

발의 유형과 발목 관절 피로 수준이 외발서기 시 압력중심점과 질량중심점 궤적에 미치는 영향

신영화¹ · 염창홍² · 손민지³

¹동아대학교 대학원 체육학과, ²동아대학교 스포츠과학대학 스포츠지도학과, ³동아대학교 대학원 태권도학과

Effects of Foot Type and Ankle Joint Fatigue Levels on the Trajectories of COP and COM during a Single-Leg Stance

Young-Hwa Shin¹ · Chang-Hong Youm² · Min-Ji Son³

¹Department of Physical Education, Graduate School, Dong-A University, Busan, Korea

²Department of Coaching, College of Sport Sciences, Dong-A University, Busan, Korea

³Department of Taekwondo, Graduate School, Dong-A University, Busan, Korea

Received 28 October 2013; Received in revised form 10 December 2013; Accepted 18 December 2013

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effects of foot type and ankle joint fatigue levels on the trajectories of center of pressure and center of mass during a single-leg stance. The study subjects included 24 healthy women (normal foot group, n=10; pronated foot group, n=14). Ankle joint muscle fatigue was induced by using an isokinetic dynamometer, where the fatigue levels were measured on plantar flexion and dorsiflexion at angular velocities of 30°/s at 50% and 30% of the peak torque of ankle plantar flexion. Following assessments in the anteroposterior direction according to the level of fatigue, the pronated foot group showed decreased single-leg stance ability at 50% and 30% of the fatigue level. Moreover, the normal foot group showed better single-leg stance ability than the pronated foot group at 30% of the fatigue level. Following assessments in the mediolateral direction, we noted that the single-leg stance ability did not differ significantly according to the levels of fatigue or foot type. In conclusion, ankle plantar flexion at 50% and 30% of the peak torque reduced the ability of the pronated foot group to achieve a single leg stance in the anteroposterior direction. Moreover, the normal foot group showed better single-leg stance ability than the pronated foot group.

Keywords : Foot types, Muscle Fatigue Level, Single-leg Stance, COP, COM

I. 서 론

발은 하지에서 외부환경과 신체가 접촉되는 첫 번째 부

위이며, 안정성과 적응을 위해 중추신경계로 감각 정보를 제공하는 역할을 한다(Cote, Brunet, Gansneder, & Shultz, 2005; Wilson, Rome, Hodgson, & Ball, 2008). 이러한 발의 유형(foot type)은 크게 회외발(supinated foot), 회내발(pronated foot), 정상발(normal foot)로 분류할 수 있다. 회외발은 높은 아치(arch)와 후족이 내반되어 있는 상태를 말하며, 회내발은 낮은 아치와 후족은 외반, 전족은 내반 되어 있는 상태를 말하며, 정상발은 정상적인 아치와 전족과 후족의 부정렬(malalignment)이 없는 상태를 말한다(Hertel, Gay, & Denegar, 2002). 회외발과 회내발은 스포츠 활동에 있어 과사용 상해를 유발하는 위험요소 중 하

이 논문은 신영화 (2013) 의 석사학위 중 일부를 발췌하였음.
이 논문은 2013년 88서울올림픽기념 2013 국제스포츠과학 학술대회에서 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 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음

나이, 발과 발목관절뿐 아니라 다른 하지 부위의 상해에 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Dahle, Mueller, Delitto, & Diamond, 1991; Williams, McClay, & Hamill, 2001). 직립서기 시 회내발은 표면과 발바닥의 좁은 접촉 면적으로 인해 발바닥 종관(plantar sensory end organs)의 감각 입력 정보가 감소되며, 이러한 입력 정보 감소는 자세제어 능력 감소에 영향을 미치게 된다(Hertel et al., 2002; Tsai, Yu, Mercer, & Gross, 2006). 그러나 회내발은 발목 관절의 불안정과 과운동(hypermobility)으로 인해 자세제어 능력의 감소가 일어난다는 보고(Cobb, Tis, Johnson, & Highbie, 2004; Franco, 1987; Tsai et al., 2006)와 발목관절이 회내되어 발바닥의 아치가 편평해지며 발과 지면이 접촉하는 내·외측 기저면이 넓어져 안정성이 향상된다는 보고(Cobb et al., 2004; Cote et al., 2005; Hertel et al., 2002)가 상충되고 있어 연구의 필요성이 제기된다.

근피로는 성공적인 임무를 수행하기 위한 최대 힘을 생산해내는 능력의 급성 손상으로 정의된다(Bisson, McEwen, Lajoie, & Bilodeau, 2011). 피로에 기여하는 요인들은 크게 말초 피로와 중추 피로로 구분하며, 말초 피로는 신경과 근육세포 사이, 또는 근육세포 내부에서 일어나는 피로로써 근력 발생 능력이 감소하며, 중추 피로는 중추신경계와 근막간 신경근 전달 부전에 의한 피로를 말한다(Giannesini, Cozzone, & Bendahan, 2003; Letafatkar, Alizadeh, & Kordi, 2009; Maclaren, Gibson, Parry-Billings, & Edwards, 1989; Paillard, 2012). 이러한 말초 피로 혹은 중추피로는 발목관절의 외측 염좌 발생을 일으키는 중요한 원인 중 하나이며(Gutierrez, Jackson, Dorr, Margiotta, & Kaminski, 2007), 자세 안정성을 위해 요구되어지는 근육과 고유수용기의 역학적 특성과 관련된 능력을 감소시킨다(Bilodeau, Henderson, Nolte, Pursley, & Sandfort, 2001; Forestier, Teasdale, & Nougier, 2002; Hiemstra, Lo, & Fowler, 2001). 그 결과, 운동 협응과 자세제어에 영향을 미쳐 상해 발생률을 높이는 것으로 보고되었다(Chabran, Maton, & Fourment, 2002; Price, Hawkins, Hulse, & Hodson, 2004).

근육의 피로에 관한 연구는 대부분 기능적 움직임을 이용한 피로 유발에 관한 연구(Adleron, Moritz, & Moenilssen, 2003; Bizid et al., 2009; Hosseinimehr, Daneshmandi, & Norasteh, 2010; Kasahara, Ebata, & Takahashi, 2007; Springer & Pincivero, 2009)와 등속성 동력계(isokinetic dynamometer)를 이용한 피로 유발에 관한 연구(Boyas et al., 2011; Gutierrez et al., 2007; Gribble & Hertel, 2004a, 2004b; Harkins, Mattacola, Uhl, Malone, & McCrory, 2005; Headlee, Leonard, Hart, Ingersoll, & Hertel, 2008; Ochsendorf, Mattacola, & Arnold, 2000)로 이루어져 왔다. 기능적 움직임을 이용한 피로 유발은

조깅, 전력질주, 팔굽혀펴기, 윗몸일으키기, 뒤꿈치 들기, 점프 등을 사용하며, 스포츠와 직접적으로 관련된 기능적인 움직임을 적용하였다는 부분에서 장점이 있으나, 피로의 정도를 통제하기 어려운 단점이 있다(Hosseinimehr et al., 2010). 등속성 동력계를 이용한 피로 유발은 근육의 피로 수준을 표준화하기 쉽고 특정 근육군의 피로를 일으킬 수 있는 장점이 있으나, 스포츠 상황에서 발생하는 피로를 유발하기 어려운 단점이 있다(Hosseinimehr et al., 2010). 따라서 실험실 환경 하에서 수행된 피로 관련 연구의 대부분은 등속성 동력계를 이용하였으며, 그 측정의 신뢰도($r=0.82$)는 높은 것으로 보고되었다(Manou, Arseniou, Gerodimos, & Kellis, 2002).

자세제어는 주어진 조건에서 평형상태를 유지하기 위하여 기저면 내에서 중력중심의 움직임을 최소화하거나 안정화하는 능력으로 정의되어진다(Tsai et al., 2006). 이러한 자세제어는 일상생활과 신체 활동에 있어 최적의 수행을 위해 필수적인 요소이며(Boyas, et al., 2011; Murphy, Connolly, & Beynon, 2003), 움직임에 포함된 직립 자세 유지, 공간 이동, 자세, 기술 등의 수행에 있어 중요한 역할을 한다(Barrault, Brondani, & Rousseau, 1991; Hosseinimehr et al., 2010).

국내의 연구 동향은 주로 발 유형에 대한 연구가 다소 이루어지고 있으나(Kim, Park, Shin, & Oh, 2002; Lee & Kwon, 2005; Lee, 2005; Hyong, Kim, & Lee, 2009; Ha & Kim, 2000), 발의 유형과 발목관절 근육 피로 수준이 자세제어에 미치는 영향과 관련된 연구는 미비한 실정이다. 또한 국외의 연구 동향은 발의 유형과 자세 제어(Cobb et al., 2004; Cote et al., 2005; Franco, 1987; Hertel et al., 2002), 피로와 자세제어(Bisson et al., 2011; Boyas et al., 2011; Gribble & Hertel, 2004a, 2004b; Lundin, Feuerbach, & Grabner, 1993; Ochsendorf et al., 2000; Salavati, Moghadam, Ebrahimi, & Arab, 2007; Springer & Pincivero, 2009; Tsai et al., 2006; Vuillerme, Sportbert, & Pinsault, 2009; Yaggie & McGregor, 2002)와 관련된 연구는 다수 이루어지고 있으나, 발의 유형과 발목관절 근육 피로 수준이 자세제어 능력에 미치는 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 이 연구의 목적은 건강한 성인 여성을 대상으로 발의 유형과 발목관절 피로 수준이 외발서기 시 압력중심점과 질량중심점 궤적에 미치는 영향을 분석하는 것이다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상 및 실험 장비

연구 대상자는 최근 6개월 내 하지 관절에 정형 외과적

병력이 없는 건강한 성인 여성 50명을 무작위로 선발하여 실험 조건에 적합한 정상발 그룹 15명과 회내발 그룹 15명을 선발하였다. 실험이 진행되는 동안 개인적 사유 및 질환으로 인하여 정상발 그룹 5명과 회내발 그룹 1명의 탈락자가 발생하여 정상발 그룹 10명과 회내발 그룹 14명의 피험자를 대상으로 분석하였다. 실험 전 피험자의 동의를 받았으며, 실험이 진행되는 동안 피험자는 일상생활 이외에 다른 운동 프로그램 참여를 제한토록 하였다. 대상자들의 신체적 특성과 실험 및 분석 장비의 특성은 <Table 1, 2>와 같다.

2. 실험 절차

이 연구의 실험은 2일 동안 진행되었으며, 첫째 날은 회내발과 정상발 그룹 분류, 동의서 작성, 신체활동 능력 및 병력질문지 작성, 신체조성 측정, 외발서기와 등속성 장비 적응 훈련을 실시하였다. 그리고 일주일 경과 후, 둘째 날은 등속성 장비를 이용하여 저축굴곡·배축굴곡 각속도 30°/s에서 발목관절 근육 피로 전, 피로 수준 50%, 피로 수준 30% 피로 후 눈뜨고 외발서기를 실시하였다.

발의 유형 분류는 주상골 하강법(navicular drop)을 사용하였으며, 주상골 하강법은 피험자의 발에 체중이 부하되지 않은 상태와 체중이 부하된 상태의 주상골 높이 차이를 측정하는 것이다(Cote et al., 2005). 피험자의 발에 체중이 부하되지 않은 상태에서 거골하 관절(subtalar joint)이 중립위치를 이루도록 하여 주상골에 마커를 부착한 후, 주상골과 지면 간의 높이를 측정하고, 이어서 피험자의 발에 체중이 완전히 부하되도록 하여 주상골과 바닥 사이의 높이를 측정하여 측정된 두 높이의 차이를 기준으로 분류

Table 1. Physical characteristics of the subject

Subjects	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)
PG(n=14)	22.1±1.9	162.1±4.2	54.9±6.5	20.9±2.3
NG(n=10)	22.6±2.2	165.1±5.3	54.2±5.9	19.9±1.7

PG: pronated foot group, NG: normal foot group, BMI: body mass index

Table 2. Experimental equipment

Equipment	Model	Manufacturer
Body composition analyzer	Venus 5.5	Jawon medical (KOR)
Vicon camera	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)

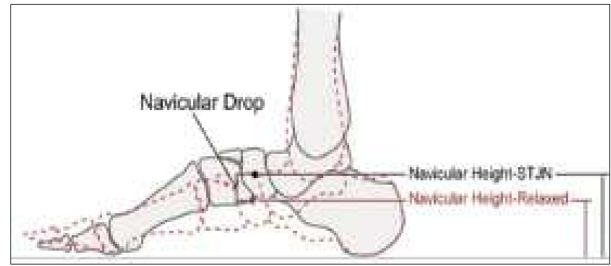


Figure 1. Navicular drop (Shrader et al., 2005)

하였다(Cote et al., 2005; Figure 1). 발의 유형 측정은 총 3회 실시 하였으며, 3회의 평균값을 기준으로 10 mm 이상을 회내발로 판정하였다(Cote et al., 2005). 주상골 하강법은 발의 유형 분류에 많이 이용되고 있으며, 측정 신뢰도는 0.78-0.97로 매우 높은 것으로 보고되고 있다(Bandholm, Boysen, Haugaard, Zebis, & Bencke, 2008; Mueller, Host, & Norton, 1993; Sell, Verity, Worrell, Pease, & Wigglesworth, 1994; Williams & McClay, 2000).

발목관절 근육 피로 유발 운동은 등속성 동력계(Cybex HUMAC NORM, CSMI, US)를 이용하여 저축굴곡·배축굴곡 동작을 반복하였으며, 각속도는 30°/s로 설정하여 실시하였으며, 최대 저축굴곡 토크 값은 3회의 평균값으로 하였다(Bisson et al., 2011; Boyas et al., 2011; Ochsendorf et al., 2000). 발목관절 근육의 피로 수준은 실험의 첫째 날에 측정된 최대 발목 저축굴곡 토크 값의 50% 수준 이하와 30% 수준 이하로 설정하였으며(Harkins et al., 2005), 저축굴곡·배축굴곡 동작의 전체 가동범위는 35°로 하였다(Ochsendorf et al., 2000).

피로 유발 운동과 눈뜨고 외발서기 실험 순서는 약 10 분간의 준비 운동과 마커를 부착한 후, 피로 전 측정으로 눈뜨고 외발서기를 실시하고, 그 다음 등속성 장비를 이용하여 피로 유발 운동을 시작하여 최대 발목관절 저축굴곡 토크의 50% 수준 이하로 3회 이상 연속 발생 시 피로 유발 운동을 중지한 다음, 피로 후 50% 눈뜨고 외발서기를 실시하고, 다시 등속성 장비를 이용하여 피로 유발 운동을 시작하여 최대 발목관절 저축굴곡 토크의 30% 수준 이하로 3회 이상 연속 발생 시 피로 유발 운동을 중지한 후, 피로 후 30% 눈뜨고 외발서기를 실시하였다(Fagenbaum & Darling, 2003; Harkins et al., 2005). 그리고 가능한 피로 효과를 유지하기 위하여 피로유발 운동 후 이동 거리를 최소화 하였으며, 시간은 2분 이내로 실시하였다.

눈뜨고 외발서기 동작의 영상분석과 지면반력분석을 위해 3대의 적외선 카메라(MX-T10, Vicon, UK)와 1대의 지면반력기(OR6-7, AMTI, US)를 이용하였으며, 외발서기는 우성 다리를 들게 하고 우성 다리의 반대쪽인 지지 다리로 서게 하였으며, 우성 다리 선정은 자가 보고와 공을

차게 하는 방법을 이용하였다(Bizid et al., 2009; David, Carl, & Brent, 2000). 실험이 준비된 피험자는 실험 진행자의 지시에 따라 지면반력관 위에 올라가 안정된 자세를 취하게 한 다음, 양손을 교차하여 가슴 앞에 고정시키게 하여, 시선을 정면의 표시를 주시하게 하였다. 안정이 되면 한 쪽 다리를 90°로 굴곡하여 지지다리에 닿지 않도록 들게 하였으며, 자세 유지를 위하여 드는 발의 뒤꿈치에 반사마커를 부착하여 외발서기 동안 최대 수직변위 5 cm 내를 유지하도록 하였다. 또한 사후 분석 시 최대 수직변위 5 cm를 초과한 경우 실패한 것으로 판단하였다. 그리고 최소한의 동요로 가능한 오랫동안 유지하게 하였다.

3. 자료 및 통계 처리

영상분석과 지면반력분석 자료의 분석 시간은 실험 환경에서 발생할 수 있는 초기 동요를 제거하기 위하여 시작 신호로부터 5초 후 30초의 자료를 대상으로 하였다(Figure 2).

영상분석과 지면반력분석의 자료처리는 VICON System의 분석 프로그램인 Nexus를 이용하였으며, 자료의 샘플링은 영상 데이터 100 Hz, 지면반력 데이터 200 Hz로 설정하였다. 영상 데이터와 지면반력 데이터는 Butterworth low-pass filter 2차, 차단주파수 6 Hz로 필터링하였다. 신체의 질량중심점은 대상자의 좌·우 후상장골극(Posterior Superior Iliac Spine, [PSIS])에 14 mm 구형 반사마커 2개를 부착하여 모델을 구성한 후, 두 마커의 중간 지점으로 설정하였다(Adlerton et al., 2003; Vaughan, Davis, & O'Connor, 1992). 분석 변수는 자세제어 능력을 판별하는 주요 변수인 압력중심점과 질량중심점의 궤적의 시간영역 변수와 주파수영역 변수를 전후 요인과 좌우 요인으로 나누어 분석하였다(Lafond, Duarte, & Prince, 2004; Ruhe, Fejer, & Walker, 2010).

통계처리는 SPSS 20.0을 이용하여 각 변수들의 평균과 표준편차를 구하였다. 발의 유형과 발목관절 근육 피로 수준 간의 상호작용 효과 및 주 효과는 반복측정에 의한 two-way ANOVA, 발목관절 근육의 피로 수준 간의 평균 차이는 반복측정에 의한 one-way ANOVA, 사후 검정은 Bonferroni, 회내발 그룹과 정상발 그룹 간 평균차이는 독립표본 t-test를 실시하였다. 통계적 유의수준은 .05로 하였다.



Figure 2. Data collection and analysed time

III. 결 과

1. 발의 유형 및 등속성 피로 유발 방법

발의 유형 측정에 따른 결과(Table 3) 및 등속성 피로 유발 결과(Table 4)는 다음과 같다. 발의 유형 측정에 따른 결과, 회내발 그룹과 정상발 그룹의 구분은 적절한 것으로 판단된다. 회내발 그룹과 정상발 그룹 간의 피로에 따른 최대 발목관절 신전토크, 체질량당 최대 발목 저축굴곡 토크는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 따라서 두 그룹 간 발목관절의 각근력 수준의 동질성을 검증할 수 있으며, 이러한 결과는 두 그룹의 적절한 피험자 표집이 이루어진 것임을 알 수 있다.

2. 압력중심점과 질량중심점 궤적의 전후 요인

1) 압력중심점 궤적의 전후 요인

압력중심점의 전후 궤적에 대한 결과는 <Table 5>와 같다. 전후 RMS거리에서 피로 수준과 그룹 간의 유의한 상호작용 효과가 나타났으며($F_{2,44}=6.886, p=.003$), 피로 수준 간의 유의한 주효과가 나타났($F_{2,44}=3.984, p=.026$).

사후검정 결과, 전후 RMS거리의 30% 피로 후에서 회내발 그룹이 정상발 그룹보다 유의하게 큰 것으로 나타났으며($t_{22}=3.542, p=.002$), 회내발 그룹의 피로 수준 간에서 50% 피로 후와 30% 피로 후가 피로 전보다 유의하게 큰 것으로 나타났($F_{2,26}=11.457, p=.000$).

전후 95% 주파수에서 유의한 상호작용 및 주효과는 나타나지 않았으나 사후검정 결과, 피로 전에서 회내발 그룹이 정상발 그룹보다 유의하게 큰 것으로 나타났($t_{22}=2.774, p=.011$).

전후 총 주파수에서 그룹 간의 유의한 주효과가 나타났($F_{2,44}=20.456, p=.000$). 사후검정 결과, 전후 총 주파수

Table 3. Measurement of the navicular drop

Subjects	Vicon (cm)
PG (n=14)	11.8±1.2
NG (n=10)	6.8±1.4

PG means pronated foot group; NG means normal foot group

Table 4. Peak extension torque of ankle joint

	PET (Nm)	PET/BM (Nm/kg)
PG(n=14)	26.0±5.0	0.5±0.1
NG(n=10)	21.4±5.8	0.4±0.1
t-value	2.072	1.519

PG: pronated foot group, NG: normal foot group, PET: peak extension torque, BM body mass, NOCs: number of contractions; $p<.05$

Table 5. The results of COP's anteroposterior variables

		pre	post50	post30	F ^a	F ^b	post-hoc
Range (mm)	PG(n=14)	44.41±11.33	55.74±16.10	57.68±32.12	1.091(F)	1.820	ns
	NG(n=10)	47.41±8.56	50.36±14.54	41.26±5.97	1.619(G)	2.252	ns
	<i>t</i> -value	.705	.839	1.587	2.029(FG)		
Velocity (mm/s)	PG(n=14)	25.41±5.13	26.30±6.53	27.90±11.54	0.598(F)	0.956	ns
	NG(n=10)	23.04±4.88	24.06±5.45	23.26±4.16	1.506(G)	0.229	ns
	<i>t</i> -value	1.140	.886	1.210	0.560(FG)		
RMS (mm)	PG(n=14)	7.85±1.67	10.28±2.56	10.56±1.98	3.984(F)*	11.457*	pre < p50, p30
	NG(n=10)	8.67±1.84	8.67±1.74	8.04±1.25	3.552(G)	0.594	ns
	<i>t</i> -value	1.133	1.720	3.542*	6.886(FG)*		
50% Edge frequency (Hz)	PG(n=14)	0.24±0.16	0.14±0.10	0.16±0.12	0.292(F)	2.874	ns
	NG(n=10)	0.21±0.12	0.24±0.16	0.25±0.12	3.537(G)	0.291	ns
	<i>t</i> -value	.550	1.998	1.958	2.003(FG)		
95% Edge frequency (Hz)	PG(n=14)	1.35±0.33	1.23±0.42	1.13±0.37	0.009(F)	1.766	ns
	NG(n=10)	1.02±0.22	1.16±0.48	1.25±0.50	0.711(G)	0.850	ns
	<i>t</i> -value	2.774*	.374	.699	2.446(FG)		
Total power frequency (mm ²)	PG(n=14)	40.35±15.53	50.33±16.18	52.59±23.07	0.917(F)	4.583*	pre < p30
	NG(n=10)	23.35±21.80	25.59±23.47	15.97±9.00	20.456(G)*	1.047	ns
	<i>t</i> -value	1.743	1.983	4.675*	2.368(FG)		

mean±sd: mean and standard deviation; a: two-way ANOVA with repeated measures; b: one-way ANOVA; PG: Pronated foot group; NG: Normal foot group; *t*-value: independent *t*-test; F: Main effect of fatigue; G: Main effect of group; FG: Interaction effects of fatigue x group; *: $p < .05$

의 30% 피로 후에서 회내발 그룹이 정상발 그룹보다 유의하게 큰 것으로 나타났으며($t_{22}=4.675$, $p=.000$), 회내발 그룹의 피로 수준 간에서 30% 피로 후가 피로 전보다 유의한 증가가 나타났다($F_{2,26}=4.583$, $p=.020$).

2) 질량중심점 궤적의 전후 요인

질량중심점의 전후 궤적에 대한 결과는 <Table 6>과 같다. 전후 범위에서 피로 수준과 그룹 간의 유의한 상호작용 효과가 나타났으며($F_{2,44}=6.892$, $p=.002$), 피로 수준 간의 유의한 주효과가 나타났다($F_{2,44}=3.736$, $p=.032$). 사후검정 결과, 전후 범위의 30% 피로 후에서 회내발 그룹이 정상발 그룹보다 유의하게 큰 것으로 나타났으며($t_{22}=3.020$, $p=.006$), 회내발 그룹의 피로 수준 간에서 50% 피로 후와 30% 피로 후가 피로 전보다 유의하게 큰 것으로 나타났다($F_{2,26}=10.030$, $p=.001$).

전후 RMS거리에서 피로 수준과 그룹 간의 유의한 상호작용 효과가 나타났으며($F_{2,44}=9.361$, $p=.000$), 피로 수준 간의 유의한 주효과가 나타났다($F_{2,44}=3.861$, $p=.029$). 사후검정 결과, 전후 RMS거리의 30% 피로 후에서 회내발 그룹이 정상발 그룹보다 유의하게 큰 것으로 나타났으며($t_{22}=3.157$, $p=.005$), 회내발 그룹의 피로 수준 간에서 50% 피로 후와 30% 피로 후가 피로 전보다 유의하게 큰

것으로 나타났다($F_{2,26}=14.600$, $p=.000$).

전후 총 주파수에서 피로 수준과 그룹 간의 유의한 상호작용 효과가 나타났으며($F_{2,44}=3.277$, $p=.047$), 피로 수준 간의 유의한 주효과가 나타났으며($F_{2,44}=3.714$, $p=.032$), 그룹 간의 유의한 주효과가 나타났다($F_{2,44}=4.472$, $p=.046$). 사후검정 결과, 전후 총 주파수의 30% 피로 후에서 회내발 그룹이 정상발 그룹보다 유의하게 큰 것으로 나타났으며($t_{22}=3.437$, $p=.002$), 회내발 그룹의 피로 수준 간에서 30% 피로 후가 피로 전보다 유의하게 큰 것으로 나타났다($F_{2,26}=5.418$, $p=.002$).

3. 압력중심점과 질량중심점 궤적의 좌우 요인

1) 압력중심점 궤적의 좌우 요인

압력중심점의 좌우 궤적에 대한 결과는 <Table 7>과 같다.

좌우 50% 주파수에서 피로 수준과 그룹 간의 유의한 상호작용 효과가 나타났다($F_{2,44}=4.273$, $p=.020$). 좌우 95% 주파수에서 피로 수준과 그룹 간의 유의한 상호작용 효과가 나타났다($F_{2,44}=6.215$, $p=.004$). 사후검정 결과, 압력중심점 궤적의 좌우 95% 주파수의 피로 전에서 회내발 그룹이 정상발 그룹보다 유의하게 큰 것으로 나타났

Table 6. The results of COM's anteroposterior variables

		pre	post50	post30	F ^a	F ^b	post-hoc
Range (mm)	PG(n=14)	33.64±12.41	44.20±17.11	44.30±13.14	3.736(F)*	10.030*	pre < p50, p30
	NG(n=10)	34.43±5.22	34.81±10.34	29.56±6.74	2.807(G)	1.867	ns
	<i>t</i> -value	.188	1.540	3.020*	6.892(FxG)*		
Velocity (mm/s)	PG(n=14)	8.28±1.83	9.07±2.53	8.82±3.83	1.313(F)	1.048	ns
	NG(n=10)	7.62±1.50	8.06±1.70	7.46±1.22	1.320(G)	0.822	ns
	<i>t</i> -value	.949	1.102	1.077	0.398(FxG)		
RMS (mm)	PG(n=14)	7.18±2.11	9.76±3.87	9.98±3.13	3.861(F)*	14.600*	pre < p50, p30
	NG(n=10)	7.59±1.81	7.46±2.04	6.56±1.60	3.314(G)	1.230	ns
	<i>t</i> -value	.492	1.708	3.157*	9.361(FxG)*		
50% Edge frequency (Hz)	PG(n=14)	0.15±0.16	0.09±0.05	0.11±0.06	0.206(F)	1.145	ns
	NG(n=10)	0.10±0.06	0.13±0.10	0.12±0.06	0.004(G)	0.237	ns
	<i>t</i> -value	.876	1.188	.293	1.143(FxG)		
95% Edge frequency (Hz)	PG(n=14)	0.58±0.14	0.47±0.12	0.48±0.17	0.015(F)	3.361*	ns
	NG(n=10)	0.51±0.11	0.60±0.26	0.61±0.24	1.723(G)	0.736	ns
	<i>t</i> -value	1.365	1.680	1.538	3.005(G)		
Total power frequency (mm ²)	PG(n=14)	46.97±22.57	101.84±100.47	103.73±56.26	3.714(F)*	5.418*	pre < p30
	NG(n=10)	45.88±25.37	56.19±33.49	40.11±17.71	4.472(G)*	1.052	ns
	<i>t</i> -value	.110	1.376	3.437*	3.277(FxG)*		

m±sd: mean and standard deviation; a: *two-way ANOVA* with repeated measures; b: *one-way ANOVA*; PG: Pronated foot group; NG: Normal foot group; *t*-value: independent *t*-test; F: Main effect of fatigue; G: Main effect of group; FxG: Interaction effects of fatigue x group; *: $p < .05$

Table 7. The results of COP's mediolateral variables

		pre	post50	post30	F ^a	F ^b	post-hoc
Range (mm)	PG(n=14)	33.91±3.82	35.72±4.68	39.00±19.40	0.781(F)	0.711	ns
	NG(n=10)	33.38±5.82	32.37±5.24	34.48±5.39	1.225(G)	0.639	ns
	<i>t</i> -value	.271	1.645	.714	0.291(FxG)		
Velocity (mm/s)	PG(n=14)	29.56±4.68	30.38±4.85	30.48±8.30	0.377(F)	0.221	ns
	NG(n=10)	28.62±6.71	29.62±6.84	29.59±7.50	0.141(G)	0.161	ns
	<i>t</i> -value	.406	.320	.271	0.003(FxG)		
RMS (mm)	PG(n=14)	6.34±0.72	7.09±0.71	7.43±2.23	2.465(F)	2.493	ns
	NG(n=10)	6.46±0.77	6.65±1.21	6.84±0.93	0.781(G)	0.528	ns
	<i>t</i> -value	.372	1.132	.783	0.609(FxG)		
50% Edge frequency (Hz)	PG(n=14)	0.43±0.20	0.40±0.12	0.35±0.08	0.489(F)	2.008	ns
	NG(n=10)	0.30±0.19	0.34±0.15	0.47±0.21	0.272(G)	2.006	ns
	<i>t</i> -value	1.580	1.156	1.999	4.273(FxG)*		
95% Edge frequency (Hz)	PG(n=14)	2.19±0.55	1.84±0.34	1.85±0.40	0.076(F)	4.429*	ns
	NG(n=10)	1.61±0.48	2.05±0.45	2.05±0.66	0.172(G)	2.216	ns
	<i>t</i> -value	2.700*	1.321	.951	6.215(FxG)*		
Total power frequency (mm ²)	PG(n=14)	40.35±15.53	50.33±16.18	52.59±23.07	0.917(F)	2.650	ns
	NG(n=10)	23.35±21.80	25.59±23.47	15.97±9.01	20.456(G)*	0.958	ns
	<i>t</i> -value	2.237*	3.065*	4.743*	2.368(FxG)		

m±sd: mean and standard deviation; a: *two-way ANOVA* with repeated measures; b: *one-way ANOVA*; PG: Pronated foot group; NG: Normal foot group; *t*-value: independent *t*-test; F: Main effect of fatigue; G: Main effect of group; FxG: Interaction effects of fatigue x group; *: $p < .05$

Table 8. The results of COM's mediolateral variables

		pre	post50	post30	F ^a	F ^b	post-hoc
Range (mm)	PG(n=14)	29.83±25.49	39.77±47.08	39.34±38.28	1.214(F)	1.205	ns
	NG(n=10)	22.29±10.83	25.38±12.59	24.31±8.73	1.199(G)	0.366	ns
	<i>t</i> -value	.876	.937	1.212	0.412(FxG)		
Velocity (mm/s)	PG(n=14)	8.81±4.29	11.16±6.19	12.37±9.22	6.015(F)*	4.397*	pre < p50
	NG(n=10)	7.76±2.68	9.64±3.99	9.24±2.92	0.766(G)	4.248*	ns
	<i>t</i> -value	.684	.678	1.032	0.975(FxG)		
RMS (mm)	PG(n=14)	5.54±3.09	6.79±6.43	6.82±5.75	1.046(F)	1.111	ns
	NG(n=10)	4.28±1.43	4.66±1.53	4.43±1.57	1.496(G)	0.331	ns
	<i>t</i> -value	1.199	1.023	1.273	0.457(FxG)		
50% Edge frequency (Hz)	PG(n=14)	0.22±0.17	0.16±0.09	0.21±0.11	1.326(F)	0.664	ns
	NG(n=10)	0.16±0.09	0.17±0.74	0.23±0.10	0.193(G)	2.007	ns
	<i>t</i> -value	1.068	.197	.526	0.905(FxG)		
95% Edge frequency (Hz)	PG(n=14)	0.88±0.25	0.83±0.35	0.83±0.26	0.763(F)	0.246	ns
	NG(n=10)	0.81±0.24	1.04±0.22	1.01±0.34	1.883(G)	1.777	ns
	<i>t</i> -value	.747	1.699	1.441	2.083(FxG)		
Total power frequency (mm ²)	PG(n=14)	25.34±27.80	110.59±303.04	66.32±151.02	0.949(F)	1.266	ns
	NG(n=10)	23.34±21.80	25.62±23.49	15.99±9.03	0.820(G)	0.957	ns
	<i>t</i> -value	.187	.879	1.046	0.846(FxG)		

m±sd: mean and standard deviation; a: two-way ANOVA with repeated measures; b: one-way ANOVA; PG: Pronated foot group; NG: Normal foot group; *t*-value: independent *t*-test; F: Main effect of fatigue; G: Main effect of group; FxG: Interaction effects of fatigue x group; *: $p < .05$

($t_{22}=2.700$, $p=.013$). 좌우 총 주파수에서 그룹 간의 유의한 주효과가 나타났다($F_{2,44}=20.456$, $p=.000$). 사후검정 결과, 좌우 총 주파수의 피로 전($t_{22}=2.237$, $p=.036$), 50% 피로 후($t_{22}=3.065$, $p=.006$), 30% 피로 후($t_{22}=4.743$, $p=.000$) 모두에서 회내발 그룹이 정상발 그룹보다 유의하게 큰 것으로 나타났다.

2) 질량중심점 궤적의 좌우 요인

질량중심점의 좌우 궤적에 대한 결과는 <Table 8>과 같다. 좌우 속도에서 피로 수준 간의 유의한 주효과가 나타났다($F_{2,44}=6.015$, $p=.005$). 사후검정 결과, 좌우 속도에서 회내발 그룹의 피로 수준 간에서 50% 피로 후가 피로 전보다 유의하게 큰 것으로 나타났다($F_{2,26}=4.397$, $p=.023$).

IV. 논 의

이 연구의 목적은 건강한 성인 여성을 대상으로 발의 유형과 발목관절 피로 수준이 외발서기 시 압력중심점과 질량중심점 궤적에 미치는 영향을 분석하는 것이다.

1. 압력중심점과 질량중심점 궤적의 전후 요인

이 연구 결과, 피로 수준에 따른 압력중심점 전후 요인의 RMS 거리는 회내발 그룹의 50% 피로 후와 30% 피

로 후가 피로 전보다 유의하게 큰 것으로 나타났으며, 총 주파수는 회내발 그룹의 30% 피로 후가 피로 전보다 유의하게 큰 것으로 나타났다. 피로 수준에 따른 질량중심점 전후 요인의 범위와 RMS 거리는 회내발 그룹의 50% 피로 후와 30% 피로 후가 피로 전보다 유의하게 큰 것으로 나타났으며, 총주파수는 회내발 그룹의 30% 피로 후가 피로 전보다 유의하게 큰 것으로 나타났다. 피로 수준에 따른 전후 요인 결과, 회내발 그룹의 경우 최대 발목관절 신전토크 50% 이상의 피로 유발 운동은 눈뜨고 외발서기 자세제어 능력을 감소시키는 것으로 판단되나, 정상발 그룹의 경우에는 최대 발목관절 신전토크 50%와 30% 수준의 피로 유발 운동은 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

근피로는 신경전달 속도를 감소시키기 때문에 신경근 제어 및 관절 위치의 큰 변화에 대응하는 부전에 의해 관절 주변의 효율적인 보상 수축을 만들어내는 능력이 감소된다(Gribble & Hertel, 2004a). 그 결과 관절의 고유수용성 감각 저하, 하지의 신경근 제어 손상, 관절의 위치 감각 감소를 초래하게 되며 이는 자세제어 능력의 감소로 연결된다(Gribble & Hertel, 2004a; Kazutomo et al., 2004; Yaggie & McGregor, 2002).

Lundin et al.(1993)은 족저굴곡근과 배측굴곡근의 피로가 외발서기 자세제어에 미치는 영향을 알아본 결과, 발목관절 근육 30 %의 고강도 단시간 피로가 자세제어 능력

을 감소시킨다고 보고하였다. Gribble 과 Herter (2004a)은 발목관절 근육의 피로가 외발서기에 미치는 영향을 알아본 결과, 발목 저축굴곡근과 발목 배축굴곡근의 피로는 전후 방향에서 유의한 차이가 나타났다고 보고하였다. Bisson 등 (2011)은 발목 관절 근육 피로가 외발서기 시 자세제어에 미치는 영향을 알아본 결과, 발목관절 근육의 피로 프로토콜은 전후 방향에서 유의한 차이가 나타나 외발서기 자세제어 능력이 감소한다고 보고하였다. 그러나 Boyas 등 (2011)은 저축굴곡근 피로, 배축굴곡근 피로, 저축굴곡근과 배축굴곡근의 동시 피로가 자세제어에 미치는 영향을 알아본 결과, 눈을 감은 상태에서는 저축굴곡근 · 배축굴곡근 각속도 30·120°/s 프로토콜이 전후 요인에서 외발서기 능력이 감소하는 것으로 나타났으나, 눈을 뜬 상태에서는 피로 프로토콜이 자세제어에 영향을 미치지 않는다고 보고하였다.

이 연구의 회내발 그룹과 정상발 그룹 간 피로 수준에 따른 차이는 외발서기 자세제어 시 시각 정보가 피로로 인하여 손상된 자세제어 능력을 보상할 수 있다는 이론을 통해서 설명할 수 있으며(Bisson, Choprab, Azzi, Morgan, & Bilodeau, 2010), 이러한 시각의 보상 결과는 자세제어 전략의 변화로 연결되며, 시각정보가 차단되면 자세제어 전략의 변화는 나타나지 않게 된다(Bisson et al., 2011). 따라서 이 연구의 정상발 그룹은 시각 정보의 보상에 따른 적절한 자세제어 전략의 변화를 통하여 외발서기를 수행하고 있는 것으로 판단된다. 위에서 살펴본 바와 같이 시각 정보 유무에 따라 선행 연구들의 결과는 다소 차이가 있음을 알 수 있다.

이 연구 결과, 발 유형에 따른 압력중심점 전후 요인의 RMS 거리와 총주파수에서는 30% 피로 후에서 회내발 그룹이 정상발 그룹보다 유의하게 큰 것으로 나타났다. 발 유형에 따른 질량중심점 전후 요인의 범위, RMS 거리, 총주파수에서는 30% 피로 후에서 회내발 그룹이 정상발 그룹보다 유의하게 큰 것으로 나타났다. 발 유형에 따른 전후 요인 결과, 최대 발목관절 신전토크 30% 수준의 피로 유발 운동은 회내발 그룹의 눈뜨고 외발서기 자세제어 능력이 정상발 그룹보다 감소하는 것으로 나타나 이러한 발목관절 피로는 회내발 그룹에 보다 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Cobb 등 (2004)은 발 유형이 외발서기 자세제어에 미치는 영향을 알아본 결과, 회내발 그룹이 정상발 그룹보다 전후 요인에서 동요가 크게 나타났다고 하였으며, Cote 등 (2005)은 발 유형이 정적 90° 자세제어에 미치는 영향을 알아본 결과, 그룹 간 유의한 차이는 나타나지 않았으나, 회내발 그룹이 정상발 그룹보다 변위가 다소 크게 나타났다고 보고하였다. Tsai 등 (2006)은 발 유형이 자세제어에 미치는 영향을 알아본 결과, 회내발 그룹이 정상발 그룹보다

전후 요인에서 표준편차와 최대변위가 유의하게 증가하였으며, 그 결과 회내발은 발목관절의 감소된 안정성 때문에 정상발보다 자세제어 능력이 낮으며, 기능적 활동 시 외발서기 자세제어 능력의 감소로 인한 균형 손실과 낙상에 있어 큰 위험을 가지고 있다고 보고하였다(Tsai et al., 2006).

2. 압력중심점과 질량중심점 궤적의 좌우 요인

이 연구 결과, 피로 수준에 따른 압력중심점의 좌우 요인은 모든 변수에서 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 질량중심점 좌우 요인의 속도는 회내발 그룹의 50%피로 후가 피로 전보다 유의하게 큰 것으로 나타났다. 발 유형에 따른 압력중심점 좌우 요인의 총주파수는 피로 전, 50% 피로 후, 30% 피로 후 모두에서 회내발 그룹이 정상발 그룹보다 유의하게 큰 것으로 나타났다. 그러나 발 유형에 따른 질량중심점의 좌우 요인은 모든 변수에서 유의한 차이가 나타나지 않았다.

Hosseinimehr 등 (2010)은 피로와 관련된 활동이 정적 · 동적 자세제어에 미치는 영향을 알아본 결과, 외발서기 자세제어 시 피로 후 좌우 요인에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다고 하였다. Bisson 등 (2011)은 발목관절 근육 피로가 외발서기 시 자세제어에 미치는 영향을 알아본 결과, 발목관절 근육의 피로 프로토콜은 좌우 방향에서 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. Boyas 등 (2011)은 성인 16명을 대상으로 최대 토크의 50% 피로 수준으로 저축굴곡 각속도 30%, 배축굴곡 각속도 120%, 저축굴곡 · 배축굴곡 각속도 30 · 120°/s 동시 피로 유발에 따른 세 가지 피로 유발 방법이 자세제어에 미치는 영향에 대한 연구 결과, 발목관절 근육의 피로에 따른 외발서기 자세제어 시 좌우 요인에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 따라서 위에서 언급된 연구들과 이 연구의 결과가 유사한 것으로 판단되며, 이러한 이유는 이 연구의 피로 유발 운동이 발목 관절의 전후 움직임을 제어하는 주동근에 집중된 관절 가동범위를 이용하여 피로를 발생시켰기 때문에 발목 관절의 좌우 움직임을 제어하는 능력에는 유의한 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

그러나 이러한 연구 결과와 상반된 연구 결과를 보고한 Adlerton 등 (2003)은 근피로가 외발서기 자세제어에 미치는 영향을 알아본 결과, 압력중심점 좌우 평균 진폭은 감소하였으나, 질량중심점의 좌우 가속도는 증가하였다고 보고하였으며, 이러한 변화는 피로 유발로 인한 자세제어 전략의 변화로 볼 수 있다고 보고하였다. Yaggie 와 McGregor (2002)는 저축굴곡근과 배축굴곡근의 등속성 피로 유발이 외발서기 자세제어에 미치는 영향을 알아본 결과, 피로 후 좌우 동요가 증가하였다고 보고하였다. 따라

서 위에서 살펴본 바와 같이 선행 연구들의 결과는 서로 상충되고 있음을 알 수 있다.

회내발은 발의 회내로 인해 발의 기저면의 좌우 표면적이 증가하여 외발서기 자세제어 시 좌우 요인에서 이점을 가지는 것으로 판단된다(Tsai et al., 2006). 또한 Cobb 등 (2004)과 Tsai 등 (2006)은 발의 유형이 자세제어에 미치는 영향을 알아본 결과, 정상발 그룹과 회내발 그룹 간의 좌우 요인에서 외발서기 자세제어 능력에 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 따라서 최대 발목관절 신전 토크 50%와 30% 수준의 피로 유발 운동과 발 유형에 따른 압력중심점 및 질량중심점의 좌우 요인은 외발서기 자세제어 능력에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

V. 결 론

이 연구의 목적은 건강한 성인 여성을 대상으로 발의 유형과 발목관절 피로 수준이 외발서기 시 압력중심점과 질량중심점 궤적에 미치는 영향을 알아보려고 하였으며, 결론은 다음과 같다.

피로 수준에 따른 전후 요인 결과, 최대 발목관절 신전 토크 50% 이상의 피로 유발 운동은 회내발 그룹의 눈뜨고 외발서기 자세제어 능력을 감소시키는 것으로 나타났다. 발 유형에 따른 전후 요인 결과, 최대 발목관절 신전 토크 30% 수준의 피로 유발 운동은 정상발 그룹보다 회내발 그룹의 눈뜨고 외발서기 자세제어 능력에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 피로 수준과 발 유형에 따른 좌우 요인 결과, 최대 발목관절 신전 토크 50% 이상의 피로 유발 운동은 외발서기 자세제어 능력에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

결론적으로 최대 발목관절 신전 토크 50% 이상의 피로 유발 운동은 회내발 그룹의 눈뜨고 외발서기 자세제어 능력의 전후 요인에 영향을 미치며, 또한 회내발 그룹의 눈뜨고 외발서기 자세제어 능력은 최대 발목관절 신전 토크 30% 수준에서 정상발 그룹보다 유의하게 손상되는 것으로 판단된다.

참고문헌

- Adleron, 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.
- Bandholm, T., Boysen, L., Haugaard, S., Zebis, M. K., & Bencke, J.(2008). Foot medial longitudinal-arch deformation during quiet standing and gait in subjects with medial tibial stress syndrome. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 47(2), 89-95.
- Barrault, D., Brondani, J. C., & Rousseau, D.(1991). Médecine du judoMasson, Paris, Mason.
- Bilodeau, M., Henderson, T., Nolte, B., Pursley, P. J., & Sandfort, G.(2001). Effect of aging on fatigue characteristics of elbow flexor muscles during sustained submaximal contraction. *European Journal of Applied Physiology*, 91, 2654-2664.
- Bisson, E. J., Chopra, S., Azzi, E., Morgan, A., & Bilodeau, M.(2010). Acute effects of fatigue of the plantarflexor muscles on different postural tasks. *Gait & Posture*, 32(4), 482-486.
- 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., & Paillard, T.(2009). Effects of knee and ankle muscle fatigue on postural control in the unipedal stance. *European Journal of Applied Physiology*, 106(3), 375-380.
- 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, 67-79.
- Cobb, S. C., Tis, L. L., Johnson, B. F., & Higbie E. J.(2004). The effect of forefoot varus on postural stability. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 34, 79-85.
- Cote, K. P., Brunet, M. E., Gansneder, B. M., & Shultz, S. J.(2005). Effects of pronated and supinated foot postures on static and dynamic postural stability. *Journal of Athletic Training*, 40(1), 41-46.
- Dahle, L. K., Mueller, M., Delitto, A., & Diamond, J.(1991). Visual Assessment of Foot Type and Relationship of Foot Type to Lower Extremity Injury. *Journal of Sports and Physical Therapy*, 14(2), 70-74.
- David, T. O., Carl, G. M., & Brent, L. A.(2000). Effect of orthotics on postural sway after fatigue of the plantar flexors and dorsiflexors. *Journal of Athletic Training*, 35(1), 26-30.
- 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 Sport Medicine*, 31, 233-240.
- Franco, A. H.(1987). Pes cavus and pes planus. Analyses and treatment. *Journal of the American Physical Therapy Association*, 67, 688-694.
- Forestier, N., Teasdale, N., & Nougier, V.(2002). Alteration of the position sense at the ankle induced by muscular fatigue in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34:117-122.
- Giannesini, B., Cozzone, P. J., & Bendahan, D.(2003). Non-invasive investigations of muscular fatigue: metabolic and electromyographic components. *Biochimie*, 85(9), 873-883.
- Gribble, P. A. & Hertel, J.(2004a). Effect of hip and ankle muscle fatigue on unipedal postural control. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14, 641-646.
- Gribble, P. A. & Hertel, J.(2004b). Effect of lower-extremity muscle

- fatigue on postural control. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(4), 589-592.
- Gutierrez, G. M., Jackson, N. D., Dorr, K. A., Margiotta, S. E., & Kaminski, T. W.(2007). Effect of fatigue on neuromuscular function at the ankle. *Journal of Sport Rehabilitation*, 16(4), 295-306.
- Ha, C. S. & Kim, B. K.(2000). Comparison Analysis of Foot Shape, Among University Students Majoring in Korean Traditional Dance, Modern Dance and Ballet. *Korean Society of Growth and Development*, 8(2), 97-105.
- 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.
- Headlee, D. L., Leonard, J. L., Hart, J. M., Ingersoll, C. D., & Hertel, J.(2008). Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(3), 420-425
- Hertel, J., Gay, M. R., & Denegar, C. R.(2002). Differences in postural control during single-leg stance among healthy individuals with different foot types. *Journal of Athletic Training*, 37(2), 129-132.
- Hiemstra, L. A., Lo, I. K., & Folwer, P. J.(2001). Effect of fatigue on knee proprioception: implications for dynamic stabilization. *Journal of Orthopaedic Sports Physical Therapy*, 31, 598-605.
- Hosseini-mehr, S. H., Daneshmandi, A., & Norasteh, A. A.(2010). The effects of activity related fatigue on static and dynamic postural control in college athletes. *Brazilian Journal of Biomotricity*, 4(2), 148-155.
- Hyeong, I. H., Kim, H. S., & Lee, G. C.(2009). The Effect of Muscle Activities and Dynamic Balance Ability with Mobilization and Active Exercise on Pronation Foot. *Journal of sport and leisure studies*, 37(2), 1023-1032.
- Kazutomo, M., Yasuyuki, I., Eiichi, T., Yoshihisa, O., Hironori, O., & Satoshi, T.(2004). The effect of local and general fatigue on knee proprioception. *The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 20(4), 414-418.
- Kasahara, S., Ebata, J., & Takahashi, M.(2007). Analysis of the repeated one-leg heel-rise test of ankle plantar flexors in manual muscle testing. *Journal of Physical Therapy Science*, 19(4), 251-256.
- Kim, C. J., Park, S. B., Shin, Y. O., & Oh, J. K.(2002). Analysis on the radiological foot deformity and isokinetic evaluation of ankle in finswimmer. *The Korean Journal of Sports Medicine*, 20(1), 90-95.
- Lafond, D., Duarte, M., & Prince, F.(2004). Comparison of three methods to estimate the center of mass during balance assessment. *Journal of Biomechanics*, 37, 1421-1426.
- Lee, A. D.(2005). A Comparison on the feet shape among different types of dance majors and other majors. *Official Journal of Korean Society of Dance Science*, 10, 119-127.
- Lee, K. K. & Kwon, S. O.(2005). Research of taekwondo players' anthropometric measurements and the implications on foot shape. *Journal of sport and leisure studies*, 24, 305-312.
- Letafatkar, K., Alizadeh, M. H., & Kordi, M. R.(2009). The effect of exhausting exercise induced fatigue on the double-leg balance of elite male athletes. *Journal of Social Sciences*, 5(4), 445-451.
- 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.
- Maclaren, D. P., Gibson, H., Parry-Billings, M., & Edwards, R. H.(1989). A review of metabolic and physiological factors in fatigue. *Exercise and sport sciences reviews*, 17(1), 29-66.
- Manou, V., Arseniou, P., Gerodimos, V., & Kellis, S.(2002). Test-retest reliability of an isokinetic muscle endurance test. *Isokinetics and Exercise Science*, 10(4), 177-181.
- Mueller, M. J., Host, J. V., & Norton, B. J.(1993). Navicular drop as a composite measure of excessive pronation. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 83, 198-202.
- Murphy, D. F., Connolly, D. A. J., & Beynon, B. D.(2003). Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, 37, 13-29.
- Ochsendorf, D. T., Mattacola, C. G., & Arnold, B. L.(2000). Effect of orthotics on postural sway after fatigue of the plantar flexors and dorsiflexors. *Journal of Athletic Training*, 35(1), 26-30.
- Paillard, T.(2012). Effects of general and local fatigue on postural control: A review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(1), 162-176
- Price, R. J., Hawkins, R. D., Hulse, M. A., & Hodson, A.(2004). The Football Association medical research programme: an audit of injuries in academy youth football. *British Journal of Sports Medicine*, 38, 466-471.
- 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(4), 436-445.
- Salavati, M., Moghadam, M., Ebrahimi, I., & Arab, A. M.(2007). Changes in postural stability with fatigue of lower extremity frontal and sagittal plane movers. *Gait & Posture*, 26, 214-218.
- Sell, K. E., Verity, T. M., Worrell, T. W., Pease, B. J., & Wigglesworth, J.(1994). Two measurement techniques for assessing subtalar joint position: a reliability study. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 19, 162-167.
- 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.
- 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.
- 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., Sportbert, C., & Pinsault, N.(2009). Postural adaptation to unilateral hip muscle fatigue during human bipedal standing. *Gait & Posture*, 30, 122-125.
- Williams, D. S., McClay, I. S., & Hamill, J.(2001). Arch structure and injury patterns in runners. *Clinical Biomechanics*, 16(4), 341-347.
- Williams, D. S. & McClay, I. S.(2000) Measurements used to char-

acterize the foot and the medial longitudinal arch: reliability and validity. *Physical Therapy*, 80, 864-871.

Wilson, M. L., Rome, K., Hodgson, D., & Ball, P.(2008). Effect of textured foot orthotics on static and dynamic postural stability in middle-aged females. *Gait & Posture*, 27, 36-42.

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.