### 3. 데이터의 산출

본 연구에서 통제점 좌표화와 인체관절 중심점의 좌표화, 동조, DLT방법에 의한 3차원 좌표 계산과 자료의 스무딩은 Kwon3D XP(Visol, Korea) 동작프로그램을 사용하였다. 인체좌표계 설정 및 관절 중심은 Tylkowsky 방식(Tylkowsky, Simon & Mansour, 1982)을 사용하여 계산하였으며, 무릎의 신전 및 굴곡 모멘트는 Winter(1980)방식을 사용하여 계산하였다. 또한 디지털 타이징하여 얻은 2차원 자료값을 3차원 공간 좌표값으로 변환하기 위하여 Abdel-Aziz와 Kararah(1971)가 개발한 DLT방법을 이용하여 계산하였으며, 각 각의 영상자료를 3차원 스플라인 함수(cubic spline function)를 이용, 보간하여 동조하고 노이즈를 제거하기 위해 Butterworth의 2차 저역통과 필터(2nd low-pass filter)를 사용하여 스무딩하였으며, 이때 차단 주파수는 6 Hz로 설정하였다. 또한 근전도 분석은 실험을 통해 얻은 원 자료를 10 Hz의 고역 통과 필터와 500 Hz의 저역 통과 필터를 사용하여 필터링(low-pass filtering) 한 후 사용하였다. 근전도 데이터는 최대 정적수축 근전도치에 대하여 아래의 공식을 사용하여 표준화하였다. 각 피험자와 각 조건에 따라 최대 근전도치와 평균근전도치를 계산하였다.

$$nEMG = \frac{EMG_{raw}}{EMG_{max}}$$

EMG<sub>raw</sub>는 정류화하고 필터 처리된 실제 동작 시의 근전도치이며, EMG<sub>max</sub>는 무릎관절의 최대 정적 신전과 굴곡 수축 시 발생되어진 최대 근전도를 의미한다.

### 4. 통계처리

시점 및 구간에 대한 최대무릎각도, 최대수직지면반력, 관절 모멘트, 근전도의 평균과 표준편차를 계산하였다. 우성하지와 열성하지를 독립표본으로 하는 독립표본 t-test를 SPSS 14.0을 이용하여 유의수준 p<.05에서 실시하였다.

## III. 결과

### 1. 최대 수직지면반력

<Table 2>, <Figure 3>은 하지 근 불균형에 따른 드롭 착지 동작 시 최대 수직지면반력값의 차이를 나타낸 것이다.

Table 2. Peak VGRF in LP (unit: ×BW)

	dominant side (M±SD)	non-dominant side (M±SD)	t
Fzmax	2.22 ± 0.60	1.78 ± 0.36	2.389*

\* p<.05

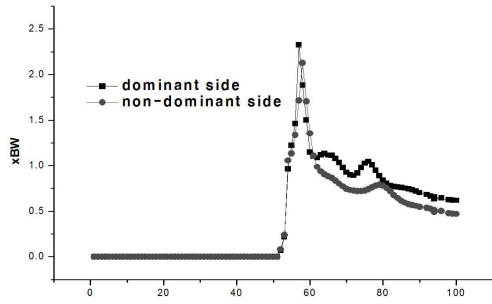


Figure 3. Peak VGRF in LP

드롭 착지 시 LP 구간에서의 최대 수직지면반력값은 우성하지와 열성하지 간의 통계적 유의차가 나타났다(p<.05). 이는 착지 시 우성하지가 더 큰 충격에 의한 스트레스를 받고 있는 불균형적인 착지 형태를 의미한다.

2. 최대 무릎 굴곡 각도

<Table 3>, <Figure 4>는 하지 근 불균형에 따른 드롭 착지 동작 시 최대 무릎굴곡 각도의 차이를 나타낸 것이다.

Table 3. Maximum knee flexion (unit: deg)

	dominant side (M±SD)	non-dominant side (M±SD)	t
Maximum knee angle	89.15±14.87	82.29±15.15	1.093

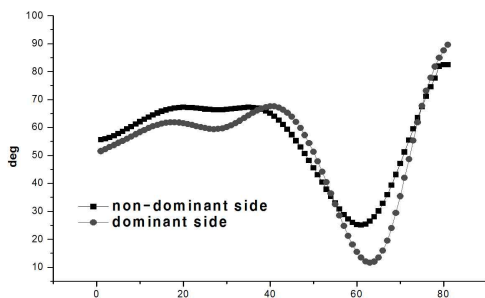


Figure 4. Maximum knee flexion

최대무릎굴곡 각도는 우성하지와 열성하지 간의 통계적 유의차는 없었다(p>.05). 하지만 우성하지의 최대 무릎 굴곡각도가 상대적으로 큰 것으로 나타나 무릎을 많이 굽히면서 착지하는 것으로 나타났다.

3. 관절 모멘트

<Table 4>, <Figure 5>는 하지 근 불균형에 따른 드롭 착지 동작 시 MKF 시점에서의 시상면 관절 모멘트 차이를 나타낸 것이다. MKF 시점에서의 발목관절 모멘트는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 하지만 무릎 관절의 모멘트는 우성하지가 유의하게 큰 것으로 나타났다(p<.05). 이는 착지 후 무릎이 최대로 굴곡 될 때 우성하지의 무릎관절이 보다 안정적으로 제어된 것을 의미한다.

Table 4. Resultant joint moment at MKF (unit: Nm/kg)

	dominant side (M±SD)	non-dominant side (M±SD)	t	
Sagittal	Ankle	0.82±0.21	0.83±0.20	.161
	Knee	-1.19±0.45	-0.94±0.28	2.117*

\* p<.05

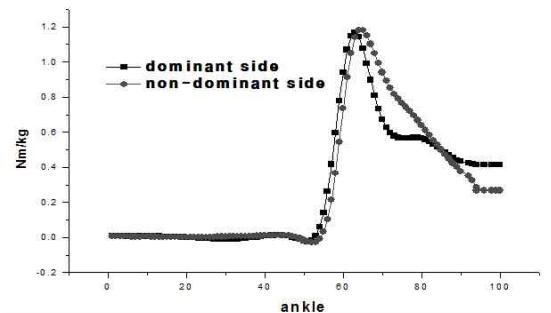
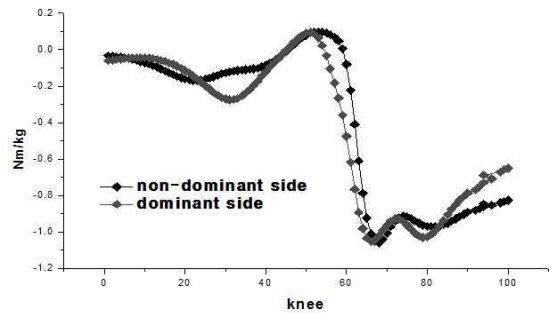


Figure 5. Joint moment at MKF

4. 근전도

<Table 5>는 하지 근 불균형에 따른 드롭 착지 동작 시 LP 구간에서 나타난 대퇴직근, 대퇴이두근, 외측 비복근의 최대 근전도의 차이를 나타낸 것이다.

드롭 착지 시 LP 구간에서 나타난 우성하지와 열성하지의 근활성도는 대퇴직근과 대퇴이두근, 외측 비복근 모두 통계적 유의차는 없었다(p>.05). 하지만 우성하지의 대퇴직근과 외측 비복근은 상대적으로 큰 근활성도를 나타냈다.

Table 5. Maximum IEMG in LP (unit: %MVIC)

	dominant side ( $M \pm SD$ )	non-dominant side ( $M \pm SD$ )	t
Rectus femoris	140.35±28.90	136.21±32.99	.353
Biceps femoris	106.64±45.12	105.21±33.06	.095
Lateral Gastrocnemius	95.78±21.00	91.71±22.52	.495

#### IV. 논 의

본 연구는 드롭 랜딩 동작 시 근 불균형에 따른 하지 관절의 변화를 운동역학적으로 분석하여 상해예방과 근 균형의 관련성을 도출하기 위해 실시하였다.

최대수직 지면반력의 크기가 증가한다는 것은 각 관절에 전해지는 에너지를 증가시키는 원인이 될 수 있으며 이러한 현상으로 인해 상해에 쉽게 노출되게 된다. Kim과 Cho(2009), Valiant와 Cavanagh(1985)는 착지 시 충격을 제대로 흡수하지 못하였을 경우 상해를 유발할 수 있으며, 충격의 정도를 수직지면반력(vertical ground reaction force)의 크기로 추정할 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서는 우성하지가 열성하지 보다 더 큰 충격을 받으면서 착지 동작을 수행하고 있는 것으로 나타났으며, 양 하지로 체중을 분산시키지 못하고 근력이 강한 우성하지로 충격력을 전이 시킨 것으로 판단된다.

McCaw와 Bates(1992)는 착지 시 신체의 불균형은 부상의 잠재적 원인이 될 수 있다고 하였다. 따라서 본 연구에서 나타난 하지 근력차에 따른 불균형 착지는 상해의 잠재적 요인의 근거로 제시될 수 있다고 판단되며, 미성숙 아동의 부상예방을 위한 근력 강화 프로그램의 객관적 지표를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

드롭 랜딩 시 최대 무릎 굴곡 각이 증가한다는 것은 착지 시 무릎관절의 굴곡이 많이 이루어지는 것으로 의미하며, 하지의 굴곡 움직임 범위를 증가시킴으로써 착지 시 가해지는 충격력을 분산시키는 부드러운 착지를 수행하는 것이다. 이에 대해 Thomas, Michael과 Mark(2008)착지 동작 시 상해를 줄일 수 있는 전략 중 하나로 착지 시 무릎 굴곡 각을 크게 하는 것이라고 보고하였다. 또한 Kaelin, Stacoff, Denoth와 Stuessi(1988)은 착지 시 무릎각도는 지면반력과 중요한 상관관계가 있다고 보고하였다. 본 연구에서는 드롭 랜딩 시 최대 무릎 굴곡각도에서 우성하지와 열성하지 간 통계적 유의차는 없었지만 우성하지의 최대굴곡 각이 상대적으로 큰 경향을 보였다. 본 연구와

선행연구들의 결과를 비추어 볼 때 하지 근력 차이가 착지 시 발생하는 충격력을 감소시키는데 관여하는 무릎 최대 굴곡각도에 영향을 미친 것으로 판단되며, 우성하지가 상대적으로 높은 하지 근력을 바탕으로 관절가동범위를 크게 하여 외부 충격에 대한 효율적인 에너지 흡수 전략을 보인 것으로 판단된다.

인체는 착지 이후 신전근 작용에 의해 발생하는 모멘트를 통해 이심성 수축을 발생시켜 골격계에 작용되는 운동에너지를 흡수하고 신체 무게중심이 아래로 이동하는 것을 멈추게 한다(Devita & Skelly, 1992). 이러한 동작에서 발생되어지는 대퇴사두근의 강한 이심성 수축은 무릎 주변 조직에 강한 스트레스를 발생시키며, 이러한 지속적 스트레스는 상해를 유발할 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 인체 근골격계에 작용되는 관절회전력이 적절하게 조절되어야 한다(Nigg & Bobbert, 1990). 본 연구에서는 최대무릎굴곡 시점(MKF)에서 우성하지의 무릎관절 모멘트가 큰 것으로 나타나 열성하지 보다 무릎 관절에 가해지는 회전력이 더 크게 작용하였으며 무릎굴곡 동작을 안정적으로 제어한 것으로 판단된다. 반대로 상대적으로 근력이 약한 열성하지의 낮은 관절 모멘트는 무릎관절의 안정화 능력이 감소되는 것을 의미하는 것으로 하지관절의 근력 불균형이 착지 시 상해를 좌우하는 주요한 요인으로 작용한 것으로 판단된다. 또한 통계적으로 유의한 차이를 나타낸 최대수직지면반력도 위의 결과를 지지하고 있는데 이러한 결과는 수직 지면반력에서 언급한 것과 같이 외부 충격에 대한 효율적인 에너지 흡수 전략을 보인 것으로 생각된다.

착지동작에 있어서 안정성과 균형을 유지하기 위해서는 근육 활성을 유지하는 것이 필수적이다(Chae et al., 2009). Hewett, Myer와 Ford(2001)은 드롭 착지 시 대퇴사두근의 활동이 증가하고 햄스트링의 활동과 근력이 감소하면 무릎이 불안정하게 되어 무릎부상이 증가한다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 하지근력 차이가 근활성도에 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 우성하지와 열성하지의 분류를 단축성 수축에 의한 최대 피크토크를 이용하였기 때문에 신장성 수축이 이루어진 드롭 랜딩에서는 유의한 차이가 나타나지 않은 것으로 사료된다. Lamb(1984)은 신장성 수축에 의한 운동에서는 단축성 수축에 의한 경우보다 근전도 활동(electromyographic activity)이 낮고 활동성 운동단위의 수가 적거나 운동단위를 동원하는 자극 빈도가 낮다고 하였다. 이와 같은 결과로 미루어 볼 때 우성하지와 열성하지의 근전도치를 상대적 비교분석을 통해 좀 더 의미있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 착지 시 이심성 수축 근인 외측광근(vastus lateralis)과 내측광근(vastus medialis)의 비교 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

## V. 결론

본 연구의 목적은 체육영재 아동을 대상으로 드롭 착지 시 근 불균형에 따른 우성하지와 열성하지의 생체역학적 변인 차이를 분석하는데 있다. 그 결과 우성하지에서 최대수직지면반력이 유의하게 높았으며, 열성하지 보다 무릎관절 모멘트가 큰 것으로 나타나 무릎굴곡 동작을 보다 안정적으로 제어한 것으로 생각된다.

따라서 본 연구를 토대로 기존에 이루어지고 있는 체육영재 아동의 운동 수행능력 향상 프로그램뿐만 아니라 하지 근력의 균형에 초점을 맞춘 부상예방 프로그램도 함께 이루어져야 한다고 생각되며, 이러한 결과들은 체육영재 프로그램의 개선방향에 대해 유의한 정보로 제공 되어 질 수 있을 것으로 사료된다. 또한 한발 착지시 상해 발생 비율이 증가된다는 선행연구(Olsen, Myklebust, Engebretsen & Bahr, 2004)를 토대로 동측 H/Q ratio 근력 비율에 따른 상해요인 분석이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- Abdel-Aziz, Y. L., & Karara, H. M.(1971). *Direct Linear Transformation From Comparator Coordinates in Object-Space Coordinates in Close-Range Photogrammetry*. Proceedings of the ASP Symposium of Close-Range Photogrammetry. Urbana, IL.
- Brown, L.(2000). *Isokinetic in Human Performance*, Champaign Illinois; Human Kinetic Publishers.
- Calmels, P., & Minaire, P.(1995). A review of the role of the agonist/antagonist muscle pairs ratio in rehabilitation. *Disability and Rehabilitation*, 17(6), 265-276.
- Chae, W. S., & Kang, N. J.(2009). Effects of Wearing Spandex Pants on Impact Forces and Muscle Activities during Drop Landing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 19(3), 603-610.
- Choi, I. A., & Lim, B. O.(2009). Difference in Lower Extremity Landing Biomechanics Between Male and Female Ballet Dancers during Drop Landing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 19(4), 647-653.
- Cho, J. H., Kim, K. H., Moon, G. S., Cho, Y. J., & Lee, S. C.(2010). Analysis of Injury Mechanism on Ankle and Knee during Drop Landings According to Landing Directions. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(1), 67-73.
- Cram, J. R., Kasman, G. S., & Holtz, J.(1998). *Introduction the Surface Electromyography, 2nd ed*. An Aspen Publication.
- Cutlip, R. G., Baker, B. A., Hollander, M., & Ensey, J.(2009). Injury and adaptive mechanisms in skeletal muscle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(3), 358-372.
- Devita, P., & Skelly, W. A.(1992). Effect of landing stiffness on joint kinematic and energetics in the lower extremity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 24(1), 108-115.
- Ford, K. R., Myer, G. D., Smith, R. L., Vianello, R. M., Seiwert, S. L., & Hewett, T. E.(2006). A comparison on dynamic coronal plane excursion between matched male and female athletes when performing single led landings. *Clinical Biomechanics*, 21(1), 33-40.
- Fowler, N. E., & Reilly, T.(1993). *Assesment of Muscle Strength Asymmetry in Soccer Players*. in Contemporary Ergonomic EJ Lovesey(Ed), 327-332. Lodon: Taylor & Francis.
- Gleim, G. W., Nicholas, J. W., & Webb, J. N.(1978). Isokinetic evaluation following leg injuries. *The Physician & Sports Medicine*, 6(8), 74-82.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., & Ford, K. R.(2001). Prevention of anterior cruciate ligament injuries. *Current Women's Health Report*, 1(3), 218-224.
- Kaelin, X., Stacoff, A., Denoth, J., & Steussi, E.(1988). *Shock Absorption during Landing After a Jump*. In: Biomechanics XI-B(eds G. DeGroot, A.P. Hollader, P.A. Huijing & G.J. Van Ingen Scenau), 685-688. Free University Press, Amsterdam.
- Kim, D. S., Chae, W. S., Kang, N. J., Kim, J. W., Kim, M. S., & Kim, G. S.(2010). *The Effect of Asymmetric Muscle Force in the Lower Extremity on Dynamic Balance during walking*. International Conference of Korean Society of Sport Biomechanics, 190-195.
- Kim, K. H., & Cho, J. H.(2009). The Effects of Ankle Taping on Ankle Angular Velocity, Ground Reaction Force and Postural Stability during jump Landing on Athlete with Functional Ankle Instability. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 19(3), 519-528.
- Kim, H. D., Kim, D. J., & Lee, S. E.(2008). The Identification and Prediction of Hamstring Muscle Strain with Ipsi/bilateral Strength Ratio and Muscle Fatigability. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 32, 873-846.

- Knapik, J. J., Baumann, C. L., Jones, B. H., Harri, J. M., & Vaughn, L.(1991). Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *American Journal Sports Medicine*, 19(1), 76-81.
- Lamb, D. R.(1984). *Physiology of Exercise(2nd ed)*. New York; Macmillan Publishing Co., 322.
- McCaw, S. T., & Bates, B. T.(1992). Biomechanical implications of mild leg length inequality. *British Journal of Sports Medicine*, 25(1), 10-13.
- Newton, R. U., Gerber, A., Nimphius, S., Shim, J. K., Doan, B. K., Robertson, M., Pearson, D. R., Craig, B. W., Hakkinen, K., & Kraemer, W. J.(2006). Determination of functional strength imbalance of the lower extremities. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 971-977.
- Nigg, B. M., & Bobbert, M.(1990). On the potential of various approach in load analysis to reduce the frequency of sports injuries. *Journal of Biomechanics*, 23, 3-12.
- Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L., & Bahr, R.(2004). Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *The American Journal of Sports Medicine*, 32(4), 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-landing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(11), 1949-1958.
- Sangnier, S., & Tournay-Chollet, C.(2007). Comparison of the decrease in strength between hamstrings and quadriceps during isokinetic fatigue testing in semiprofessional soccer players. *International Journal Sports Medicine*, 28(11), 198-207.
- Slagle, G. W.(1979). The importance of pre-testing the knee joint. *Athletic Train*, 14, 225-226.
- Thomas, W. K., Michael, R. T., & Mark, I.(2008). Gender differences in lower extremity landing mechanics caused by neuromuscular fatigue. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(3), 554-565.
- Tylkowsky, C. M., Simon, S. R., & Mansour, J. M.(1982). *Internal Rotation Gait in Spastic Cerebral Palsy in the Hip*. Proceeding of the 10th Open Scientific Meeting of the Hip Society(Edited b Nelson, J.P.), 89-125. Mosby, St. Louis.
- Valiant, G. A., & Cavanagh, P. R.(1985). A Study of Landing From a Jump: Implications for the design of a basketball shoe. In Winter, D. A. & Norman, R. W.(Eds.), *Biomechanics*, IX, 117-122. Champaign, IL: Human Kinetics Publisher.
- Winter, D. A.(1980). Overall principle of lower limb support during stance phase of gait. *Journal of Biomechanics*, 13(1), 923-927.
- Woods, C., Hawkins, R., Hulse, M., & Hodson, A.(2002). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football-analysis of preseason injuries. *The British Journal of Sports Medicine*, 36(6), 436-441.