

여자 체조선수들의 드롭 랜딩 시 체조화 착용유무가 전방십자인대 부상 위험요인에 미치는 영향

임비오¹ · 류 영² · 김규완²

¹중앙대학교 사범대학 체육교육과, ²인천대학교 예술체육대학 체육학과

Effects of Gymnasts Shoes on Risk Factors of Anterior Cruciate Ligament Injuries during Drop Landing in Female Gymnasts

Bee-Oh Lim¹ · Young Ryu² · Kew-Wan Kim²

¹Department of Physical Education, College of Education, Chungang University, Seoul, Korea

²Department of Physical Education, College of Arts and Physical Education, University of Incheon, Incheon, Korea

Received 28 July 2013; Received in revised form 16 September 2013; Accepted 25 September 2013

ABSTRACT

The purpose of the study was to investigate the effects of gymnasts shoes on risk factors of anterior cruciate ligament injuries during drop-landing followed by vertical jump in female gymnasts. Thirteen female gymnasts were recruited and performed randomly drop-landing followed by vertical jump in height of her knee with and without shoes. Kinematics and ground reaction data were collected to estimate the anterior cruciate ligament injuries risk factors. Data were analyzed with paired samples t-test with Bonferroni correction. Female gymnasts with shoes showed more reduced thigh maximum adduction angle, and knee maximum extension moment than without shoes. Female gymnasts with shoes showed more increased shank maximum abduction angle than without shoes. In conclusion, Female gymnasts with shoes reduced anterior cruciate ligament injuries risk factors.

Keywords: Gymnasts Shoes, Anterior Cruciate Ligament, Injury Risk Factors, Female Gymnasts

I. 서 론

전방십자인대 손상은 무릎에서 가장 흔한 발생 부위이며(Ford, Myer & Hewett, 2003; Lim, 2007a), 주로 점프 후 착지할 때 발생한다(Lim, 2007b; Miyasaka, Daniel, & Stone, 1991; Noyes, Moar & Neimann, 1983). 또한 여자 선수들은 남자 선수들보다 부상 발생 비율이 2-10배 정도 더 높다(Ford, Shapiro, Myer, Van Den Bogert, & Hewett, 2010; Lim, 2007a, 2007b; Lim & Park, 2007).

여자 선수들이 남자 선수들보다 전방십자인대 손상이 많은 이유로 점프 후 착지할 때 무릎 신전모멘트와 외반모멘트가 더 크고(Lim, 2007a; Chappell, Yu, Kirkendall & Garrett, 2002), 무릎과 엉덩관절을 덜 굽히고, 대퇴는 더 내반(adduction)되고 내회전(internal rotation)되며, 하퇴는 더 외반(abduction)되고 외회전(external rotation)되기 때문이다(Hewett, Myer, & Ford, 2006).

여자 체조선수들은 하루에 100회 이상의 도약 및 착지를 수행하며, 발의 충격을 통해 무릎의 전방십자인대에 큰 부하가 전달된다(Orishimo, Kremenic, Pappas, Hagins, & Liederbach, 2009). 수많은 반복적인 착지 동작으로 인한 큰 충격은 전방십자인대 손상 비율을 증가시키는데, 여자 체조선수들의 전방십자인대 부상 발생률은 13.7%로 9.8%인 축구, 7.8%인 핸드볼, 그리고 3.9%인 배구보다 훨씬 더 높은 부상 발생 비율을 차지한다(Mountcastle, Posner,

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부) 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-327-2011-1-G00134).
Corresponding Author: Bee-Oh Lim
Department of Physical Education, College of Education, Chungang University, 84 Heukseok-Ro Dongjak-Gu, Seoul, Korea
Tel : +82-10-3201-4483 / Fax : +82-2-812-2729
E-mail: bolim@cau.ac.kr

Kragh, & Taylor, 2007).

여자 체조선수들은 점프 후 착지 시 발을 보호하기 위해 체조화를 착용한다. 체조화의 바닥은 얇은 고무로 처리되어 있어 가볍고, 착지 시 매트와 발의 미끄러움을 방지해 준다. 특히, 겨울철에 맨발로 평균대 모서리 쪽으로 착지 할 경우 발톱 사이가 벌어지거나 발바닥이 갈라지는 경우가 많은데, 이러한 경우에 발을 보호해준다. 현재 지도자나 선수들은 체조화가 발을 보호해준다고만 알고 있는데, 부상에 미치는 영향 특히, 무릎의 전방십자인대에는 어떤 영향을 미치는지 의문으로 남겨진 상황이다.

선행연구에서 여자 체조 선수들의 전방십자인대 손상 비율은 매우 높다고 보고하였지만(Mountcastle et al., 2007), 전방십자인대 손상 원인에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이러한 문제점을 해결하는 첫 번째 시도로 여자 체조선수들이 착용하는 체조화가 전방십자인대 손상 위험 요인에 어떠한 영향을 미치는 지를 규명하기 위해서 본 연구를 수행하였다.

본 연구의 목적은 여자체조선수들이 전방십자인대 부상 비율이 높은 착지 동작을 수행할 때, 체조화의 착용유무가 무릎의 전방십자인대 부상위험요인에 미치는 영향을 규명하는 것이다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상자

본 연구에 참가한 연구대상은 여자 체조선수 13명(신장 148.39±7.10 cm, 체중 41.00±8.41 kg, 나이 15.29±1.11세, 선수경력 65.14±15.27개월)이다. 모집할 당시 무릎, 발목 및 허리 등의 신체 관절에 부상 중이거나 과거에 부상 경험이 있는 선수들은 본 실험에서 제외시켰다.

2. 실험 장비

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

3. 실험 절차

공간 좌표 설정을 위해 캘리브레이션 막대(calibration wand)를 이용하여 분석 범위를 설정하였다. 그 후에 분석 대상 부위에 반사마커를 부착한 후 정적인 자세를 약 5초간 촬영한 후 본 실험에 착수하였다. 인체의 운동학적 변인을 산출하기 위한 반사 마커를 부착한 신체 부위는 좌

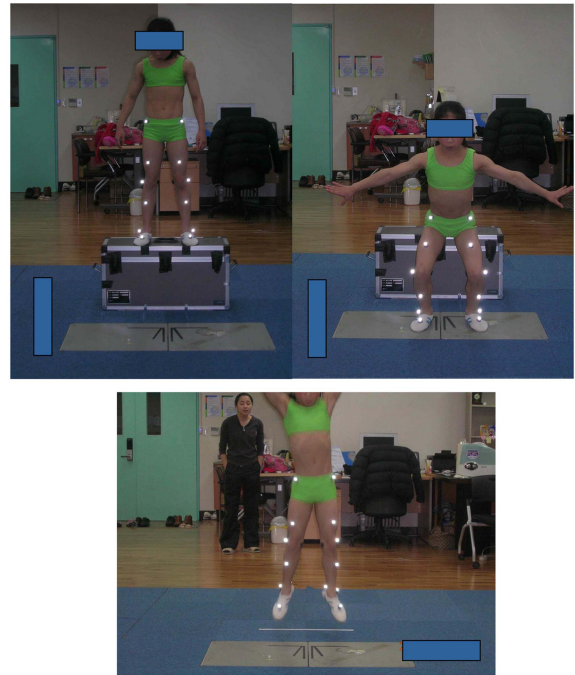


Figure 1. Experimental equipments and situation

우 상전장골극(Anterior Superior Iliac Spine, [ASIS]), 상후장골극(Posterior Superior Iliac Spine, [PSIS]), 좌우 대퇴 중앙지점(mid thigh), 좌우 외측상과(lateral condyle), 좌우 하퇴 중앙지점(mid shank), 좌우 외측상과(lateral epicondyle), 좌우 내과(medial malleolus), 좌우 뒤꿈치(heel), 좌우 앞꿈치(toe)이다. 13명의 여자 체조선수들은 자신의 무릎 높이의 박스 위에서 양 발 드롭 착지 후 수직 점프 동작을 체조화를 신고 3번, 신지 않고 3번씩 총 6회 무작위로 수행하였다(Figure 1). 연구대상자의 무릎높이를 측정한 후 그 높이와 일치하는 다양한 높이의 박스를 구비하여 실험하였다. 연구대상자들은 자신의 무릎 높이의 박스 위에서 뛰어 내린 후, 곧 바로 자신이 떨어 수 있는 최고 높이로 수직점프 하였다.

양 발 드롭 착지 후 수직점프 동작을 촬영하기 위해 좌우로 2대씩, 전후 1대씩 총 6대의 동작분석용 적외선 카메라(Eagle Camera, Motion Analysis, USA)를 설치하였다. 각 카메라는 초당 120프레임으로 샘플링 하였다. 양 발 드롭 착지 지점에 지면반력기 2대를 박스에서 30 cm 떨어진 지점에 설치한 후 초당 1200 Hz로 샘플링 하였다. 영상자료와 지면반력 자료는 동조용 박스(NI-USB 6218, National Instruments, Hungary)를 사용하여 동조시켰다.

본 실험에 사용된 체조화(Sasaki, Sasaki Sports, Japan)는 <Figure 2>와 같다. 체조화의 재질은 폴리에스테일이며, 중창은 없고, 밑창은 고무이며 두께는 0.2 cm이다.



Figure 2. Gymnast shoes

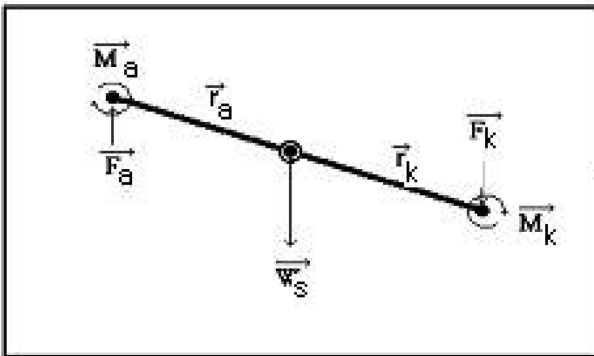


Figure 3. Free body diagram of lower extremity (Lim, 2007a)

4. 자료분석

(1) 3차원 좌표의 산출

6대의 카메라에서 얻은 2차원 평면상의 데이터는 NLT(non-linear transformation) 방법에 의해서 3차원 공간상의 데이터로 변환하였다. 3차원 좌표 계산 시 발생하는 노이즈(noise)를 제거하기 위하여 버터워스 저역통과 디지털 필터(Butterworth Low-Pass Digital Filters)를 사용하였으며, 차단주파수는 9 Hz로 설정하였다(Ford, Myer, & Hewett, 2003). 분석에는 주동발의 자료만 사용하였다.

(2) 관절 중심의 산출

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

(3) 분절의 상대각도의 산출

무릎 굴곡 각도는 대퇴와 하퇴의 방위각(orientation angle, X좌표)으로 산출하였다. 대퇴의 내/외반 각도는 골반과 대퇴의 방위각(Y좌표)으로 계산하였고, 대퇴의 내/외측 회전 각도는 골반과 대퇴의 방위각(Z좌표)으로 계산하였다. 하퇴의 내/외반 각도는 대퇴와 하퇴의 방위각(Y좌표)으로 계산하였고, 하퇴의 내/외측 회전 각도는 대퇴와 하퇴의 방위각(Z좌표)으로 계산하였다.

(4) 관절모멘트의 산출

하퇴 분절의 자유물체도(free body diagram)는 <Figure 3>과 같으며, 무릎관절 모멘트의 산출식은 다음과 같다(Lim, 2007a).

$$\Sigma \vec{F}_i = \vec{F}_i + \vec{W}_s + \vec{F}_k = m\vec{a}$$

$$\Sigma \vec{M}_i = \vec{r}_a \times \vec{F}_a + \vec{M}_a + \vec{r}_k \times \vec{F}_k + \vec{M}_k = I\vec{\alpha}$$

\vec{F}_a : 발목관절에서 작용하는 힘

\vec{F}_k : 무릎관절에서 작용하는 힘

\vec{W}_s : 하퇴분절의 무게

\vec{M}_a : 발목관절에서 작용하는 모멘트

\vec{M}_k : 무릎관절에서 작용하는 모멘트

\vec{r}_a : 하퇴분절의 무게중심에서 발목관절의 위치벡터

\vec{r}_k : 하퇴분절의 무게중심에서 무릎관절의 위치벡터

m : 하퇴분절의 질량

I : 하퇴분절의 관성모멘트

위에서 제시한 공식에 의해 양 발 드롭 착지 후 수직점프 동작 시 무릎의 신전모멘트와 외변모멘트를 산출하였다. 산출된 신전모멘트와 외변모멘트의 값에 신장(m)과 체중(kg)을 곱한 값으로 나누어 표준화하여 비교하였다.

(5) 분석구간의 설정

분석구간은 박스 위에서 양 발 드롭 착지 후 지면반력에 착지하는 시점(foot contact, [FC])에서 무릎이 최대로 굴곡된 시점(knee max flexion, [KMF])까지의 구간이다.

(6) 통계분석

13명의 여자 체조선수들에 의해 수행된 양 발 드롭 착지 동작 후 수직점프 시 체조화 착용 유무에 따른 무릎의 전방십자인대 부상 위험요인에 미치는 영향을 규명하기 위해 종속 t-test(paired samples t-test with Bonfferoni correction)을 실시하였다. 통계적 유의성을 검증하기 위한 유의수준은 .05로 설정하였으며, SPSS 18.0 프로그램을 사용하였다.

III. 결 과

체조화 착용 유무에 따른 무릎의 전방십자인대 부상 위험 요인에 미치는 영향은 <Table 1>과 <Figure 4>와 같

Table 1. Anterior cruciate ligament risk factors with and without shoe

		Without shoe	With shoe
Knee maximum flexion angle (deg)	M	75.94	71.83
	SD	8.13	7.61
Thigh maximum adduction angle (deg)	M	9.18	3.87*
	SD	3.23	2.85
Thigh maximum internal rotation angle (deg)	M	12.79	12.96
	SD	5.61	6.24
Shank maximum abduction angle (deg)	M	6.37	1.33*
	SD	1.56	0.67
Shank maximum external rotation angle (deg)	M	1.33	2.31
	SD	0.94	1.57
Knee maximum extension moment (Nm/kgm)	M	1.11	1.05*
	SD	0.13	0.11
Knee maximum abduction moment (Nm/kgm)	M	0.50	0.49
	SD	0.09	0.10

M: mean, SD: standard deviation, * $p < .05$

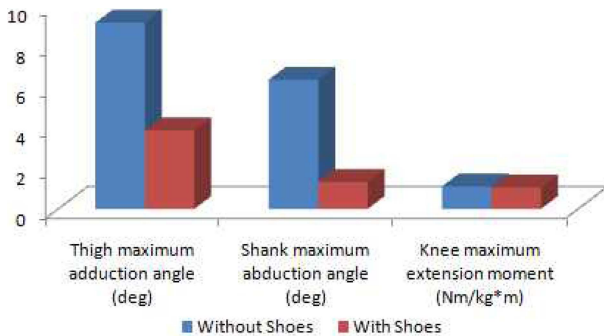


Figure 4. Statistical differences between with and without shoe in anterior cruciate ligament risk factors

다. <Table 1>과 <Figure 4>에서 여자 체조 선수들의 체조화 착용 전후를 비교하여 보면 대퇴 최대 내반 각도(thigh maximum adduction angle, $p = .041$), 하퇴 최대 외반 각도(shank maximum abduction angle, $p = .037$) 및 무릎 최대 신전 모멘트가 유의하게 감소한 것으로 나타났다($p = .045$). 위 세 가지 변인을 제외한 나머지 변인들에서는 통계적인 유의한 차이가 나타나지 않았다.

IV. 논 의

본 연구는 착지 후 점프 동작을 많이 수행해야 하는 여자 체조선수들을 대상으로 체조화가 무릎의 전방십자인대 부상 위험요인에 미치는 영향을 규명하는 것이다. 연구결과, 여자 체조 선수들의 체조화 착용 전후를 비교하여 보

면 대퇴 최대 내반 각도 및 하퇴 최대 외반 각도는 더 작게 나타났다(Table 1, Figure 4). 대퇴 최대 내반 각도 및 하퇴의 최대 외반 각도의 감소는 무릎의 외반(valgus)을 감소시킨다. 무릎에서 외반 부하(valgus stress)와 전방십자인대 긴장의 증가 사이의 관계는 사체, 생체내 및 컴퓨터 모델링 실험에 의해 입증되었다(Han & Lim, 2009; Fukuda, Woo, & Loh, 2003). 무릎에서 외반의 감소는 전방으로의 경골 이동을 현저하게 감소시키고 전방십자인대에 가해지는 부하를 감소시킨다(Fukuda et al., 2003). Jo (1999)는 신발을 착용한 경우는 경직된 착지를 하고 맨발인 경우는 유연한 착지를 하는데, 맨발로 착지 시 관절 각도를 증가시킴으로써 신발의 쿠션이 담당할 충격 완화의 역할을 보상한다고 하였다. 맨발 착지 시 신발 착지에 비해 관절 각도를 증가시킨 이유는 착지 시간을 연장해 신체에 가해지는 충격력을 감소시키려는 인체의 적응기제 때문이라고 하였다. 본 연구에서도 Jo(1999)의 연구결과와 동일하게 체조화 착용 시 하지 분절의 움직임이 감소하였는데, 이는 충격을 적절히 감소시켜 주는 반면에 불필요한 하지의 관절 운동을 줄여줌으로서 에너지를 절약시키는 것으로 판단된다.

여자 체조 선수들의 체조화 착용 전후를 비교하여 보면 무릎 최대 신전모멘트는 더 작게 나타났다(Table 1). DeVita, Lassiter, Hortobagyi와 Torry (1998)는 전방십자인대 수술환자 7명을 대상으로 3주가 지난 시점에서 무릎 보호대를 착용하고 1.26 m/s의 속도로 걷게 하였다. 그 결과 무릎의 신전모멘트가 감소하였는데, 이는 무릎의 전방십자인대에 가해지는 부하의 감소와 밀접한 관계가 있다고 보고하였다. Lim (2007a)는 16-18세 사이의 여자농구 선수 13명을 대상으로 농구 리바운드 점프 후 착지 시 무릎보호대의 효과를 규명하였다. 연구결과, 무릎보호대를 착용하고 리바운드 점프 후 착지 시 무릎의 신전모멘트가 감소하게 나타났으며, 이는 전방십자인대에 가해지는 부하를 감소시키는 결과라고 하였다. 여자 체조선수들을 대상으로 한 본 연구에서도 체조화를 착용하고 드롭 착지 하였을 때 무릎의 최대 신전모멘트가 더 감소하게 나타났다. 이는 무릎의 전방십자인대에 가해지는 부하가 감소되었다는 의미이다. Hewett, Myer와 Ford (2005)은 생체역학 연구에서 무릎 외반은 전방십자인대 부상 위험을 예측하는 요인이라고 하면서, 73%의 민감성과 78%의 특수성으로 전방십자인대 부상 위험을 예측한다고 보고하였다. 무릎 외반 각도는 전방십자인대 부상 집단이 부상을 입지 않은 집단보다 8° 더 크게 나타났다고 보고하였는데(Han & Lim, 2009; Hewett et al., 2005), 본 연구에서는 5~6° 정도 차이가 나타났다.

Han & Lim (2007)의 연구에서는 무릎보호대를 착용하였을 때가 무릎보호대를 착용하지 않았을 때와 비교하여

농구 리바운드 착지 시 대퇴 최대 내측회전 각도와 무릎 최대 외번모멘트가 더 작게 나타났다고 보고하였다. 대퇴 최대 내측회전과 무릎 최대 외번모멘트가 증가된 여자 선수들은 관절을 조절하는 능력이 감소되어 무릎 부상이 증가되며, 이는 무릎의 굴곡근 뿐만 아니라 외전근과 내전근의 수축 형태에도 영향을 미쳐서 근신경 조절 능력이 감소하게 되고 이는 무릎 관절을 경직(stiffness)하게 되어 전방십자인대 부상이 증가한다고 하였다(Han & Lim, 2009; Ford et al., 2003). 결국, 무릎보호대는 대퇴 최대 내측회전과 무릎 최대 외번모멘트를 감소시켜 전방십자인대 부상위험 요인이 감소된 것이라고 하였다. 그러나 본 연구에서는 체조화 착용여부와 관계없이 대퇴 최대 내측회전 각도와 무릎 최대 외번모멘트에서 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이는 동작(농구 리바운드 점프 후 착지 vs 드롭 착지 후 수직점프)의 차이가 결과에 영향을 미친 것으로 판단된다. 이와 관련된 후속연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 여자 체조선수들을 대상으로 체조화가 무릎의 전방십자인대 부상 위험요인에 미치는 영향을 규명하는 것이다. 연구결과, 여자 체조 선수들의 체조화 착용 전후를 비교하여 보면 드롭 착지 후 수직점프 시 대퇴의 최대 내반 각도 및 하퇴의 최대 외반 각도는 더 작게 나타났으며, 무릎의 최대 신전모멘트는 더 감소한 것으로 나타났다. 이러한 결과를 종합하면, 여자 체조선수들은 체조화를 신고 드롭 착지 후 수직점프를 수행하면 무릎의 전방십자인대 부상 위험이 감소하게 된다.

참고문헌

- Chappell, J. D., Yu, B., Kirkendall, D. T., & Garrett, W. E. (2002). A comparison of knee kinetics between male and female recreational athletic in stop-jump tasks. *American Journal of Sports Medicine*, 30, 261-267.
- DeVita, P., Lassiter, T. Jr., Hortobagyi, T., & Torry, M. (1998). Functional knee brace effects during walking in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *American Journal of Sports Medicine*, 26(6), 778-784.
- Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2003). Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Medicine Science and Sports in Exercise*, 35(10), 1745-1750.
- Ford, K. R., Shapiro, R., Myer, G. D., Van Den Bogert, A. J., & Hewett, T. E. (2010). Longitudinal sex differences during landing in knee abduction in young athletes. *Medicine Science and Sports in Exercise*, 2(10), 1923-1931.
- 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.
- Han, K. H., & Lim, B. O. (2009). Mechanism and Risk Factors of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes. *Kinesiology*, 17(4), 107-113.
- Han, K. H., & Lim, B. O. (2007). The Effects of Knee Brace on the Knee Muscular Neuro-Biomechanical Variables during the Rebound in Female Highschool Basketball Players. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(4), 107-113.
- 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.
- Jo, S. C. (1999). Biomechanical analysis of bare foot landing and shod foot landing in drop jump. *The Korean Journal of Physical Education*, 38(3), 715-725.
- Lim, B. O. (2007a). The effects of knee brace on the knee extensor and valgus moment during the rebound in female high-school basketball player. *The Korean Journal of Physical Education*, 46(4), 509-514.
- Lim, B. O. (2007b). Does a knee brace decrease recurrent anterior cruciate ligament injuries? *Health & sports medicine*, 9(1), 103-109.
- Lim, B. O., & Park, Y. H. (2007). A Comparison of Sex-based Differences in Knee Neuromuscular Biomechanical Factors during Basketball Rebound Jump. *Korean Journal of Sports Biomechanics*, 17(3), 23-29.
- Miyasaka, K. C., Daniel, D. M., & Stone, M. L. (1991). The incidence of knee ligament injuries in the general population. *American Journal of Knee Surgery*, 4, 3°©8.
- Mountcastle, S. B., Posner, M., Kragh, J. F. Jr, Taylor, D. C. (2007). Gender differences in anterior cruciate ligament injury vary with activity: epidemiology of anterior cruciate ligament injuries in a young, athletic population. *American Journal of Sports Medicine*, 35(10), 1635-1642.
- Noyes, F. R., Mooar, P. A., & Neimann, R. (1983). The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part I: The long-term functional disability in athletically active individuals. *Journal of Bone Joint and Surgery*, 65(A), 154-162.
- Orishimo, K. F., Kremenic, I. J., Pappas, E., Hagins, M., & Liederbach, M.. (2009). Comparison of landing biomechanics between male and female professional dancers. *American Journal of Sports Medicine*, 37(11), 2187-2193.
- Tylkowsky, 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.