

## 발목 관절 근육의 유도된 피로가 외발서기 자세제어 능력과 회복에 미치는 영향

염창홍<sup>1</sup>·김태현<sup>2</sup>

<sup>1</sup>동아대학교 스포츠과학대학 스포츠지도학과<sup>2</sup> 동아대학교 대학원 태권도학과

### Effects of Induced Fatigue of Ankle Joint Muscle on the Capability and Recovery of Postural Control during Single-Leg Stance

Chang-Hong Youm<sup>1</sup>·Tae-Hyeon Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Coaching, College of Sport Sciences, Dong-A University, Busan, Korea

<sup>2</sup>Department of Taekwondo, Graduate School, Dong-A University, Busan, Korea

Received 30 April 2012; Received in revised form 14 June 2012; Accepted 21 June 2012

#### ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate how induced fatigue of the ankle joint muscles affects the capability and recovery of postural control during single-leg stance in healthy adults. The study population included 22 randomly recruited men and women. Postural control was performed on single-leg stance with eyes open. Ankle joint muscle was fatigued by repeated heel raises. According to the results of this study, for the anteroposterior variables, both men and women showed significantly increased center of mass velocity and decreased center of pressure 95% edge frequency immediately after fatigue. For the mediolateral variables, both men and women showed significantly increased center of mass velocity and decreased center of pressure 95% edge frequency immediately after fatigue. For the total variables, both men and women showed significantly increased center of mass averaged-velocity immediately after fatigue, and also, the center of pressure 95% confidence ellipse area significantly increased in women. Postural control variables were not significantly different for men and women at any time (Pre, P0, P10, and P20). In conclusion, the gender does not affect the capability and recovery after induced fatigue of ankle joint muscles. The effect of fatigue found for the anteroposterior and the mediolateral variables in both men and women. Furthermore ankle joint muscle fatigue led to change of postural control strategy from an ankle joint strategy towards a hip joint strategy. These changes are believed to damage postural control. The ankle joint muscle recovered from fatigue within 20 min during single-leg stance.

**Keywords :** Ankle Joint Muscle, Fatigue, Single-Leg Stance, Heel Raise, Center of Pressure, Center of Mass

## I. 서 론

자세제어는 능숙한 일상생활 활동의 완수와 최적의 신체 활동 수행을 위해 필수적인 요소이다(Boyas et al., 2011; Murphy, Connolly, & Beynnon, 2003). 이러한 자세제어는 시각, 전정감각,

체성감각계로부터 입력된 감각 정보의 통합과 근 골격계의 조절을 통해 이루어지며(Hall & Brody, 1999; Shumway-Cook & Woollacott, 2000), 또한 기저면(base of support) 내에 신체의 질량중심점(center of mass, COM)을 유지하는데 필요한 지속적인 근육의 수정 과정을 통해 자세를 제어한다(Boyas et al., 2011; Johansson & Magnusson, 1991). 이러한 자세제어에 주요한 역할을 하는 근육은 종아리 근육(calf muscles)으로 그 이유는 직립 서기 시 질량중심점의 수직 투사 위치가 발목 관절 축에서 전방으로 떨어지기 때문이다(Boyas et al., 2011; Panzer, Bandinelli, & Hallett, 1995). 그리고 자세제어에 필수적인 요인 중 하나는 운동을 수행하는 동안에 안정성을 유지할 수 있는 충분한 근력을

이 논문은 2011년 제92회 전국체육대회기념 제49회 한국체육학회 학술발표회에서 발표된 논문임

Corresponding Author : Chang-Hong Youm  
Department of Coaching, College of Sports Sciences, Dong-A University,  
840 Hadan-dong, Saha-gu, Busan, Korea  
Tel : +82-51-200-7830 / Fax : +82-51-200-7805

E-mail : chyoun@dau.ac.kr

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-332-G00103).

발생할 수 있는 능력이며, 만약 발목 관절의 안정근이 충분한 힘을 생산할 수 없다면, 발목 관절의 불안정으로 인해 자세 동요는 증가하게 될 것이다(Yaggie & McGregor, 2002).

근육의 피로는 신체 활동 시 고강도 혹은 장시간 운동으로 인한 최대근력 생산능력의 감소로 정의되며(Allen & Westerblad, 2001; Lorst, Kernell, Meijman, & Zijdewind, 2002), 신경계의 많은 부분을 포함하고 있는 복잡한 현상이다(Boyas et al., 2011; Boyas & Guevel, 2011). 이러한 근육 피로는 근수축 효율성과 고유감각 정보를 변경시키며 운동 협응과 자세제어에 영향을 미친다(Chabran, Maton, & Fourment, 2002). 근육의 피로로 인한 증상은 불충분한 근력 혹은 낮은 근력 발생과 부전을 일으키는 많은 질병에서 나타나는 일반적인 증상과 유사하며, 이는 환자와 고령자들의 자세제어 능력 감소와 직접적으로 관련되어 있다(Thelen, Schultz, Alexander, & Ashton-Miller, 1996). 그러나 이러한 근피로가 근력 유지능력 감소, 운동 조절능력 감소, 골격근이나 관절의 위치 혹은 운동에 대한 정보를 수용하는 고유수용성 감각의 감소를 유발시킨다는 보고(Johnston, Howard, Cawley, & Losse, 1998)와 유의한 감소를 보이지 않는다는 보고(Springer & Pincivero, 2009)가 다소 상충하고 있는 실정이다.

직립서기 시 자세를 제어하는 전략에는 발목 관절 전략(ankle joint strategy)과 엉덩 관절 전략(hip joint strategy)이 있으며(Winter, 1995), 발목 관절 전략은 비교적 적은 동요 시 발목의 저축굴곡근과 배측굴곡근을 통해 역진자(inveterd pendulum) 모델로 조절을 하며, 엉덩 관절 전략은 보다 큰 신체 동요 혹은 발목 관절 전략으로 자세를 제어할 수 없을 경우 엉덩 관절의 움직임에 이용하여 자세를 조절하는 전략이다(Winter, 1995). 외발서기 시 발목 관절 전략으로 자세를 충분히 제어할 수 없는 경우, 역진자 모델에서 몸통과 엉덩이의 움직임을 포함하는 다분절(multi-segment) 모델로 자세제어 전략의 변화가 나타난다(Adlerton, Moritz, & Moe-Nilssen, 2003).

압력중심점(center of pressure, COP) 변인들은 자세제어를 평가하는데 주로 사용되는 신뢰성과 타당성이 높은 변인이며(Boyas et al., 2011; Ruhe, Fejer, & Walker, 2010), 압력중심점 변인들의 결과가 증가하면, 안정성의 감소 혹은 자세제어 능력의 감소로 해석된다(Adlerton et al., 2003). 그러나 몇몇의 선행 연구에서는 서기 시 압력중심점의 변화가 질량중심점의 위치 변화에 항상 대응하여 나타나지 않기 때문에, 이러한 압력중심점의 변화는 자세제어 능력의 부족을 나타내기보다는 오히려 적절한 질량중심점 제어를 통한 자세제어 전략의 변화를 나타내는 것으로 보고하면서 자세제어 지표로써 타당성이 있는가에 대한 의문점을 제기하였다(Adlerton et al., 2003). 또한 이러한 자세제어 전략 변화에 따른 전략 선택에 대한 정보는 질량중심점을 조절할 때 사용되어지기 때문에 자세제어 능력을 평가하기 위해서는 압력중심점뿐 아니라 질량중심점의 변인을 함께

분석할 필요가 있는 것으로 판단된다. 그러나 이와 관련된 연구는 다소 미흡한 실정이다.

국내의 경우, 근피로 유발로 인한 자세제어 능력 변화 및 근육 피로 후 기능적 자세제어 능력의 회복 과정에 대한 연구는 거의 없는 실정이며, 국외의 경우에도 다소 미흡한 실정이다. 몇몇의 연구에 의하면, 눈뜨고 외발서기 시 저축굴곡근과 배측굴곡근 피로에 대한 효과는 약 10분 동안 지속된다고 보고하였으며(Adlerton et al., 2003; Gribble & Hertel, 2004; Reimer & Wikstrom, 2010; Yaggie & McGregor, 2002), 또한 Harkins et al.(2005)은 눈감고 외발서기 시 저축굴곡근과 배측굴곡근의 등속성 피로 후 보다 더 빨리 회복된다고 보고하였다. 이러한 결과는 실험에 사용된 피로 프로토콜과 근 피로 유발 운동 지속 시간 차이로 설명할 수 있으나, 자세제어 능력 변화 및 자세제어 전략 변화를 통한 명확한 연구는 없는 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 뒤꿈치 들기(heel raise) 운동에 의한 발목 관절 근육의 유도된 피로가 성인 남녀의 자세제어 능력과 회복에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하는 것이다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상 및 실험장비

본 연구의 대상자는 일상생활에 문제가 없으며, 최근 6개월 내에 정형외과적 병력이 없는 성인 남녀 각 11명(남성:11명 연령 20.0±0.9 세, 신장 175.1±5.1 cm, 체중 67.6±7.6 kg, BMI 22.2±3.1 kg/m<sup>2</sup>, 여성:11명 연령 20.4±1.2 세, 신장 163.7±6.5 cm, 체중 59.9±5.9 kg, BMI 22.4±2.1 kg/m<sup>2</sup>)을 무작위로 선발하였다. 실험 전 모든 대상자들에게 본 연구의 취지와 내용을 충분히 설명하였으며, 자발적 실험 참여에 대한 서면 동의서를 받은 후 실험을 실시하였다. 이 연구에 사용된 장비는 <Table 1>과 같다.

실험실내 외발서기를 수행하는 위치에 힘측정판(AMTI OR6-7, Watertown, MA, US)과 적외선 카메라(Vicon MX-T10, Oxford Metric Ltd, Oxford, UK)를 설치하였으며, 샘플링 주파수는 지면 반력 데이터 200 Hz, 영상 데이터 100 Hz로 설정하였다.

Table 1. Experimental equipment

Equipment	Model	Manufacturer
Vicon camera	Vicon MX-T10	Vicon(UK)
Synchronizer	GIGANET	Vicon(UK)
Analysis S/W	Nexus	Vicon(UK)
Force platform	OR6-7	AMTI(US)
Force platform amplifier	MSA-6	AMTI(US)

힘측정판위에는 미끄럼 방지용 테이프를 부착하여 외발서기 동작 시 미끄럼이 억제되도록 하였다. 실험 절차에 따라 설치된 장비를 가동시킨 후, 전자적 드리프트(drift)를 제거하기 위해 약 45분 이상 예열하였다(Lafond, Corriveau, Hebert, & Prince, 2004).

## 2. 실험 절차

이 연구는 뒤꿈치 들기 운동에 의한 발목 관절 근육의 유도된 피로가 성인 남녀의 자세제어 능력과 회복(피로 전 : Pre, 피로 직후 : P0, 피로 후 10분 : P10, 피로 후 20분 : P20)에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 반복 측정 연구를 이용하였다.

균형제어 능력과 회복을 알아보기 위하여 눈뜨고 외발서기를 실시하였으며, 실험순서는 사전 실험으로 눈뜨고 외발서기(Pre), 뒤꿈치 들기 운동 직후 눈뜨고 외발서기(P0), 의자에 앉은 상태에서 10분간 휴식 후 눈뜨고 외발서기(P10), 다시 의자에 앉은 상태에서 10분간 휴식 후 눈뜨고 외발서기(P20)의 순서로 실시하였다(Figure 1).

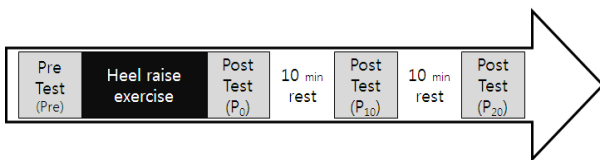


Figure 1. Experimental session

모든 피험자는 스판 소재의 셔츠와 반바지를 착용하였으며, 눈뜨고 외발서기 동작과 뒤꿈치 들기 운동은 맨발로 실시하게 하였다. 실험이 준비된 피험자는 실험 진행자의 지시에 따라 힘측정판위에 올라가 최대한 안정된 자세를 취하게 한 후, 양팔은 교차하여 가슴 앞에 고정시키고, 시선은 정면에 있는 표시를 주시하게 한 다음, 안정이 되면 자가 보고한 우성다리의 반대쪽인 지지다리를 들게 하였다. 그리고 눈을 뜬 상태에서 최대 70초까지 가능한 오랫동안 외발서기를 유지하게 하였다. 우성다리 선정은 공을 차는 다리로 결정하였다(Bizid et al., 2009).

대상자들은 운동 직후 가능한 빠른 시간 내에 힘측정판위에서 눈뜨고 외발서기를 수행하게 하였으며, 운동을 수행하는 장소로부터 힘측정판까지의 이동 경로는 약 10 m 정도였다. 휴식 시간 조절은 운동 직후부터 측정을 시작하였으며, 운동 직후, 피로 후 10분, 피로 후 20분의 외발서기 시간은 휴식 시간에 포함되어 측정되었다.

## 3. 피로 프로토콜

발목 관절 근육의 피로 유발은 뒤꿈치 들기 운동을 이용하였으며, 전후 가동범위를 최대로 하기 위해 10° 후방 경사대위에서 수행하였다(Figure 2).

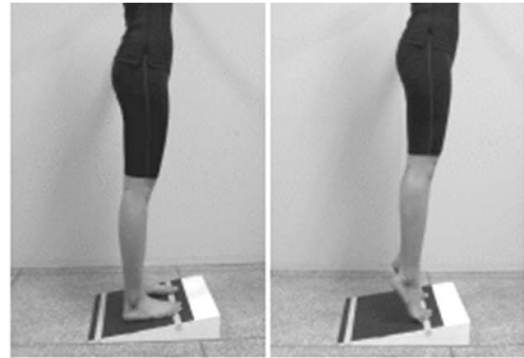


Figure 2. Heel raise exercise

뒤꿈치 들기 속도는 메트로놈을 이용하여 40 beats/min으로 실시하였으며, 최대운동 관정기준은 전 가동범위로 수행하지 못할 때, 메트로놈에 따른 속도 조절 실패, 더 이상 수행할 수 없을 때까지로 하였다(Springer & Pincivero, 2009; Vuillerme, Burdet, Isableu, & Demetz, 2006).

측정 결과, 뒤꿈치 들기 반복 횟수는 남성 그룹 202.4±64.5 회, 여성 그룹 179.5±52.8 회로 성별 간 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

## 4. 자료 처리

눈뜨고 외발서기 동작 시 지면반력 데이터와 영상 데이터는 Vicon사의 Nexus 소프트웨어(Vicon Motion Systems, Oxford, UK)를 이용하여 수집되었으며, 수집된 데이터는 Butterworth의 저역 통과 필터를 이용하여 차단 주파수 6 Hz로 필터링하였다(Raymakers, Samson, & Verhaar, 2005).

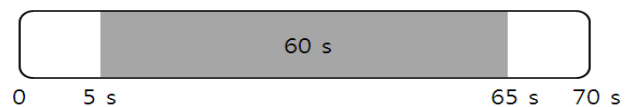


Figure 3. Data collection and analysed time

<Figure 3>과 같이, 자료 분석 시간은 외발서기 동작에서 발생된 초기 동요를 제거하기 위하여 시작 신호로부터 5초 후 총 60초로 설정하였다(Jonsson, Seiger, & Hirschfeld, 2004; Le Clair & Riach, 1996; Perrin, Devitene, Hugel, & Perrot, 2002; Youm, Park, & Seo, 2007).

피험자의 질량중심점은 좌우 후상장골극(right/left ilium posterior superior)의 각 위치에 14 mm의 구형 반사마커를 부착하여 영상 데이터를 수집한 후, 수집된 마커 좌표의 중간 지점으로 설정하였다(Vaughan, Davis, & O'Connor, 1992).

이 연구에 사용된 변인은 COM과 COP 궤적의 전후(anteroposterior), 좌우(mediolateral), 통합(total) 요인으로 나누어 사용하였다.

전후 요인은 COM 전후 속도, COP 전후 속도, COP 전후 rms(root mean squared) 거리, COP 전후 TPF(total power frequency), COP 전후 95% EF(edge frequency), COP 전후 50% EF, 좌우 요인은 COM 좌우 속도, COP 좌우 속도, COP 좌우 rms 거리, COP 좌우 TPF, COP 좌우 95% EF, COP 좌우 50% EF, 통합 요인은 COM 평균 속도, COP 평균 속도, 95% CEA(confidence ellipse area)으로 설정하였다(Dolye, Hsiao- Weckler, Ragan, & Rosengren, 2007; Prieto, Myklebust, Hoffmann, Lovett, & Myklebust, 1996). COP TPF는 파워 스펙트럼의 적분된 면적을 말하며, 95% EF는 TPF의 95% 아래에 있는 주파수 값이며, 50% EF는 TPF의 50% 아래에 있는 주파수 값을 말한다. 그리고 속도와 rms 거리 변인들은 분석 프로그램에서 산출된 자료를 Microsoft Excel 파일로 저장하고 공식(Shin, Youm, Moon, Kim, & Park, 2008)을 활용하여 Excel에서 산출하였다.

### 5. 통계 처리

SPSS 19.0을 이용하여 각 변인들의 평균과 표준편차를 산출하였으며, 성별과 시기 간의 상호작용 효과 검정을 위해 반복 측정 two-way ANOVA, 성별 간 평균차이는 독립표본 t-test, 시기

간(Pre, P<sub>0</sub>, P<sub>10</sub>, P<sub>20</sub>)의 평균차이는 반복측정 one-way ANOVA를 실시하였으며, 사후검정은 Bonferroni를 이용하였다. 통계적 유의수준은 .05로 하였다.

## III. 결 과

### 1. 전후 요인

COM과 COP 전후 요인에 대한 분석 결과는 <Table 2>와 같다. COM 전후 속도는 성별과 시기 간의 상호작용 효과, 성별 간 주효과에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 시기 간 주효과( $F_{3,60}=12.880, p=.000$ )는 유의한 차이가 나타났다.

사후검정 결과, 남성 그룹( $F_{3,30}=5.546, p=.004$ )은 시기 간 유의한 차이가 나타났으며, 피로 직후가 피로 후 10분, 피로 전, 피로 후 20분보다 유의하게 증가된 것으로 나타났다. 여성 그룹( $F_{3,30}=10.878, p=.000$ )은 피로 직후가 피로 전보다 유의하게 증가된 것으로 나타났으며, 피로 후 20분이 피로 후 10분과 피로 직후보다 유의하게 감소된 것으로 나타났다.

Table 2. The anteroposterior variables of COM and COP (Male=11, Female=11)

		Pre	P <sub>0</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>20</sub>	F <sup>a</sup>	F <sup>b</sup>	post-hoc
COM velocity (cm/s)	Male	0.64±0.12	0.83±0.23	0.61±0.10	0.65±0.12	12.880* (T)	5.546*	P <sub>10</sub> , Pre, P <sub>20</sub> <P <sub>0</sub>
	Female	0.57±0.14	0.73±0.18	0.61±0.14	0.55±0.11	ns (G)	10.878*	Pre<P <sub>0</sub> , P <sub>20</sub> <P <sub>10</sub> , P <sub>0</sub>
						ns (T×G)		
COP velocity (cm/s)	Male	3.14±0.87	2.76±0.65	2.93±0.55	2.75±0.63	4.935* (T)	ns	ns
	Female	2.58±0.61	2.46±0.53	2.78±0.50	2.45±0.55	ns (G)	6.106*	P <sub>20</sub> <Pre, P <sub>10</sub>
						ns (T×G)		
COP rms distance (cm)	Male	0.57±0.09	0.59±0.09	0.55±0.57	0.56±0.77	4.105* (T)	ns	ns
	Female	0.53±0.10	0.57±0.10	0.52±0.11	0.47±0.17	ns (G)	ns	ns
						ns (T×G)		
COP TPF (cm <sup>2</sup> )	Male	0.33±0.10	0.35±0.10	0.30±0.74	0.31±0.11	4.328* (T)	ns	ns
	Female	0.27±0.12	0.36±0.13	0.27±0.12	0.24±0.10	ns (G)	5.870*	P <sub>20</sub> <P <sub>0</sub>
						ns (T×G)		
COP 95% EF (Hz)	Male	2.63±0.51	2.26±0.45	2.48±0.39	2.38±0.31	11.134* (T)	4.758*	P <sub>0</sub> <Pre
	Female	2.39±0.33	2.03±0.34	2.52±0.58	2.39±0.50	ns (G)	8.656*	P <sub>0</sub> <Pre, P <sub>10</sub>
						ns (T×G)		
COP 50% EF (Hz)	Male	0.55±0.18	0.48±0.19	0.48±0.18	0.45±0.10	ns (T)		ns
	Female	0.49±0.24	0.48±0.25	0.47±0.17	0.50±0.19	ns (G)		ns
						ns (T×G)		

<sup>a</sup> is result of two-way ANOVA (Time × Gender) for repeated measures, <sup>b</sup> is result of one-way ANOVA for repeated measures of the time; ns means none significant; T & G mean the time and gender; \* is P<0.05.

COP 전후 속도는 성별과 시기 간의 상호작용 효과, 성별 간 주효과에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 시기 간 주효과( $F_{3,60}=4.935$ ,  $p=.004$ )는 유의한 차이가 나타났다. 사후검정 결과, 남성 그룹은 시기 간 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 여성 그룹( $F_{3,30}=6.106$ ,  $p=.002$ )은 피로 후 20분이 피로 전과 피로 후 10분보다 유의하게 감소된 것으로 나타났다.

COP 전후 rms 거리는 성별과 시기 간의 상호작용 효과, 성별 간 주효과에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 시기 간 주효과( $F_{3,60}=4.105$ ,  $p=.010$ )는 유의한 차이가 나타났다. 사후검정 결과, 남성 그룹과 여성 그룹 모두 시기 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. COP 전후 TPF는 성별과 시기 간의 상호작용 효과, 성별 간 주효과에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 시기 간 주효과( $F_{3,60}=4.328$ ,  $p=.008$ )는 유의한 차이가 나타났다. 사후검정 결과, 남성 그룹은 시기 간 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 여성 그룹( $F_{3,30}=5.870$ ,  $p=.003$ )은 피로 후 20분이 피로 직후보다 유의하게 감소된 것으로 나타났다. COP 전후 95% EF는 성별과 시기 간의 상호작

용 효과, 성별 간 주효과에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 시기 간 주효과( $F_{3,60}=11.134$ ,  $p=.000$ )는 유의한 차이가 나타났다. 사후검정 결과, 남성 그룹( $F_{3,30}=4.758$ ,  $p=.008$ )은 피로 직후가 피로 전보다 유의하게 감소된 것으로 나타났으며, 여성 그룹( $F_{3,30}=8.656$ ,  $p=.000$ )은 피로 직후가 피로 전과 피로 후 10분보다 유의하게 감소된 것으로 나타났다.

## 2. 좌우 요인

COM과 COP 좌우 요인에 대한 분석 결과는 <Table 3>과 같다. COM 좌우 속도는 성별과 시기 간의 상호작용 효과, 성별 간 주효과에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 시기 간 주효과( $F_{3,60}=19.228$ ,  $p=.000$ )는 유의한 차이가 나타났다. 사후검정 결과, 남성 그룹( $F_{3,30}=6.947$ ,  $p=.001$ )은 피로 직후가 피로 전보다 유의하게 증가된 것으로 나타났으며, 여성 그룹( $F_{3,30}=14.747$ ,  $p=.000$ )은 피로 직후가 피로 후 10분, 피로 전, 피로 후 20분보다 유의하게 증가된 것으로 나타났다.

Table 3. The Mediolateral variables of COM and COP (Male=11, Female=11)

		Pre	P <sub>0</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>20</sub>	F <sup>a</sup>	F <sup>b</sup>	post-hoc
COM velocity (cm/s)	Male	0.62±0.07	0.77±0.15	0.62±0.09	0.67±0.11	19.228* (T)	6.947*	Pre<P <sub>0</sub>
	Female	0.62±0.11	0.79±0.17	0.62±0.07	0.58±0.07	ns (G)	14.747*	P <sub>10</sub> , Pre, P <sub>20</sub> <P <sub>0</sub>
						ns (T×G)		
COP velocity (cm/s)	Male	2.94±0.95	2.76±0.71	2.72±0.65	2.64±0.69	2.776* (T)	ns	ns
	Female	2.36±0.53	2.45±0.55	2.42±0.40	2.21±0.45	ns (G)	ns	ns
						ns (T×G)		
COP rms distance (cm)	Male	0.82±0.12	0.92±0.23	0.81±0.14	0.86±0.24	3.071* (T)	ns	ns
	Female	0.73±0.17	0.91±0.20	0.76±0.12	0.76±0.31	ns (G)	ns	ns
						ns (T×G)		
COP TPF (cm <sup>2</sup> )	Male	0.61±0.22	0.84±0.56	0.63±0.31	0.77±0.47	2.878* (T)	ns	ns
	Female	0.53±0.26	0.80±0.27	0.55±0.14	0.58±0.28	ns (G)	3.498*	Pre<P <sub>0</sub>
						ns (T×G)		
COP 95% EF (Hz)	Male	1.70±0.77	1.30±0.49	1.45±0.52	1.28±0.39	4.813* (T)	ns	ns
	Female	1.44±0.44	1.13±0.39	1.36±0.43	1.15±0.38	ns (G)	ns	ns
						ns (T×G)		
COP 50% EF (Hz)	Male	0.18±0.16	0.13±0.06	0.11±0.06	0.12±0.07	ns (T)		ns
	Female	0.14±0.08	0.11±0.04	0.14±0.07	0.12±0.06	ns (G)		ns
						ns (T×G)		

<sup>a</sup> is result of two-way ANOVA (Time × Gender) for repeated measures, <sup>b</sup> is result of one-way ANOVA for repeated measures of the time; ns means none significant; T & G mean the time and gender; \* is  $P<0.05$ .

Table 4. The total variables of COM and COP (Male=11, Female=11)

		Pre	P <sub>0</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>20</sub>	F <sup>a</sup>	F <sup>b</sup>	post-hoc
COM mean velocity (cm/s)	Male	0.98±0.14	1.26±0.26	0.97±0.13	1.03±0.17	20.269* (T)	7.653*	P <sub>10</sub> <P <sub>0</sub>
	Female	0.93±0.16	1.20±0.26	0.96±0.14	0.89±0.13	ns (G)	17.364*	P <sub>20</sub> , Pre, P <sub>10</sub> <P <sub>0</sub> , P <sub>20</sub> <P <sub>10</sub>
						ns (T×G)		
COP mean velocity (cm/s)	Male	4.72±1.34	4.31±0.98	4.40±0.84	4.20±1.00	3.367* (T)	ns	ns
	Female	3.84±0.84	3.83±0.75	4.05±0.63	3.64±0.71	ns (G)	3.370*	P <sub>20</sub> <P <sub>10</sub>
						ns (T×G)		
95% CEA (cm <sup>2</sup> )	Male	0.82±0.12	0.92±0.23	0.81±0.14	0.86±0.24	4.325* (T)	ns	ns
	Female	0.73±0.17	0.91±0.20	0.76±0.12	0.76±0.31	ns (G)	3.882*	Pre<P <sub>0</sub>
						ns (T×G)		

<sup>a</sup> is result of two-way ANOVA (Time × Gender) for repeated measures, <sup>b</sup> is result of one-way ANOVA for repeated measures of the time; ns means none significant; T & G mean the time and gender; \* is  $P<0.05$ .

COP 좌우 속도는 성별과 시기 간의 상호작용 효과, 성별 간 주효과에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 시기 간 주효과( $F_{3,60}=2.776$ ,  $p=.049$ )는 유의한 차이가 나타났다. 사후검정 결과, 남성 그룹과 여성 그룹 모두 시기 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. COP 좌우 rms 거리는 성별과 시기 간의 상호작용 효과, 성별 간 주효과에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 시기 간 주효과( $F_{3,60}=3.071$ ,  $p=.034$ )는 유의한 차이가 나타났다. 사후검정 결과, 남성 그룹과 여성 그룹 모두 시기 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. COP 좌우 TPF는 성별과 시기 간의 상호작용 효과, 성별 간 주효과에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 시기 간 주효과( $F_{3,60}=2.878$ ,  $p=.043$ )는 유의한 차이가 나타났다. 사후검정 결과, 남성 그룹은 시기 간 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 여성 그룹( $F_{3,30}=3.498$ ,  $p=.027$ )은 피로 직후가 피로 전보다 유의하게 증가된 것으로 나타났다. COP 좌우 95% EF는 성별과 시기 간의 상호작용 효과, 성별 간 주효과에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 시기 간 주효과( $F_{3,60}=4.813$ ,  $p=.005$ )는 유의한 차이가 나타났다. 사후검정 결과, 남성 그룹과 여성 그룹 모두 시기 간 유의한 차이가 나타나지 않았다.

### 3. 통합 요인

COM과 COP 통합 요인에 대한 분석 결과는 <Table 4>와 같다. COM 평균 속도는 성별과 시기 간의 상호작용 효과, 성별 간 주효과에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 시기 간 주효과( $F_{3,60}=20.269$ ,  $p=.000$ )는 유의한 차이가 나타났다. 사후검정 결과, 남성 그룹( $F_{3,30}=7.653$ ,  $p=.001$ )은 피로 직후가 피로 후 10분보다 유의하게 증가된 것으로 나타났다. 여성 그룹( $F_{3,30}=17.364$ ,  $p=.000$ )은 피로 직후가 피로 전, 피로 후 10분, 피로 후 20분보다 유의하게 증가된 것으로 나타났으며, 피로

후 20분이 피로 후 10분보다 유의하게 감소된 것으로 나타났다.

COP 평균 속도는 성별과 시기 간의 상호작용 효과, 성별 간 주효과에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 시기 간 주효과( $F_{3,60}=3.367$ ,  $p=.024$ )는 유의한 차이가 나타났다. 사후검정 결과, 남성 그룹은 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 여성 그룹( $F_{3,30}=3.370$ ,  $p=.031$ )은 피로 후 20분이 피로 후 10분보다 유의하게 감소된 것으로 나타났다. COP 95% CEA는 성별과 시기 간의 상호작용 효과, 성별 간 주효과에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 시기 간 주효과( $F_{3,60}=4.325$ ,  $p=.008$ )는 유의한 차이가 나타났다. 시기 간 사후검정 결과, 남성 그룹은 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 여성 그룹( $F_{3,30}=3.882$ ,  $p=.019$ )은 피로 직후가 피로 전보다 유의하게 증가된 것으로 나타났다.

## IV. 논 의

본 연구의 목적은 뒤꿈치 들기 운동에 의한 발목 관절 근육의 유도된 피로가 성인 남녀의 자세제어 능력과 회복에 어떠한 영향을 미치는지 알아보려고 하는 것이었다.

이 연구 결과, 각 시기에 남성 그룹과 여성 그룹의 COM, COP 궤적의 모든 요인에서 그룹 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 Paillard(2012)의 보고와 일치하지 않음을 알 수 있다. Paillard(2012)의 연구에 의하면, 자세제어 능력은 여성이 남성보다 우수한 것으로 나타났다고 보고하였다. 그 이유는 여성이 남성보다 장시간 운동할 수 있는 능력의 우수함(Pincivero et al., 2003), 여성이 남성보다 낮은 절대적인 근력 발휘로 인한 근육 피로에 대한 저항의 높음(Paillard, 2012)으로 인한 신경근적 요인의 차이, 여성이 남성보다 작은 신장과 낮은 질량중심(Chiari, et al., 2002)으로 인한 생체역학적 요인의 차이 때문이라고 할 수 있다. 그리고 Springer와 Pincivero(2009)는 건

강한 남성 그룹 10명과 여성 그룹 10명을 대상으로 국소 근 피로와 전신 피로가 성별 간 외발서기 자세제어 능력에 미치는 영향을 알아본 결과, 국소 근 피로 시 뒤꿈치 들기 횟수는 남성 그룹 30±8회, 여성 그룹 32±11회로 수행되었다. 남성이 여성보다 COP 전후 범위가 크게 나타나 여성이 국소근 피로 후 자세제어 능력에서 우수한 것으로 보고하였다. 그러나 Nelson과 Johnson(1973)의 보고에 의하면, 120명의 남성과 여성을 대상으로 스킵트 운동과 뒤꿈치 들기 운동을 이용하여 전신 피로와 국소 근 피로를 유발시킨 결과, 국소 근 피로 후 정적 자세제어 능력의 손상 효과에서 성별 간 차이가 없다고 하였다. 위에서 나타난 결과에서 알 수 있듯이 성별 간 자세제어 능력에 관한 연구의 결과가 다소 상충되고 있음을 알 수 있으며, 이러한 선행 연구와 이 연구 결과 간의 차이는 근육 피로 유발을 위한 프로토콜, 즉 피로 유발을 위한 뒤꿈치 들기 횟수의 차이(남성 그룹 202±64회, 여성 그룹 179±52회), 시각정보 이용, 압력중심점 변인의 특성 차이 등에 의한 것으로 판단된다.

이 연구 결과, 전후 요인에서 피로 직후 여성 그룹의 COM 전후 속도는 유의하게 증가하였으며, 남성 그룹과 여성 그룹 모두 COP 95% EF는 유의하게 감소하였다. 좌우 요인에서는 피로 직후 남성 그룹과 여성 그룹 모두 COM 좌우 속도는 유의하게 증가하였으나, COP 95% EF는 감소하는 경향이 나타났다. 또한 통합 요인에서 피로 직후 남성 그룹과 여성 그룹 모두 COM 평균 속도는 유의하게 증가하였으며, 여성 그룹의 COP 95% CEA는 유의하게 증가하는 것으로 나타났다.

Boyas et al.(2011)은 16명의 건강한 성인을 대상으로 발목의 배측굴곡근과 저측굴곡근 피로를 동시에 유발시켰을 때와 개별적으로 유발시켰을 때 외발서기 자세제어에 미치는 영향을 연구한 결과, 두 근육군을 동시에 피로하게 하였을 때 눈감고 외발서기 시 COP 전후 속도와 COP 95% CEA가 유의하게 증가하였다고 하였다. 이는 두 근육군이 동시에 피로한 상태가 되었을 때 주동근과 길항근 사이의 보상 활동의 손상과 피로한 근육의 수가 많아 고유수용성 감각이 보다 더 감소한 결과라고 하였다(Boyas et al., 2011). Yaggie와 McGregor(2002)는 24명의 건강한 남성을 대상으로 배측굴곡근과 저측굴곡근 피로 유발 후 자세제어 능력의 변화를 살펴본 결과, 피로 직후 COP 전후 범위는 유의하게 감소였으며, 좌우 범위는 유의하게 증가하였다고 하였다. Gribble와 Hertel(2004)은 14명의 건강한 성인을 대상으로 발목, 무릎, 엉덩이 근육 피로 유발 후 자세제어 능력 변화를 살펴본 결과, 발목 근육의 피로 유발 직후 COP 전후 속도는 유의하게 증가하였으나, COP 좌우 속도는 유의한 차이가 나타나지 않았다고 하였다. Lundin, Feuerbach와 Grabiner(1993)은 8명의 건강한 남성을 대상으로 배측굴곡근과 저측굴곡근 피로 유발 후 자세제어 능력의 변화를 살펴본 결과, 피로 직후에 COP 전후 범위는 유의하게 증가하였으나, COP 좌우 범위는 유

의한 차이가 나타나지 않았다고 하였다. 이러한 결과는 피로가 유발된 배측굴곡근과 저측굴곡근이 신체의 전후 움직임 조절하는 근육이기 때문이라고 하였다.

위에서 살펴본 선행연구 결과 간에는 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 이유를 살펴보면 첫째, 일반적으로 직립서기 시 신체동요를 제어하는 전략에는 발목 관절 전략과 엉덩관절 전략이 있다(Winter, 1995). 발목 관절 전략은 비교적 적은 동요가 발생되었을 때 발목 관절 운동을 주로 하여 자세를 제어하는 전략으로 이러한 경우 역진자 형태의 움직임이 나타나 COP 궤적 분석이 권장된다. 그러나 동요가 가중되어 보다 큰 신체 움직임 발생되었을 때 발목 관절 운동에 의한 제어가 충분하지 않다면, 발목 관절과 엉덩관절의 움직임이 동시에 일어나게 되며, 이러한 경우 COP 궤적의 분석에만 의존하는 것은 제어 능력 결함이나 정보의 해석에 오류가 발생할 수 있다는 것이다(Adlerton et al., 2003). 따라서 Adlerton et al.(2003)은 23명의 여성을 대상으로 뒤꿈치 들기 운동을 통한 발목 관절 근육 피로 유발 후 자세제어 능력의 변화를 살펴본 결과, COP 속도 변인은 전후 요인과 좌우 요인 모두 감소하였고, 몸통의 가속도는 전후 요인과 좌우 요인 모두 증가했다고 보고하였다. 이러한 결과는 실제적인 자세의 불안정을 나타내기 보다는 안정적인 자세를 유지하기 위한 목적으로 자세제어 전략이 발목 관절 전략에서 엉덩관절 전략으로 변화된 것이라고 제안하였다. 그리고 최근 보고된 연구에 의하면, 발목 관절 근육 피로 시 발목 관절의 고유수용성 감각 손상으로 인하여 발목 관절 제어는 감소되고, 엉덩관절 제어는 증가된다고 하였다(Bisson, McEwen, Lajoie, & Bilodeau, 2011; Riemann, Myers, & Lephart, 2003).

이 연구 결과에서도 마찬가지로 피로 직후 남성 그룹과 여성 그룹 모두 COM 전후좌우 속도는 유의하게 증가하였으며, COP 전후좌우 속도와 평균 속도는 남성 그룹과 여성 그룹 모두 유의한 차이가 나타나지 않았거나 오히려 감소하는 경향이 나타났다. 따라서 COP와 COM을 동시에 분석하는 것이 정확한 피로 효과와 안정 시 자세제어 전략과 근육 피로 유발 후 전략 간의 차이를 구명할 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 피로는 신경전달을 느리게 하기 때문에 신경근 제어 및 관절 위치의 큰 변화에 대응하는 부전에 의한 관절 주변의 효율적인 보상 수축을 만들어내는 능력이 감소된다(Gribble & Hertel, 2004). 그 결과 관절의 고유수용성 감각 저하, 하지의 신경근 제어 손상, 관절의 위치 감각 감소를 초래하게 되며 이는 자세제어 능력의 감소로 연결된다(Gribble & Hertel, 2004; Kazutomo, et al., 2004; Yaggie & McGregor, 2002). 이러한 자세제어 능력 감소는 안정화하는 근육군의 피로로 인한 발목 관절의 불안정성(instability)을 일으키게 되며, 이와 같은 발목 관절의 불안정성은 상해의 주요한 영역을 차지하고 있다(Lundin et

al., 1993; Yaggie & McGregor, 2002). 엘리트 선수들의 상해 중 약 40%는 발목 관절에서 일어나며, 이러한 상해의 대부분은 피로가 누적된 활동의 마지막 시간에 일어난다는 것이다(Ekstrand & Tropp, 1990). 또한, 시즌 전에 다소 낮은 자세 제어 능력 점수를 얻은 축구와 농구 선수들은 시즌 동안 발목 상해 발생 위험율이 증가되며(Tropp, Ekstrand, & Gillquist, 1984; McGuine, Greene, Best, & Levenson, 2000), 고령자의 손상된 자세 제어 능력 또한 낙상 위험율과 상해 발생을 증가를 초래하는 것으로 보고되었다(Tsai, Yu, Mercer, & Gross, 2006).

셋째, ISPGR(International Society for Posture & Gait Research)에서는 힘측정판을 이용한 자세 제어 능력 평가 시 COP 속도와 rms 거리의 사용을 권고하였으나(Kapteyn et al., 1983), 최근의 연구 동향은 COP 95% CEA, COP 50% EF, COP 95% EF, COP TPF 등 다양한 변인을 통하여 신뢰도를 높이기 위한 연구가 진행되고 있다(Dolye et al., 2007; Prieto et al., 1996; Rocchi, Chiari, & Cappello, 2004). COP 속도와 범위의 증가는 자세제어 능력의 감소로 해석되는데, 안정성에 대한 지각은 자세를 제어하는 동작의 범위 보다는 오히려 동작의 속도와 보다 더 밀접한 관련이 있다고 하였다(Adlerton et al., 2003; Corbeil, Blouin, Bégin, Nougier, & Teasdale, 2003). 그리고 COP 95% EF는 유의한 차이가 거의 없는 그룹, 시각 정보 유무 간의 차이, 노화에 관련된 자세제어 능력 차이를 구분하는 데 유리한 변인(Prieto et al., 1996)로 권장되고 있다. 이와 같이 보다 신뢰도 있는 변인을 개발하기 위하여 지속적인 연구들이 진행되어야 할 것이다. 또한 COP 변인들 간의 특성으로 인한 자료의 해석 차이를 고려하여 다양한 COP 변인들 간의 비교를 이용하여 심도 있게 해석하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

넷째, Boyas et al.(2011)은 발목 근육의 피로 시 시각 정보 유무에 따라 외발서기 자세제어에 미치는 효과에 관한 연구에서 자세제어 능력의 감소는 시각 정보가 없을 때 더 크게 나타난다고 보고하였다. 이는 시각 정보가 근육 피로로 인하여 손상된 자세제어 능력에 영향을 미쳐 결과를 왜곡할 수 있는 보상작용을 초래할 수 있다는 것을 의미하며, 이 연구 결과에서 나타난 압력중심점 변인의 감소 또한, 이와 같은 이유인 것으로 판단된다. 따라서 이 연구와 같이 피로 효과로 인한 자세제어 능력 평가를 위한 연구에서는 시각정보 차단을 통한 연구 설계가 바람직한 것으로 판단된다.

이 연구 결과, 뒤꿈치 들기를 통한 발목 근육의 피로 효과는 거의 모든 변인에서 20분 이내( $P_{20}$ )에 피로 전(Pre) 상태로 회복되었다. 선행 연구에 의하면, Adlerton et al.(2003)은 피로 후 손상된 자세제어 능력이 10분 이내에 회복된다고 하였으며, Yaggie와 McGregor(2002)는 20분 이내에 피로 전의 상태로 회복된다고 하였으며, Bisson et al.(2011)은 30분 이내에 회복된다고 하였다. 이와 같이 자세제어 능력 회복 시간에 대한 연구들

간의 차이는 피로 유발 프로토콜, 피로 유발 강도, 피로 직후 측정 장치로 이동하는 시간에 따른 측정 시기의 차이로 인한 것으로 판단된다. 그러나 공통된 의견은 발목 관절 근육의 피로는 자세제어 능력에 짧은 지속효과가 나타난다는 것이다(Nardone, Tarantola, Giordano, & Schieppati, 1997). 신체의 자세 제어 시 피로의 짧은 지연 효과(short-lasting effect)는 Nardone et al.(1997)에 의해 처음으로 보고되었으며, 이는 근육 피로로 인해 손상된 운동 단위에 대한 보상작용으로 피로가 유발되지 않은 근육의 운동 단위가 빠르게 동원되어 관절을 효과적으로 안정화시키기 때문에 그 지속 효과가 짧게 나타난다는 것이다(Yaggie & McGregor, 2002). 본 연구의 뒤꿈치 들기 운동으로 유도된 발목 관절 근육 피로가 자세제어 능력 회복에 미치는 효과는 약 20분 이내인 것으로 나타나 선행 연구의 결과와 유사하게 나타났음을 알 수 있었다.

## V. 결 론

본 연구는 뒤꿈치 들기 운동에 의한 발목 관절 근육의 유도된 피로가 성인 남녀의 외발서기 자세제어 능력과 회복에 미치는 효과를 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

전후 요인 중, 남성 그룹과 여성 그룹 모두 피로 직후 질량중심점 속도는 유의하게 증가하는 것으로 나타났으나, 압력중심점 95% EF는 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. 좌우 요인 중, 남성 그룹과 여성 그룹 모두 피로 직후 질량중심점 속도는 유의하게 증가하는 것으로 나타났으나, 압력중심점 95% EF는 감소하는 경향이 나타났다. 통합 요인 중, 남성 그룹과 여성 그룹 모두 피로 직후 질량중심점 속도는 유의하게 증가하는 것으로 나타났으며, 여성 그룹의 경우 피로 직후 압력중심점 95% CEA는 유의하게 증가하는 것으로 나타났다.

결론적으로 뒤꿈치 들기 운동을 통한 발목 근육의 유도된 피로 연구의 성별 간 차이는 나타나지 않았으며, 남성 그룹과 여성 그룹 모두 전후좌우 요인에서 피로 효과가 나타났다. 발목 관절 근육의 피로가 자세제어에 미치는 효과는 약 20분 이내에 안정 시 수준으로 회복되었다. 차후 연구에서는 국소피로 및 전신피로와 같은 근피로 유발 방법과 피로 수준에 따른 자세제어 능력의 변화에 대한 연구가 기대된다.

## 참고문헌

Adlerton, A. K., Moritz, U., & Moe-Nilssen, R.(2003). Force plate and accelerometer measures for evaluating the effect of



- muscle fatigue on postural control during one-legged stance. *Physiotherapy Research International*, 8, 187-199.
- Allen, D. G., & Westerblad, H.(2001). Role of phosphate and calcium stores in muscle fatigue. *Journal of Physiology*, 536, 657-665.
- Bisson, E. J., McEwen, D., Lajoie, Y., & Bilodeau, M.(2011). Effects of ankle and hip muscle fatigue on postural sway and attentional demands during unipedal stance. *Gait & Posture*, 33(1), 83-87.
- Bizid, R., Margnes, E., Francois, Y., Jully, J. L., Gonzalez, G., & Dupui, P.(2009). Effects of knee and ankle muscle fatigue on postural control in the unipedal stance. *European Journal of Applied Physiology*, 106, 375-380.
- Boyas, S., & Guevel, A.(2011). Neuromuscular fatigue in healthy muscle: underlying factors and adaptation mechanisms. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 54, 88-108.
- Boyas, S., Remaud, A., Bisson, E. J., Cadieux, S., Morel, B., & Bilodeau, M.(2011). Impairment in postural control is greater when ankle plantarflexors and dorsiflexors are fatigued simultaneously than when fatigued separately. *Gait & Posture*, 34(2), 254-259.
- Chabran, E., Maton, B., & Fourment, A.(2002). Effects of postural muscle fatigue on the relation between segmental posture and movement. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 12(1), 67-79.
- Chiari, L., Rocchi, L., & Cappello, A.(2002). Stabilometric parameters are affected by anthropometry and foot placement. *Clinical Biomechanics*, 17, 666-677.
- Cobeil, P., Blouin, J. S., Bégin, F., Nougier, V., & Teasdale, N.(2003). Perturbation of the postural control system induced by muscular fatigue. *Gait & Posture*, 18, 92-100.
- Dolye, R. J., Hsiao-Wecksler, E. T., Ragan, B. G., & Rosengren, K. S.(2007). Generalizability of center of pressure measures of quiet standing. *Gait & Posture*, 25, 166-171.
- Ekstrand, J., & Tropp, H.(1990) The incidence of ankle sprains in soccer. *Foot and Ankle*, 11, 41-44.
- Gribble, P. A., & Hertel, J.(2004). Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85, 589-592.
- Hall, C. M., & Brody, L. T.(1999). *Balance impairment In: Therapeutic Exercise: Moving Toward Function*. Philadelphia, L & W.
- Harkins, K. M., Mattacola, C. G., Uhl, T. L., Malone, T. R., & McCrory, J. L.(2005). Effects of 2 ankle fatigue models on the duration of postural stability dysfunction. *Journal of Athletic Training*, 40, 191-194.
- Johansson, R., & Magnusson, M.(1991). Human postural dynamics. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 18, 413-437.
- Jonsson, E., Seiger, A., & Hirschfeld, H.(2004). One-leg stance in healthy young and elderly adults: a measure of postural steadiness? *Clinical Biomechanics*, 19, 688-694.
- Johnston, R. B., Howard, M. E., Cawley, P. W., & Losse, G. M.(1998). Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(12), 1703-1707.
- Kapteyn, T. S., Bles, W., Njikiktjien, C. J., Kodde, L., Massen, C. H., & Mol, J. M. F.(1983). Standardization in platform stabilometry being part of posturography. *Agressologie*, 24, 321-326.
- Lafond, D., Corriveau, H., Hebert, R., & Prince, F.(2004). Intrasection reliability of center of pressure measures of postural steadiness in healthy elderly people. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85, 896-901.
- Le Clair, K., & Riach, C.(1996). Postural stability measures: what to measure and for how long. *Clinical Biomechanics*, 11, 176-178.
- Lorist, M. M., Kernell, D., Meijman, T. F., & Zijdewind, I.(2002). Motor fatigue and cognitive task performance in humans. *Journal of Physiology*, 545, 313-319.
- Lundin, T. M., Feuerbach, J. W., & Grabiner, M. D.(1993). Effect of plantar flexor and dorsiflexor fatigue on unilateral postural control. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 191-201.
- McGuine, T. A., Greene, J. J., Best, T., & Levenson, G.(2000). Balance as a predictor of ankle injuries in high school basketball players. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 10, 239-244.
- Murphy, D. F., Connolly, D. A., & Beynnon, B. D.(2003). Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, 37, 13-29.
- Nardone, A., Tarantola, J., Giordano, A., & Schieppati, M.(1997). Fatigue effects on body balance. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 105, 309-320.
- Nelson, J. K., & Johnson, B. L.(1973). Effects of local and general fatigue on static balance. *Perceptual and Motor Skills*, 37(2), 615-618.
- Paillard, T.(2012). Effects of general and local fatigue on postural control: A review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36, 162-176.

- Panzer, V. P., Bandinelli, S., & Hallett, M.(1995). Biomechanical assessment of quiet standing and changes associated with aging. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 76(2), 151-157.
- Raymakers, J. A., Samson, M. M., & Verhaar, H. J. J.(2005). The assessment of body sway and the choice of stability parameters. *Gait & Posture*, 21, 48-58.
- Riemann, B. L., Myers, J. B., & Lephart, S. M.(2003). Comparison of the ankle, knee, hip, and trunk corrective action shown during single-leg stance on firm, foam, and multiaxial surfaces. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84, 90-95.
- Rocchi, L., Chiari, L., & Cappello, A.(2004). Feature selection of stabilometric parameters based on principal component analysis. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 42, 71-79.
- Prieto, T. E., Myklebust, J. B., Hoffmann, R. G., Lovett, E. G., & Myklebust, B. M.(1996). Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 43(9), 956-966.
- Perrin, P., Deviterne, D., Hugel, F., & Perrot, C.(2002). Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control. *Gait & Posture*, 15, 187-194.
- Pincivero, D. M., Gandaio, C. B., & Ito, Y.(2003). Gender-specific knee extensor torque, flexor torque, and muscle fatigue responses during maximal effort contractions. *European Journal of Applied Physiology*, 89, 134-141.
- Reimer 3rd, R. C. & Wikstrom, E. A.(2010). Functional fatigue of the hip and ankle musculature cause similar alterations in single leg stance postural control. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13, 161-166.
- Ruhe, A., Fejer, R., & Walker, B.(2010). The test-retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions-a systematic review of the literature. *Gait & Posture*, 32, 436-445.
- Shin, J. D., Youm, C. H., Moon, D. S., Kim, W. K., & Park, Y. H.(2008). Analysis of proper sampling duration in foot positions during assessment of quiet stance balance in the elderly women using center of pressure. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 18(3), 23-31.
- Shumway-Cook, A. & Woollacott, M. H.(2000). *Motor control: Theory and practical applications(2nd ed)*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Springer, B. K. & Pincivero, D. M.(2009). The effects of localized muscle and whole-body fatigue on single-leg balance between healthy men and women. *Gait & Posture*, 30, 50-54.
- Thelen, D. G., Schultz, A. B., Alexander, N. B., & Ashton-Miller, J. A.(1996). Effects of age on rapid ankle torque development. *The Journals of Gerontology*, 51(5), 226-232.
- Tsai, L. C., Yu, B., Mercer, V. S., & Gross, M. T.(2006). Comparison of different structural foot types for measures of standing postural control. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 36(12), 942-953.
- Tropp, H., Ekstrand, J., & Gillquist, J.(1984). Stabilometry in functional instability of the ankle and its value in predicting injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16, 64-66.
- Vaughan, C. L., Davis, B. L., & O'Connor, J. C.(1992). *Appendix C: Commercial equipment for gait analysis. In: Dynamics of human gait*. Human Kinetics Publishers.
- Vuillerme, N., Burdet, C., Isableu, B., & Demetz, S.(2006). The magnitude of the effect of calf muscles fatigue on postural control during bipedal quiet standing with vision depends on the eye-visual target distance. *Gait & Posture*, 24, 169-172.
- Winter, D. A.(1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*, 3, 193-214.
- Yaggie, J. A., & McGregor, S. J.(2002). Effects of isokinetic ankle fatigue on the maintenance of balance and postural limits. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 83(2), 224-228.
- Youm, C. H., Park, Y. H., & Seo, K. W.(2007). The study of proper sampling time on center of pressure variables during assessment of the ability of static balance through a single-Leg stance. *Dance Research Journal of Korea*, 50, 97-118.