

기능적 발목 불안정성시 하지 근피로에 의한 동적균형이 족저압에 미치는 영향

The Effect of the Plantar Pressure on Dynamic Balance by Fatigue of Leg in the Subjects with Functional Ankle Instability

김호성

을지대학교 물리치료학과

Ho-Sung Kim(bhst0077@naver.com)

요약

본 연구는 기능적 발목 불안정성시 하지 근피로도에 따른 동적균형이 족저압에 미치는 영향에 대해 알아보고자 하였다. 본 연구는 설문조사를 통해 기능적 발목 불안정성으로 진단된 14명의 발목불안정집단과 16명의 발목안정집단 총 30명을 대상으로 실시하였다. 하지의 근피로는 Biodex system III, 족저압은 Zebris FDM-S system으로 측정하였고, 한발로 점프 후 착지 검사로 동적균형을 실시하였다. 동적균형시 족저압 분포비율은 발목불안정집단의 전족부(p2, p3, p4)에서 높게 나타났다(p<0.05). 동적균형시 근피로 유발 전후 족저압 분포 비율은 발목 불안정집단에서 발목 안정집단보다 전족부(p2, p3, p4)와 외측 중족부(p6)에서 유의하게 높았으나 종골부(p7)에서는 낮았다(p<0.05). 동적균형시 족저압 중심(CoP)의 전후이동거리(AP)와 좌우이동 폭(ML)은 발목 불안정집단이 발목 안정집단에 비해 근피로 유발 전보다 유발 후 유의하게 길었다(p<0.05). 기능적 발목불안정성시 하지 근피로도에 따른 동적균형은 족저압 분포와 족저압 중심이동에 영향을 준 것으로 사료된다. 향후, 기능적 발목 불안정이 있는 다양한 연령대를 대상으로 족저압 차이를 객관화, 척도화 시키는 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

■ 중심어 : | 기능적 발목 불안정 | 족저압 | 근피로도 | 동적균형 |

Abstract

Purpose : The present study was aimed at investigating the plantar pressure on dynamic instability of subjects with functional ankle instability following fatigue of lower leg.

Methods : The subjects(30 university students) were divided into 2 groups ; functional ankle instability group(7males and 7females) and ankle stable group(9males & 7females) who could evaluate questionnaire. All the participants were evaluated muscle fatigue of lower leg by Biodex system III and distribution of plantar pressure by Zebris FDM-S system, The dynamic balance was tested by single-leg jump landing. This study were to measure of plantar pressure on dynamic balance with the difference between FAIG and control group following muscle fatigue.

Results : In functional ankle instability group(FAIG), the post-fatigue was significantly higher than pre-fatigue in forefoot(p2,p3,p4) of plantar pressure on dynamic balance(p<0.05). The FAIG was significantly higher than the ASG in forefoot(p2, p3, p4) & lat midfoot(p6) of plantar pressure after fatigue in dynamic balance(p<0.05). The FAIG was significantly longer than the ASG in anteroposterior(AP) & mediolateral(ML) distance on center of pressure(CoP) after fatigue in dynamic balance(p<0.05).

Conclusion : This study showed that FAIG were effected plantar pressure and center of pressure(CoP) by dynamic balance following muscle fatigue. Further study is needed to measure various age & work with ankle instability for clinical application.

■ keyword : | Functional Ankle Instability | Plantar Pressure | Muscle Fatigue | Dynamic Balance |

I. 서론

발목 염좌 후 약 40%의 환자에서 해부학적 불안정성, 발목관절의 고유수용감각의 저하, 비골근의 위약 등 기능적 발목불안정성(functional ankle instability: FAI)을 초래한다[1-3]. 이러한 기능적 발목 불안정시 자세 조절 결함 때문에 반복적인 불안정성과 휘청거림을 경험한다[4]. 또한 불규칙한 지면을 걸을 때, 한 발로 축을 잡고 회전할 때, 갑작스런 방향전환이나 급정지할 때, 점프 후 착지할 때 주로 발생하며 다른 부상의 위험성과 만성적 문제를 초래한다[5]. 이러한 발목불안정은 운동경기 중 나타나는 근피로에 의해서도 발생되는데 주로 신체활동시 근피로에 의한 발목의 고유수용성감각 결함과 동적움직임 제한으로 나타난다[6].

피로에 의한 운동조절능력 감소는 고유수용성감각의 결함으로 나타나고, 근육반응과 균형능력을 저하시키기 때문에 관절안정성 저하와 부상빈도의 증가로 이어질 수 있다[7]. 또한 하지의 과도한 운동으로 인한 근피로는 근수용체의 효율성 소실과 관절낭 수용체의 민감성을 증가시켜 관절위치감각에 영향을 미친다[8]. 이러한 근피로는 고유수용감각과 관절운동성 저하를 초래하고[9], 근방추 역치를 증가시켜 구심성 되먹임을 방해하여 관절자각도를 변화시킨다[10]. 또한 젖산이 축적되면 발목의 기능적 안정을 저하시킨다[11].

Lidor와 Ziv[12]은 배구 경기에서 근피로에 의한 하지의 신경근 조절 결함으로 고유감각 결함, 감각운동기능 저하 등의 발목 불안정성을 초래한다고 하였고, Mohammadi와 Roozdar[13]은 축구 경기 후 근피로에 의해 발목 관절자세감각이 감소한다고 하였다.

이와 같은 자세조절은 발목의 거골하관절에서 족저압 중심을 따라 일어나고, 지면반발력에도 영향을 미친다[14]. 족저압의 크기 및 분포는 족부의 동통, 발의 기능적 혹은 구조적 이상, 신발의 상태 등에 의해 영향을 받으며, 족저압 중심의 이동경로는 신체의 균형감각을 평가할 수 있다[15]. Gepen[11]은 장비골근 피로시 입각기(stance phase) 동안 족저압 중심이 비정상적으로 외측편위되어 발목 염좌가 잘 발생하고, 전경골근과 하퇴삼두근의 지속적 피로시 주로 종골과 중족골에 체중부

하가 가해진다고 하였다. 또한 장거리 보행시 족저로 가는 부하는 감소하고, 3~4번째 중족골두와 종골로 가는 부하는 증가하고[16], 발목 근피로가 있을시 서 있는 자세에서 내외와 전후 축으로 족저압 중심이 크게 이동한다[17]. 보행시 종골부와 중족부에서는 최대 족저압(peak pressure)과 비례추진력(relative impulse)이 감소하고, 전족부(forefoot)에서는 증가한다[18].

그러나 근피로시 평균 족저압 중심이동속도(center of foot pressure; CoP velocity)는 하퇴삼두근보다 대퇴사두근이 높기 때문에 자세조절은 발목 근피로보다 무릎 근피로에 의해 영향을 받는다[19]. 또한 하퇴삼두근 피로시 족저압 중심이 앞으로 진행되고, 족저압 중심변위의 폭도 증가하기 때문에 근피로시 자세동요가 크게 나타난다[17]. Gribble와 Hertel[20]은 한발로 서기(single-leg stance)시 고관절과 무릎 근육이 피로하면 전두면과 시상면에서 정적자세조절 결함이 나타나지만 발목근육이 피로해지면 큰 영향이 나타나지 않는다고 하였다.

이와 같이 근피로시 자세균형과 족저압에 대한 여러 선행연구들은 있지만 기능적 발목 불안정시 하지 근피로에 의한 동적 균형이 족저압 분포에 미치는 영향에 대해서 아직까지 명확하게 밝혀진 바가 없다. 따라서 기능적 발목 불안정성이 있는 경우 근피로에 따른 동적 균형이 족저압 분포에 미치는 영향을 알아보고 향후 효과적인 재활치료의 기초 자료를 제시하고자 본 연구를 실시하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상은 E대학교 재학생들 중 과거병력, 문진, 이학적 검사, 설문조사를 통해 기능적 발목관절 불안정성으로 진단된 발목불안정집단(ankle instability group) 14명과 발목안정집단(ankle stable group) 16명, 총 30명을 대상으로 신장, 체중 및 연령 등을 고려해 각 집단에 무선 배정하여 하였고 두 집단 간에는 유의한 차이는 없었다[표 1]. 기능적 발목불안정성은 이전 연구

[5][21]를 근거로 작성한 설문지(questionnaire)를 통하여 주관적으로 평가한 항목 중 2번 이상의 발목염좌 발생빈도[22], 울퉁불퉁한 표면에서 달리기의 어려움[23], 운동 중 커팅과 점핑의 어려움이 있는 경우[24], 휘청거리는 느낌[4], 통증유발 정도[25], 발목불안정 정도[2]의 6가지 항목 중 3가지 이상 해당하는 경우를 기능적 발목 불안정성이 있는 것으로 판정하였다. 또한 재발성 발목관절 염좌, 만성적인 동통 또는 만성발목관절 염좌 환자 중 최근 마지막 부상이 최소 3개월 전 이었고, 검사 당시 완전한 체중지지가 가능한 환자를 대상으로 하였으나 검사 당시 부종이 있거나, 수술을 받았거나, 동반된 하지 골절이 있는 대상자는 제외하였다. 또한 실험대상자는 발목불안정집단과 발목 안정집단 모두 우성(dominance)인 다리로 제한하였다[5]. 또한 모든 피험자들에게는 실험 전 연구의 취지와 절차에 대해 충분히 설명하고, 자발적 동의를 얻어 실험을 실시하였다.

표 1. 연구대상자의 신체적 특성 (n=30)

Factors	ASG(n=16)	FAIG (n=14)	P-value
성별(sex)	남(9) / 여(7)	남(7) / 여(7)	0.6
연령(yrs)	21.5 ± 0.6	21.5 ± 0.6	0.6
신장(cm)	168.0 ± 1.9	166.0 ± 2.4	0.5
체중(kg)	59.8 ± 2.4	58.3 ± 3.4	0.3

Data=Mean±SE
ASG: ankle stable group FAIG: functional ankle instability group

2. 측정 도구

본 연구에서 실시한 동적 균형(dynamic balance)은 한발로 점프 후 착지 검사(single-leg jump landing test)를 실시하였다. 하지의 근피로(muscle fatigue)는 Biodex system III(USA)으로, 각 자세에서의 족저압(plantar pressure)은 Zebris FDM-S system(Germany)으로 측정하였다.

3. 실험절차 및 방법

3.1 하지의 근피로도

본 연구에서 하지의 근피로를 유발시키기 위해 Biodex SystemIII isokinetic dynamometer(Biodex Medical System, USA)를 이용하였다[10]. 피험자는 앉

은 자세에서 검사를 실시할 다리의 고관절을 70°로 굴곡시키고 무릎은 90° 굴곡하여 앉은 자세에서 시행하였다. 하지의 구심성 기능을 검사하는 방법으로 무릎관절을 90°에서 0°까지 다시 0°에서 90°까지 움직이도록 하여 무릎관절 중심으로 신진과 굴곡운동을 실시하였다. 최대 우력(peak torque)은 각속도 60°/sec에서 계속하여 5번 최대한 수축(maximal voluntary contraction)으로 결정하였다. 2분 휴식 후 최대 우력이 50% 이하로 떨어질 때 까지 계속하여 반복하여 실시하여 근피로를 유발시켰다.

3.2 동적 균형시 족저압 측정

동적 균형을 검사하기 위하여 한발로 점프 후 착지 검사(single leg jump landing test)를 실시하였다[26][27]. 감지발판의 중심에서 70cm 떨어진 곳에 서서 최대 점프 높이의 50~60%로 우성 다리로 점프한 후 가능한 한 10초 동안 한쪽 다리로 서서 균형을 유지하였는데 첫 3초 동안의 값을 측정값으로 설정하였다. 또한 각 자세가 끝날 때마다 30초간의 휴식을 주었고, 각 자세마다 2회 반복 측정하여 평균값을 산출하였다[그림 1].

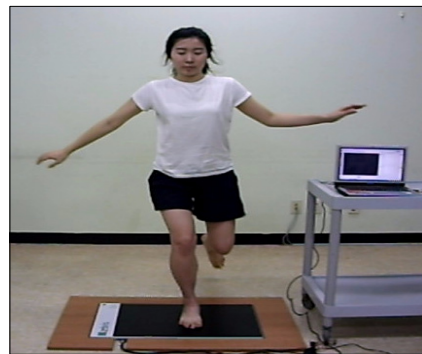


그림 1. Single-leg jump landing test

3.3 족저압(plantar pressure) 분석

본 연구에서 동적균형시 족저 압력 분산도와 족저압 중심 이동 경로를 측정하기 위하여 Zebris FDM-S system(Cronbach's $\alpha = 0.76$)을 사용하였는데 감지기가 포함된 69×40×2.5cm 크기의 감지 발판에 USB cable

을 통하여 자료를 측정하였다[28][29]. 측정된 자료는 software Win FDM으로 분석하는데 각 자세에서 족저압 분석을 위해 족저를 엄지발가락(big toe; p1), 내측 전족부(medial forefoot)에 해당하는 제1 중족부(1st metatarsal; p2), 중앙 전족부(middle forefoot)에 해당하는 제2~3 중족부(2nd~3rd metatarsal; p3), 외측 전족부(lateral forefoot)에 해당하는 제4~5 중족부(4~5th metatarsal; p4), 내측 중앙부(med. midfoot; p5), 외측 중앙부(lat. midfoot; p6), 종골부(heel; p7)의 7개 지점에서 측정하였고, 각 부위의 크기는 일정하게 5×4cm²으로 설정하였다(그림 2). 50Hz의 주파수로 1초에 10 frame의 자료를 통해서 전족부와 후족부의 족저 압력 분산 정도와 동요 면적 값을 검사하였고, 각 자세에서 2회 반복 측정하여 평균값을 산출하였다. 또한 각 평균 족저압(average foot pressure(N/cm²)) 값을 대표값으로 하고, 그것을 표준 족저압(average foot pressure/total foot pressure(%)) 값으로 환산해서 자료분석에 이용하였다.

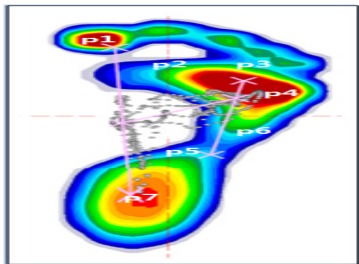


그림 9. 7area of plantar pressure

4. 자료 분석

본 연구의 모든 자료는 Window용 SPSS/PC 21.0 통계프로그램을 이용하여 기술 통계치를 산출하였다. 하지 근피로도 유발 후 발목 안정집단과 발목 불안정집단 간의 동적 균형에 따른 각 족저압의 차이를 보기위해 짝비교 t 검정(paired t-test)을 실시하였고, 각 집단 간의 차이를 보기위해 독립표본 t 검정(Independent samples t-test)을 실시하였다. 모든 변인에 대한 통계적 유의수준은 $\alpha = 0.05$ 로 설정하였다.

III. 결 과

1. 동적균형시 근피로 전후 두 집단의 족저압 분포

각 집단에서 족저압분포 비율은 발목불안정집단에서 근피로 유발 전보다 유발 후 전족부(p2, p3, p4)에서 유의하게 높았으나($p < 0.05$), 발목안정집단에서는 유의하지 않았다[표 2].

2. 동적균형시 근피로 전후 두 집단간 족저압 분포

동적 균형시 두 집단간 족저압 분포 비율은 근피로 유발 전보다 유발 후 발목 불안정집단이 발목 안정집단보다 전족부(p2, p3, p4)와 외측 중족부(p6)에서 유의하게 높았으나 종골부(p7)에서는 낮았다($p < 0.05$)[표 3].

3. 동적균형시 근피로 전후 두 집단의 족저압 중심(CoP)의 이동경로

각 집단에서 동적균형시 족저압 중심(CoP)의 전후이동거리(AP)와 좌우이동 폭(ML)은 근피로 유발 전보다 유발 후 발목불안정집단에서 유의하게 길었으나($p < 0.05$). 발목안정집단에서는 유의하지 않았다[표 4].

4. 동적균형시 근피로 전후 두 집단간 족저압 중심(CoP)의 이동경로

동적 균형시 두 집단 간 족저압 중심(CoP)의 전후이동거리(AP)와 좌우이동 폭(ML)은 근피로 유발 전보다 유발 후 발목 불안정집단이 발목 안정집단보다 유의하게 길었다($p < 0.05$)[표 5].

표 2. 두 집단의 족저압 분포비율

Area	Plantar Pressure(%)			
	ASG		FAIG	
	pre -fatigue	post -fatigue	pre -fatigue	post -fatigue
p1	12.1±0.8	12.2±1.4	13.6±1.4	11.8±3.9
p2	11.0±0.9	11.3±1.2	11.6±0.8	15.2±3.6*
p3	19.8±1.1	21.2±1.4	20.5±1.4	25.6±1.6*
p4	13.7±0.7	14.6±1.0	14.2±1.8	16.1±1.8*
p5	0.8±0.2	1.0±0.5	1.8±0.9	1.6±1.3
p6	12.5±1.6	12.5±1.2	12.5±1.6	14.2±1.6
p7	25.6±1.9	25.3±1.6	25.7±2.2	20.5±3.2

Data=Mean±SE. *P<0.05 between pre-fatigue & post-fatigue
 ASG: ankle stable group FAIG: functional ankle instability group
 p1: big toe p2: med forefoot p3: mid forefoot p4: lat forefoot p5: med, midfoot p6: lat. midfoot p7: heel

표 3. 두 집단과 집단간 족저압 분포비율

		Dynamic Balance		
Area(%)		ASG	FAIG	t
p1	pre-fatigue	12.1±0.8	13.6±1.4	-0.5
	post-fatigue	12.2±1.4	11.8±3.9	-0.4
p2	pre-fatigue	11.0±0.9	11.6±0.8	-1.2
	post-fatigue	11.3±1.2	15.2±3.6	-0.8*
p3	pre-fatigue	19.8±1.1	20.5±1.4	-0.3
	post-fatigue	21.2±1.4	25.6±1.6	-1.0*
p4	pre-fatigue	13.7±0.7	14.2±1.8	1.1
	post-fatigue	14.6±1.0	16.1±1.8	-1.8*
p5	pre-fatigue	0.8±0.2	1.8±0.9	-1.2
	post-fatigue	1.0±0.5	1.6±1.3	-1.2
p6	pre-fatigue	12.5±1.6	12.5±1.6	0.4
	post-fatigue	12.5±1.2	14.2±1.6	-0.9*
p7	pre-fatigue	25.6±1.9	25.7±2.2	0.6
	post-fatigue	25.3±1.6	20.5±3.2	-1.3*

Data=Mean±SE. *P(0.05 between ASG & FAIG
 ASG: ankle stable group AIG: functional ankle instability group
 p1: big toe p2: med forefoot p3: mid forefoot p4: lat forefoot
 p5: med, midfoot p6: lat, midfoot p7: heel

표 4. 두집단 족저압 중심(CoP) 이동경로 변화

		center of plantar pressure(cm)			
		ASG		FAIG	
		pre -fatigue	post -fatigue	pre -fatigue	post -fatigue
AP		6.2±1.0	6.2±0.9	11.9±0.7	14.1±1.0*
ML		11.7±1.8	10.2±1.8	15.1±1.8	17.7±2.4*

Data=Mean ± SE. *P(0.05 between pre-fatigue & post-fatigue
 ASG: ankle stable group
 FAIG: functional ankle instability group
 AP: Anteroposterior distance ML: Mediolateral distance

표 5. 두 집단간 족저압 중심(CoP) 이동경로 변화

		center of plantar pressure(cm)			
		ASG	FAIG	t	
AP	pre-fatigue	6.2±1.0	11.9±0.7	0.6	
	post-fatigue	6.2±0.9	14.1±1.0	-1.7*	
ML	pre-fatigue	11.7±1.8	15.1±1.8	0.6	
	post-fatigue	10.2±1.8	17.7±2.4	-0.1*	

Data=Mean ± SE. *P(0.05 between ASG and FAIG
 ASG: ankle stable group FAIG: functional ankle instability group
 AP: Anteroposterior distance ML: Mediolateral distance

IV. 고찰

인간의 발은 기립자세의 기초가 되며, 보행 중 충격을 완화시키고, 운동을 위한 지렛대로 작용하고, 또한 신체의 균형을 유지하는데 필요한 일차적 구조로써 역학적으로 지속적인 힘을 받는다[30]. 또한 상체의 재형

률과 족저압 중심의 변화를 통해 신체를 바닥에서 수직 상에 유지하기위해 신체의 무게 중심을 조절한다[31].

이러한 신체 균형은 근피로가 유발되면 중추기전에 서 신경근 조절 결함이 나타나 장시간 자세동요가 발생 한다[32]. 또한 신체활동으로 인한 발목 근피로는 고유 수용성감각 결함과 동적움직임 제한으로 나타나는데 [6], 자세조절감각 저하[21], 근동원시간의 지연[2], 그 리고 하지 정렬의 이상[33] 등이 유발되어, 기능적 발목 불안정성으로 진행된다.

이 같은 하지 근피로는 족저압에도 영향을 미치는데 Bisiaux와 Moretto[18]는 단거리 달리기 후 하지 근피 로가 유발되면 발뒷꿈치와 중족부에서 최대 족저압과 비례추진력(relative impulse)은 감소하지만, 전족부 에서는 증가한다고 하였다. Nagel 등[34]은 장거리 달리 기로 인한 근피로시 중족골아래에 압력이 증가하여 스트레스 골절(stress fractures)이 발생율이 높다고 하였 다. 또한 Meyer 등[35]은 발바닥 감각저하시 고유수용 감각 결함으로 인해 자세조절에 영향을 미치고, 높은 굽 신발 보행(high-heeled gait)에 의한 근피로는 족저 압 중심이 외측으로 편향되는 발목 불안정이 유발된다 고 하였다.

이와 같이 발과 발목은 신체 활동시 체중지지와 이동 시 안정과 유연성을 제공하기 때문에 족저압 측정으로 발에 대한 다양한 기능에 대해 평가 할 수 있다[36]. 보행시 족저압의 크기와 분포는 동통이나 발의 구조적, 기능적 상태 또는 노면상태 등에 영향을 받게 되는데 발에 가해지는 압력이상은 통증뿐만 아니라 변형 등과 도 관계가 있다. 이때 족저압을 족압판(force platform) 이나 족압계(pedobarography) 등으로 측정하면 표준화 및 정량화가 용이하기 때문에 균형감각이나 이동양식 을 평가할 수 있다[15]. 이 중 족압판은 지지하고 있는 바닥과 발의 상호관계를 평가하는데 사용되는데 지면 반발력의 수직력(vertical force)과 전단력(shear force) 으로 인한 족저압과 족저압 중심의 전후와 내외측 이동 등 족저압 분포의 변화에 대한 다양한 정보를 제공한다 [37]. 따라서 본 연구에서는 족압판을 이용하여 기능적 발목 불안정시 근피로가 동적균형시 바닥과 발바닥에 미치는 압력분포와 족저압 중심 이동에 대한 자료를 제

시하고자 하였다.

동적 균형은 작업, 환경, 움직임 등을 포함한 다양한 상태의 상호작용에 관여하여 감각운동시스템 빠르게 재조직화하는 과정으로 이동 및 보행등에 중요한 역할을 한다[38]. Coventry 등[39]은 근피로 후 한발로 뛰고 착지 동안 고관절과 무릎 굴곡은 증가하고, 발목 족저 굴곡은 감소하는데 고관절 신전근을 사용하여 기계적 에너지 흡수를 더 용이하게 하여 근위 근육의 활동을 재분배하고, 운동학적 변화를 통해 하지가 피로에 잘 적응할 수 있게 한다고 하였다. 본 연구에서 기능적 발목 불안정성 경우 동적 균형이 족저압 분포에 미치는 영향을 평가하기 위해 한발로 점프 후 착지(single-leg jump landing)를 실시한 결과 발목불안정집단에서 근피로 유발 전보다 유발 후 족저압분포는 전족부(p2, p3, p4)에서 유의하게 높았고, 발목 불안정집단에서 발목 안정집단보다 전족부(p2, p3, p4)와 외측 중족부(p6)에서 유의하게 높았으나 종골부(p7)에서는 낮았다. 이는 Augustsson 등[40]의 연구에서와 같이 근피로 후 한발로 뛰고 착지 동안 하지 안정을 유지하기 위해 무릎굴곡은 증가하고 무릎 움직임은 감소하는데 근피로시 대퇴사두근 원심성 수축 약화를 보상하기 위해 발목관절의 움직임이 증가한 것으로 보인다.

기능적 발목 불안정시 한발로 점프 후 착지시 족저압 분포가 외측으로 많이 분포한 것은 갑작스런 발목 내반으로 부적절한 발위치 즉, 발의 내전과 회외 증가되는데 이는 내반에 대항하여 비골근 근력저하로 자세동요가 발생되었을 것으로 사료된다. 또한 기능적 발목 불안정이 있는 경우 점프 후 착지시 옆과 앞 방향으로 지면반발력이 나타나는데 착지 후 너무 일찍 반사적 조절이 나타나고, 미리먹임 운동조절(feed-forward motor control) 결핍으로 인해 발목구조에 스트레스 증가하기 때문으로 보인다[27].

족저압 중심(CoP)의 이동 경로는 보행 주기 동안 족부의 움직임에 따른 압력분산의 이동을 보여주는 것으로 족저압 중심의 전후 이동 폭은 족저압 중심의 진행정도를 반영하고, 좌우 이동폭은 내외측의 불안정성을 의미한다[41]. Gribble과 Hertel[20]은 발목불안정성인 경우 피로를 유발하고 동적 자세조절시 전후와 내

측 방향으로 구간속도가 감소되었다고 하였고, Brown 등[42]은 발목 불안정성이 있는 경우 동적체중이동(rhythmic weight shift)시 전후 방향이 아닌 내외측 방향으로 구간속도와 방향조절력이 감소되어 좌우 방향의 흔들림이 나타난다고 하였다. 본 연구에서는 근피로 유발 후 동적 균형시 족저압 중심(CoP)의 전후이동거리(AP)와 좌우이동 폭(ML)은 발목 불안정군이 발목 안정군에 비해 유의하게 길었다. 이는 Willems 등[43]의 연구와 같이 전후이동거리(AP)가 긴 것은 앞으로 점프와 착지시 무릎 가까이 있는 무게 중심선이 고관절 쪽으로 이동하면서 대퇴사두근과 전경골근에 저항이 가해져 자세유지를 하고, 대퇴이두근은 슬관절 굴곡시에 고관절에는 길항근으로 작용하고 슬관절에는 협동근으로 작용하여, 체중이 앞으로 이동시 활성화되는 근육이 약화된 것으로 사료된다. 또한 좌우이동 폭(ML)이 긴 것은 비골근은 갑작스런 내반 움직임에 대항해서 발목 외측 안정화를 유지하는 근육으로 족저굴곡근 피로 후 비골근의 점화율(firing rate)이 저하되고, 외반근인 장비골근이 발목내반시 감속역할을 하는데 발목 불안정성 집단에서 장비골근은 전경골근보다 상대적으로 더 약해 내반근이 강하게 작용하고 외반근의 감속 기능이 원활히 작용하지 않아 외측으로 족저압 중심(CoP) 이동폭이 증가한 것으로 사료된다.

이와 같이 기능적 불안정시 동적 균형자세에 따라 관여하는 족저압과 족저압 중심이동 분석을 통해 재활훈련시 발목을 안정화에 기여하는 근육을 강화하고, 균형 감각훈련을 통해 발바닥에 가해지는 압력을 미리 분산시켜 발목 재손상을 예방할 수 있을 것으로 본다. 본 연구의 제한점은 족저압 측정시 적은 피험자를 대상으로 실험을 했고, 각 개인 신체상의 차이로 인한 오차로 인해 객관화하기에 어려움이 있었다. 향후, 기능적 발목 불안정이 있는 남녀간 비교, 다양한 연령대와 직업들을 대상으로 발목불안정시 족저압 차이를 객관화, 척도화시키는 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

V. 결론

결론적으로 본 연구는 기능적 발목 불안정에서 동적

균형시 족저압 분포 비율은 발목 안정집단보다 전족부(p2, p3, p4)와 외측 중족부(p6)에서 유의하게 높았으나 종골부(p7)에서는 낮았다. 또한 외측 중족부에서 족저압 중심(CoP)의 전후이동거리(AP)와 좌우이동 폭(ML)이 유의하게 길게 나타난 것은 자세유지를 하는데 활성화되는 근력에 더 큰 영향을 받는 것으로 보인다. 따라서 향후 기능성 발목관절 불안정 환자의 재활 프로그램 계획시 각 자세에 따른 고유수용성감각과 선택적 근력 강화의 기초자료로 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] G. Lentell, B. Baas, D. Lopez, L. McGuire, M. Sarrels, and P. Snyder, "The contributions of proprioceptive deficits, muscle function, and anatomic laxity to functional in stability of the ankle," *Orthop Sports Phys Ther*, Vol.21, No.4, pp.206-215, 1995.
- [2] E. Eils and D. Rosenbaum, "A multi-station proprioceptive exercise program in patients with ankle instability," *Med Sci Sports Exerc*, Vol.33, No.12, pp.1991-1999, 2001.
- [3] T. J. Hubbard, L. C. Kramer, C. R. Denegar, and J. Hertel, "Correlations among multiple measures of functional and mechanical instability in subjects with chronic ankle instability," *J Athl Train*, Vol.42, No.3, pp.361-366, 2007.
- [4] C. L. Docherty, T. C. Valovich McLeod, and S. J. Shultz, "Postural control deficits in participants with functional ankle instability as measured by the balance error scoring system," *Clin J Sport Med*, Vol.16, No.3, pp.203-208, 2006.
- [5] C. N. Brown and R. Mynark, "Balance deficits in recreational athletes with chronic ankle instability," *J Athl Train*, Vol.42, No.3, pp.367-373, 2007.
- [6] T. A. McLoda, J. M. Stanek, A. J. Hansen, and S. T. McCaw, "A task failure has no effect on the electro mechanical delay of the peroneus longus," *Electromyogr Clin Neurophysiol*, Vol.49, No.2-3, pp.109-115, 2009.
- [7] R. B. 3rd. Johnston RB 3rd, M. E. Howard, P. W. Cawley, and G. M. Losse, "Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance," *Med Sci Sports Exerc*, Vol.30, No.12, pp.1703-1707, 1999.
- [8] J. A. Yaggie and S. J. McGregor, "Effects of isokinetic ankle fatigue on the maintenance of balance and postural limits," *Arch Phys Med Rehabil*, Vol.83, No.2, pp.224-228, 2002.
- [9] S. Rozzi, P. Yuktanandana, and D. Pincivero, "Role of fatigue on proprioception and neuromuscular control. In: Lephart S, Fu F, eds. *Proprioception and Neuromuscular Control in Joint Stability*," Champaign, IL: Human Kinetics, pp.375-393, 2000.
- [10] P. A. Gribble, J. Hertel, and C. R. Denegar, "Chronic ankle instability and fatigue create proximal joint alterations during performance of the Star Excursion Balance Test," *Int J Sports Med*, Vol.29, No.3, pp.236-242, 2007.
- [11] A. Gefen, "Biomechanical analysis of fatigue-related foot injury mechanisms in athletes and recruits during intensive marching," *Med Biol Eng Comput*, Vol.40, No.3, pp.302-310, 2002.
- [12] R. Lidor and G. Ziv, "Physical and physiological attributes of female volleyball players a review," *J Strength Cond Res*, Vol.24, No.7, pp.1963-1973, 2010.
- [13] F. Mohammadi and A. Roozdar, "Effects of fatigue due to contraction of evertor muscles on the ankle joint position sense in male soccer players," *Am J Sports Med*, Vol.38, No.4,

- pp.824-829, 2010.
- [14] J. Nyland, S. Smith, K. Beickman, T. Armsey, and D. N. Caborn, "Frontal plane knee angle affects dynamic postural control strategy during unilateral stance," *Med Sci Sports Exerc*, Vol.34, No.7, pp.1150-1157, 2002.
- [15] M. M. Rodgers, "Dynamic foot biomechanics, J Orthop Sports Phys Ther, Vol.21, No.6, pp.306-316, 1995.
- [16] N. M. Stolwijk, J. Duysens, J. W. Louwerens, and N. L. Keijsers, "Plantar Pressure Changes after Long Distance Walking," *Med Sci Sports Exerc*, Vol.42, No.12, pp.2264-2272, 2010.
- [17] N. Vuillerme, N. Forestier, and V. Nougier, "Attentional demands and postural sway: the effect of the calf muscles fatigue," *Med Sci Sports Exerc*, Vol.34, No.12, pp.1907-1912, 2002.
- [18] M. Bisiaux and P. Moretto, "The effects of fatigue on plantar pressure distribution in walking, *Gait Posture*," Vol.29, No.4, pp.693-699, 2009.
- [19] R. Bizid, E. Margnes, Y. François, J. L. Jully, G. Gonzalez, P. Dupui, and T. Paillard, "Effects of knee and ankle muscle fatigue on postural control in the unipedal stance," *Eur J Appl Physiol*, Vol.106, No.3, pp.375-380, 2009.
- [20] P. A. Gribble and J. Hertel, "Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control," *Arch Phys Med Rehabil*, Vol.85, No.4, pp.589-592, 2004.
- [21] T. W. Kaminski, B. D. Buckley, M. E. Powers, T. J. Hubbard, and C. Ortiz, "Effect of strength and proprioception training on eversion to inversion strength ratios in subjects with unilateral functional ankle instability," *Br J Sports Med*, Vol.37, No.5, pp.410-415, 2003.
- [22] L. Luttamus, O. Korkala, and P. Tanskanen, "Lateral ligament injuries of the ankle," *Surgical treatment of late cases*, *Ann Chir Gynaecol*, Vol.71, No.3, pp.164-167, 1992.
- [23] R. L. Brand, H. M. Black, and J. S. Cox, "The natural history of inadequately treated ankle sprain," *Am J Sports Med*, Vol.5, No.6, pp.248-249, 1997.
- [24] H. F. Riegler, "Reconstruction for lateral instability of the ankle," *J Bone Joint Surg Am*, Vol.66, No.3, pp.336-339, 1984.
- [25] J. R. Cass, B. F. Morrey, Y. Katoh, and E. Y. Chao, "Ankle instability: comparison of primary repair and delayed reconstruction after long-term follow-up study," *Clin Orthop Relat Res*, Vol.198, pp.110-110, 1985.
- [26] S. E. Ross, K. M. Guskiewicz, and B. Yu, "Single-leg jump-landing stabilization times in subjects with functionally unstable ankles," *J Athl Train*, Vol.40, No.4, pp.299-304, 2005.
- [27] S. L. Yniguez, *The effects of fatigue on plantar pressure distribution in subjects with chronic ankle instability after jump landing task*, Masters of Science degree in Exercise Science in the University of Toledo, 2011.
- [28] E. Kellis, "Plantar pressure distribution during bare foot standing, walking and landing in pre school boys," *Gait Posture*, Vol.14, No.2, pp.92-97, 2001.
- [29] J. T. Han and G. Whangbo, "Analysis of plantar foot pressure and pathway of COP depending on inclination of descending ramp," *International Journal of Contents*, Vol.10, No.8, pp.92-97, 2010.
- [30] M. Beaulieu, P. Allard, M. Simoneau, G. Dalleau, F. A. Hazime, and C. H. Rivard, "Relationship between oscillations about the vertical axis and center of pressure displacements in single and double leg upright stance," *Am J Phys Med Rehabil*, Vol.89, No.10,

- pp.809-816, 2010.
- [31] H. S. Zhu, J. J. Wertsch, G. F. Harris, J. D. Loftsgaarden, and M. B. Price, "Foot pressure distribution during walking and shuffling," *Arch Phys Med Rehabil*, Vol.72, No.6, pp.390-397, 1991.
- [32] D. C. Dickin and J. B. Doan, "Postural stability in altered and unaltered sensory environments following fatiguing exercise of lower extremity joints," *Scand J Med Sci Sports*, Vol.18, No.6, pp.765-772, 2009.
- [33] S. Khamis and Z. Yizhar, "Effect of feet hyperpronation on pelvic alignment in a standing position," *Gait & Posture*, Vol.25, No.25, pp.127-134, 2007.
- [34] A. Nagel, F. Fernholz, C. Kibele, and D. Rosenbaum, "Long distance running increases plantar pressures beneath the metatarsal heads: a barefoot walking investigation of 200 marathon runners," *Gait Posture*, Vol.27, No.1, pp.152-155, 2008.
- [35] P. F. Meyer, L. I. Oddsson, and C. J. De Luca, "Reduced plantar sensitivity alters postural responses to lateral perturbations of balance," *Exp Brain Res*, Vol.157, No.4, pp.526-536, 2004.
- [36] C. J. L. Sneyers, R. Lysens, H. Feys, and R. Andries, "Influence of malalignment of feet on the plantar pressure pattern in running," *Foot Ankle Int*, Vol.16, No.10, pp.624-632, 1995.
- [37] M. N. Orlin and T. G. McPoil, "Plantar pressure assessment," *Phys Ther*, Vol.80, No.4, pp.399-409, 2000.
- [38] K. Davids, P. Glazier, and D. Araujo, and R. Bartlett, "Movement systems as dynamical systems: the functional role of variability and its implications for sports medicine," *Sports Med*, Vol.33, No.4, pp.245-260, 2003.
- [39] E. Coventry, K. M. O'Connor, B. A. Hart, J. E. Earl, and K. T. Ebersole, "The effect of lower extremity fatigue on shock attenuation during single-leg landing," *Clin Biomech(Bristol, Avon)*, Vol.21, No.10, pp.1090-1097, 2006.
- [40] J. Augustsson, R. Thomeé, C. Lindén, M. Folkesson, R. Tranberg, and J. Karlsson, "Single-leg hop testing following fatiguing exercise: reliability and biomechanical analysis," *Scand J Med Sci Sports*, Vol.16, No.2, pp.111-120, 2006.
- [41] C. R. Young, "The F-SCAN system of foot pressure analysis," *Clin Podiatr Med Surg*, Vol.10, No.3, pp.455-461, 1993.
- [42] C. N. Brown, B. Bowser, and K. Simpson, "Movement variability during single leg jump landings in individuals with and without chronic ankle instability," *Clin Biomech(Bristol, Avon)*, Vol.27, No.1, pp.52-63, 2011.
- [43] T. Willems, E. Witvrouw, J. Verstuyft, P. Vaes and D. De Clercq, "Proprioception and Muscle Strength in Subjects With a History of Ankle Sprains and Chronic Instability," *J Athl Train*, Vol.37, No.4, pp.487-493, 2002.

저 자 소 개

김 호 성(Ho-Sung Kim)

정희원



- 1995년 2월 : 연세대학교 재활학과(보건학사)
- 2001년 8월 : 경희대학교 스포츠의학과(체육학석사)
- 2005년 3월 : 한국체육대학교 체육학과(이학박사)

▪ 2015년 8월 ~ 현재 : 을지대 물리치료학과 겸임교수
<관심분야> : 도수교정치료, 운동재활 및 운동처방