

평지 보행 시 발 각도 형태에 따른 발바닥 압력 비교 연구

이전형 · 김기철[†] · 국중석¹

대구보건대학교 물리치료과, ¹선린대학교 물리치료과

A Comparative Study of the Plantar Foot Pressure according to the Form of Foot Angle during Level Walking

Jeon-Hyeong Lee · Ki-Chul Kim[†] · Jung-Suk Kuk¹

Department of Physical Therapy, Daegu Health College, ¹Department of Physical Therapy, Sunlin College

Received: May 2, 2014 / Revised: June 12, 2014 / Accepted: June 13, 2014

© 2014 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

| Abstract |

Purpose: The purpose of this study was to examine the influence of foot angles on plantar pressure and the center of pressure (COP) trajectory length during level walking.

Methods: The study subjects were 30 female university students without orthopedic diseases in the foot. The foot angle was divided into three forms (out-toeing, normal, in-toeing). The subjects practiced each type of gait, and then performed each of level walking, three times, and their averages were calculated. A plantar pressure measurement instrument was used, and the maximum force was obtained by dividing the foot into nine regions covering the anterior medial-lateral, middle medial-lateral, and posterior medial-lateral. The COP trajectory length was statistically processed by obtaining medial-lateral, anterior-posterior, and entire travel distance.

Results: During normal walking, the maximum force was significantly higher in the anterior lateral than in the other areas, and the COP trajectory length was significantly shorter in the front-back and entire travel distances ($p < 0.05$). During stair climbing.

Conclusion: Walking at abnormal foot angles does not cause appreciable problems in the short term as pressure is concentrated on a specific plantar part. However, it becomes the cause of deformed foot structures and can result in musculoskeletal disabilities in the long term. Therefore, a kinesiatrics-based intervention is required to maintain normal foot angles.

Key Words: In-toeing, Out toeing, Foot angle

[†]Corresponding Author : Ki-Chul Kim (atlas8588@hanmail.net)

I. 서론

보행은 입각기 안정성을 유지하면서 연속적으로 체간의 앞쪽 움직임과 다리의 교대적 움직임이 동시에 이루어지는 행위를 말하며, 이는 인체의 가장 기본적인 움직임으로 근골격계와 신경계의 상호 작용에 의해서 이루어진다(Neumann, 2002; Perry, 2010). 정상인의 보행은 인체의 복합적인 과정을 거치면서 이루어지는 기능이며, 이러한 보행의 특성을 연구, 분석은 필수적 요소이다(Bohannon, 1987; Bowker et al., 1992).

바른 보행은 건강 증진을 향상시키지만, 바르지 못한 보행은 인체구조의 변형을 초래하여 에너지 소비를 증가시키고, 신체를 불안정하게 하여 잘못된 자세를 계속적으로 유지 시 신체에 상당한 악영향을 끼치게 된다(Jung, 2010). 보행은 발과 지면과의 상호관계의 결과로 발은 체간의 이동시 추진력과 진행 방향을 제공해줄 뿐만 아니라 지면으로 부터의 충격을 흡수하는 역할을 한다(Perry, 2010). 잘못된 보행은 발의 무게를 지탱하는 기능에 이상을 초래하여 근육과 관절에 피로를 유발하고, 장기적인 피로의 증가는 체중 분배의 잘못으로 인한 발 구조 기형의 원인이 되기에 결국 인체의 생리학적, 역학적인 면에서 이러한 불균형은 세부적으로는 인체 모든 관절과 근육에 피로를 주며, 척추와 대뇌까지 전달되는 피로는 장애나 병을 일으키는 직접적인 원인이 되기도 한다(Nigg, 1986).

보행은 신체 이동에 대한 단순한 과정이기도 하지만 개인의 성격과 태도 등을 반영하며, 인간의 다양성을 대변하는 이러한 점으로 보행패턴은 개개인에 따라 차이가 있으며 보행의 형태에 많은 차이를 나타낼 것이며, 사회 특성을 가지게 되는 생활 습관 등의 환경적 요소나 유전적인 요소에서 올 수 있는 골격근의 차이, 개개인의 성격에 기초한 심리학적 특성에 따라 변화한다고 하였다(Moon, 2004).

발각도(foot angle)는 보행에서 진행방향에 대한 발의 위치를 묘사하기 위해 주로 사용되며, 이때 발의 기준선(발뒤꿈치의 정중양과 제 3 중족골을 연결하는 선)과 이동방향과의 각도를 이야기 한다. 일반적으로

보행 시 착지했을 때의 발가락 끝은 진행방향에 대해서 바깥쪽을 향하는데, 인토잉(in-toeing)이나 아웃토잉(out-toeing)은 엉덩관절의 움직임, 정강뼈와과 복사뼈의 뒤틀린 정도, 목말뼈의 발에 대한 발의 상대적인 모음과 벌림과 같은 요인들에 의해서 영향을 받을 수 있다(Broer, 1973). 신체구조상 15°정도가 정상인 되며 이 각도보다 작은 발각도를 인토잉, 큰 발각도를 아웃토잉이라고 한다(Broer, 1973). 한국 신발연구소에 따르면 대다수의 사람은 보통 2~15° 정도 아웃토잉을 갖고 있다고 밝혔으며, 15~20°의 발각도를 지닌 사람은 약 7.5%, 20~25°의 발각도를 지닌 사람이 약 1% 정도라고 말하고 있다. 또한, 정상 각도인 0~15°의 발각도를 지닌 사람은 46% 정도를 차지하고 있다고 한다(Min, 1991).

발각도와 관련된 연구에서 보행의 속도가 빨라질수록 발각도는 작아지고, 반대로 주행 시는 속도가 빨라질수록 발 각도가 커진다고 하였고(Kenedi, 1973), 발가락이 정상보다 안으로 또는 밖으로 향하는 경우 신체를 앞으로 추진하기 위한 힘이 한쪽 또는 바깥쪽으로 분산되는 경향으로 정상보다 비효율적 보행이 된다고 하였다(Broer, 1973). 뿐만 아니라 발각도가 큰 아웃토잉은 추진력을 대각선 방향으로 생기게 하여 지렛대의 길이를 짧게 만들어 나쁜자세를 유발할 수 있으며(Clarke, 1980), 발의 피로와 상해 및 변형의 가능성이 크게 되며, 가해지는 힘마저 커서 보행과 관련된 근육과 골격계에 상대적 피로가 많이 쌓이게 되어 상해의 가능성도 커진다고 하였다(Kang, 1994).

발바닥 압력은 발전체와 발의 특정부위에 가해지는 압력으로 인체의 균형정도와 보행상태를 측정하고 반영하는 하나의 지표이다(Dowling et al., 2001; Jahss, 1982). 발바닥 압력 분포의 측정은 임상적으로 유용하며, 해부학적 발의 변형을 인지하고 보행 장애와 감퇴의 진단과 치료를 알 수 있게 한다(Na et al., 2012). 발바닥 압력 측정방법에는 힘판, 압력판, 그리고 신발 내 삽입형 발바닥 압력 측정 방법이 대표적이다. 그러나, 힘판이나 압력판을 이용한 발바닥 압력 측정은 발의 각 부위별 압력을 측정하는데 한계가 있으며,

발바닥 압력에 대한 다양한 정보를 제시하지 못하는 단점이 있으나 신발 내 삽입형 발바닥 압력 측정 방법은 발바닥 압력 변화에 대한 정보 획득에 유용하게 평가되고 있으며(Roh et al., 2001), 현재 F-scan system, Pedar system, Parotec system이 사용되고 있다.

기존연구들에서 연령대별, 질환별로 평지와 계단에서의 발바닥 압력 연구와 발 각도에 따른 평지에서 의 운동 역학적 분석은 많이 이루어지고 있으나, 보행 시 발 각도 형태에 따른 발바닥 압력을 비교하는 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 발바닥 압력을 관찰 할 수 있는 F-scan을 이용해서 인토잉, 아웃토잉, 정상 발 각도에 따른 발바닥 압력과 압력중심이동거리를 비교 연구하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

연구대상자는 대구광역시 ○○대학교에 재학 중인 대학생 중 여자학생 30명을 대상으로 선별하였다. 대상자 선정 기준은 발에 정형외과적 질환이 없는 자, 발이나 하지에 개방성 상처 및 질환이 없는 자를 대상으로 하였으며, 실험에 앞서 참가자들에게 본 연구의 목적을 설명하고 실험참여에 대한 동의를 얻었다.

본 연구에 참여한 대상자의 일반적 특성으로는 평균 연령 21.15±1.28세, 평균 발 사이즈 235.25±5.12mm, 평균 신장은 158.45±5.25cm, 체중은 평균 45.27±5.30kg으로 나타났다(Table 1).

Table 1. General characteristics of study subjects

Variable	Subjects(n=30)
Age (yrs)	21.15±1.28
foot length(cm)	235.25±5.12
Height (cm)	158.45±5.25
Weight (kg)	45.27±5.30

Values are Mean±SD

2. 측정방법 및 도구

1) 측정 방법

평 보행 시 세 가지 발각도 형태(in-toeing, normal, out-toeing)에 따른 발바닥 압력을 측정하였다.

측정에 앞서 각 발각도 형태에 따라 1분간의 보행 연습을 한 후, 30초 동안 휴식을 하였다. 최대한 자연스러운 보행을 측정하기 위해 처음 5보를 제외한 이후부터 좌우 양측을 합하여 10보가 될 때 까지 측정하였다. 평지에서 인토잉, 정상, 아웃토잉 형태의 보행을 모든 대상자들에게 총 3회 견도록 하여 평균값을 사용하였고, 보행의 형태는 무작위로 선정을 하였다.

2) 측정 도구

발바닥 압력과 압력중심이동 거리 측정하기 위해 발바닥압력측정기구(F-scan, Tekscan Inc, USA)을 이용하였다. 발바닥 압력을 측정하도록 재단이 가능한 압력 탐색자, 다리에 부착할 수 있는 변환 장치, 변환 장치와 컴퓨터를 연결하는 케이블, 족저압 분석을 위한 소프트웨어와 컴퓨터로 구성되어 있다. 960개의 압력 감지점이 0.2inch 간격의 격자 형식으로 균일하게 분포되어 있는 두께가 0.18mm인 얇고 잘 구부러지지 않는 압력 탐색자를 연구 대상자의 발 크기에 잘라서 장착한다. 신호의 입력은 허리에 착용한 컴퓨터 인터페이스를 통해 10m 길이의 케이블과 연결된 컴퓨터로 전달된다. 보행 시 신발 크기에 맞게 자른 센서를 양측 신발 내에 삽입을 하고 견도록 하였으며, 압력 분포는 Tekscan의 상용 프로그램을 이용하여 60 frame/sec로 자료를 수집하였고, Tekscan Pressure Measurement System Version 5.23을 이용하여 발바닥의 영역을 전 내·외측, 중 내·외측, 후 내·외측 6개의 구역으로 나누어 압력 값을 구하였고, 압력 중심의 이동거리는 전·후, 좌·우, 전체 이동거리로 나누어 분석 하였다(Randolph et al., 2000)(Fig 1, 2).

3. 자료분석

자료의 통계 처리는 SPSS 12.0 for window version을 이용하였다. 평지에서 보행 시 발각도 형태에 따른 발



Fig. 1. Plantar foot pressure measurement

바닥 압력 및 압력의 중심 이동 거리를 비교하기 위해 일원배치분산분석(one way ANOVA)을 실시하였고, 사후검증으로 LSD (Least Significant Difference)를 사용하였다. 통계학적 유의수준 α 는 0.05로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. 평지보행에서 발바닥 압력 비교

정상 보행에서의 최대힘은 전외측에서 유의한 차이

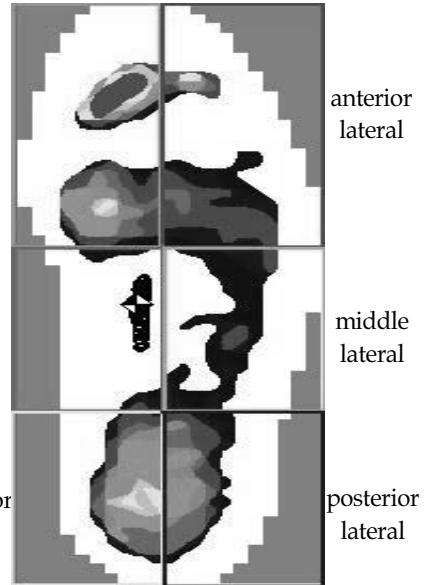


Fig. 2. Six division of plantar foot region

를 보였고($p < 0.05$), 전내측, 중간외측, 중간내측, 후외측, 후내측에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 전체측 압력에 대한 사후검정 결과 아웃토잉과 인토잉 보행에서 유의한 차이가 나타났다($p < 0.05$) (Table 2).

2. 평지보행에서 중심 이동거리 비교

평지보행에서 중심이동거리에서는 전후와 전체 이동거리에서 유의한 차이를 보였고($p < 0.05$), 좌우 이동거리에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 전

Table 2. Comparison of peak force on the plains

(Unit: kPa)

Plains	Anterior		Middle		Posterior	
	Medial	Lateral	Medial	Lateral	Medial	Lateral
Normal	11.30±1.15	12.63±1.31	4.44±0.97	8.18±1.62	10.06±0.98	9.59±0.89
Out-toeing	11.99±2.50	15.47±2.21	5.11±0.98	6.36±1.33	11.97±0.96	10.54±1.11
In-toeing	11.52±1.11	8.59±1.26	3.45±0.72	7.41±1.36	9.99±1.15	8.73±0.86
F	0.04	4.38*c	0.86	0.4	1.18	0.89

Values are Mean±SD

* $p < 0.05$

a significant difference between normal and out-toeing

b significant difference between normal and in-toeing

c significant difference between out-toeing and in-toeing

Table 3. Comparison of COP on the plains

(Unit: cm)

	AP	ML	Total
Normal	15.31±0.38	2.34±0.21	15.52±0.38
Out-toeing	15.65±0.31	2.18±0.14	15.81±0.32
In-toeing	14.20±0.34	1.99±0.17	14.37±0.33
F	4.64*bc	0.93	4.68*bc

Values are Mean±SD

*p<0.05, AP : Anterior Posterior, ML : Medial Lateral

a significant difference between normal and out-toeing

b significant difference between normal and in-toeing

c significant difference between out-toeing and in-toeing

후와 전체 이동거리에 대한 사후검정 결과 모두에서 정상과 인토잉, 아웃토잉과 인토잉 보행에서 유의한 차이가 나타났다(p<0.05)(Table 3).

IV. 고 찰

보행 중 발각도의 형태는 입각기 동안의 하지의 내적 또는 외적 회전의 정도를 나타내주며 엉덩관절 움직임은 정강뼈와 복사뼈의 뒤틀린 정도, 그리고 하지의 구조적 비정상적인 상태 등에 영향을 받으며 (Rodgers, 1988), 이는 보행 시 소비되는 에너지 효율과 연관이 있다고 보고되었다(Jung, 2004). 발각도 형태에 따른 발바닥 압력 측정에 관한 기존 논문에서는 보행 시 인토잉, 정상, 아웃토잉 보행으로 구분하여 보행 중 발바닥 압력 비율, 평균 발바닥 압력, 접촉면적과 동적요인 중 발바닥 압력 비율, 접촉면적, 접촉시간 요인을 비교분석하여 가장 효율적인 걷기동작을 밝히는데 그 목적이 있었다면 본 논문에서는 보행 시 발각도 형태에 따라 인토잉, 정상, 아웃토잉으로 구분하여 동적인 보행에서의 발바닥 최대힘과 중심이동거리를 비교 분석하는데 목적을 두었다.

본 연구에서는 평지 보행에서의 최대힘은 전외측에서 유의한 차이를 보였고, 사후검정 결과 아웃토잉과 인토잉 보행에서 유의한 차이가 나타났는데, 아웃토잉의 전외측과 후외측이 가장 높은 힘을 받고 있었

으며, 중심이동거리에서는 전후와 전체 이동거리에서 유의한 차이를 보였고, 사후검정 결과 전후와 전체 이동거리에서 정상과 인토잉, 아웃토잉과 인토잉 보행에서 유의한 차이가 나타났다.

Kang(1993)은 평지에서의 정상 보행은 앞 가쪽, 뒤 안쪽, 뒤 가쪽이 서로 고르게 나타났으며, 아웃토잉에서는 앞가쪽, 뒤안쪽이 크게 나타났다. Jung(2010)은 전족부와 후족부로 나누어 분석을 하였는데, 전족부와 후족부에서 유의한 차이를 보였는데, 특히 전족부와 후족부 모두에서 아웃토잉이 가장 높은 발바닥 압력을 보였다. 뿐만 아니라 Han 등(2008)은 평지보행, 계단, 경사 오르기 동안 발바닥 압력을 조사하였는데, 평지와 비교해서 계단 보행 시 4,5번째 발가락, 4,5번째 중족골두의 압력이 증가하였고, 중족부, 후족부가 감소한 양상을 보였다. Rao와 Carter(2012)는 계단 오르기 시 발의 앞 안쪽, 앞 가쪽 모두 높게 나타나는 양상을 보여 두 연구 모두에서 발의 전외측에 압력이 증가한 양상이 본 연구와 유사하였다. 뿐만 아니라 Han 등(2008)의 연구에서 압력중심 이동거리에서 평지보행과 비교해서 계단보행은 전후와 전체 길이가 감소한 양상을 보여, 본 연구에서 평지와 비교했을 때와 유사한 양상을 보였다.

기존 연구에서처럼 본 연구에서도 아웃토잉에 높은 압력의 증가를 보였고, 압력이동거리에서는 정상 보행과 비교해서 아웃토잉과 인토잉 모두가 전후, 내외, 전체 이동거리가 변화된 양상을 보였다. 이는 아웃

토잉 보행을 하게 된다면 외측 압력의 지속적 증가로 인해 근골격계 질환을 유발할 수 있는 원인을 제공할 것이며, 인토잉과 아웃토잉 보행의 지속적 사용은 중심이동거리 변화로 인해 균형을 잡기 위해 더 많은 에너지를 사용하게 될 것이라고 생각되어진다.

기존 연구에서는 단순히 평지에서 보행시 발각도 형태에 따른 발의 압력의 면적 변화를 보았지만 본 연구에서는 동적인 보행에서의 발의 최대 압력 변화 값과 압력중심이동거리를 측정하였기 때문에 기존 연구와는 차별화됨이 있다. 평지와 계단 비교한 기존 연구와 비교해서 발의 전외측에 압력이 증가한 양상과 후족부에 압력이 감소한 양상에서 유사함을 보였다. 이는 압력이 국소적으로 치우친 양상을 볼 수 있고, 중심이동거리에서도 짧아진 양상을 통해 체중을 지지하는 시간 및 부위의 국한됨으로 인해 균형을 위해 더 많은 에너지가 소비된다는 것을 나타내는 것이며, 균등한 체중분배가 되지 않아 낙상의 위험을 초래할 수 있는 원인이 제공될 것이라고 사료된다.

결론적으로, 이러한 발각도의 차이는 본 연구를 통하여 보행 시 발바닥 압력과 압력중심이동거리에 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있었으며, 비정상적인 발각도로 인해 발의 특정부위에 압력이 집중 되는 것은 발의 기형과 신체적인 장애를 초래 할 수 있다. 또한 안굽이 힘 및 밖굽이 힘에 상당한 영향을 미치게 되며(Perry, 2010), 신체를 앞으로 보내는 힘을 분산시키고(Broer, 1973), 특히 보행과 같이 지속적으로 시행되는 동작에서의 과도한 압력은 신체의 보호 작용을 파괴할 가능성이 매우 높기 때문에(Kang, 1993), 정상적인 발각도를 유지하기 위한 지속적 훈련이 요구되어야 할 것이며, 비정상 보행에 따른 발바닥 압력과 압력 중심이동거리에 대한 기초적인 자료를 제공하는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

또한 발각도 형태의 정도가 관련된 근육 및 근골격계에 어떠한 영향을 미치는지를 좀 더 확실히 알기 위해서는 발각도 형태뿐만 아니라 하지의 관절각도 및 근육에 관련된 운동학적, 운동역학적 변인과의 관계도 규명되어야 할 것이며 이와 관련된 운동적 중

재를 통해 변화된 양상도 앞으로 연구되어야 할 과제로 여겨지며, 이 연구의 제한점은 보행에 있어 대상자마다 평상시 보행 속도를 선택하였지만 보행의 습관에 따라서도 특성이 달라질 수 있을 것으로 사료되어 추후 연구에서는 시간적 통제도 같이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 평지 보행 시 발각도 형태가 발바닥 압력과 압력중심이동거리에 어떠한 영향을 미치는지 비교 분석하는데 목적이 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해 발에 정형외과적 질환이 없는 정상적인 여성 30명을 대상으로, F-scan을 이용하여 평지와 계단에서 발각도 형태에 따른 발바닥 압력과 압력중심이동거리를 비교 분석하였다.

평지 보행에서는 정상보행과 비교해서 아웃토잉과 인토잉의 전외측 최대힘이 증가한 양상을 보였고, 압력 중심 이동거리의 변화도 보였다. 평지보행에서는 인토잉과 아웃토잉 보행이 외측으로의 최대힘이 증가한 양상을 보여 장기적인 이러한 양상의 보행은 근골격계 질환을 유발할 수도 있으며, 압력이동거리에서도 변화가 있어 적절한 입각기를 유지하지 못하여 더 많은 에너지가 소비되어 근피로로 인한 낙상의 위험도 초래될 가능성도 있을 것으로 사료된다. 비정상적인 발각도 형태에 따른 보행은 발바닥의 특정부위에 압력이 집중되어 단기간 동안에는 큰 문제를 야기하지 않지만, 발의 구조를 기형으로 만드는 원인이 되어, 장기적으로는 근골격계 장애를 야기시킬 수 있으므로, 정상적인 발각도를 유지하기 위한 운동치료적 중재가 요구되어야 될 것이다.

참고문헌

Bohannon RW. Gait performance of hemiparetic stroke patients:

- selected variables. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 1987;68(11):777-781.
- Bowker P, Messenger N, Ogilvie C, et al. Energetics of paraplegic walking. *Journal of biomedical engineering*. 1992;14(4): 344-350.
- Broer MR. Comparison of gait in five-to-seven-year old children. *Journal of Human Movement Studies*. 1973;22: 101-111.
- Broer MR. Efficiency of human movement. Philadelphia. W.B. Saunders. 1973.
- Clarke TE. The pressure distribution under the foot during barefoot walking. The Pennsylvania State University. Dissertation of Doctorate Degree. 1980.
- Dowling AM, Steele JR, Baur LA. Does obesity influence foot structure and plantar pressure patterns in prepubescent children? *International Journal of Obesity*. 2001;25(6): 845-852.
- Han JT. Analysis of gait characteristics during stairs and ramp ascent in elderly people. Daegu University. Dissertation of Doctorate Degree. 2008.
- Han JT, Kim K, Lim SG. Comparison of plantar foot pressure and shift of COP among level walking, stairs and slope climbing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*. 2008;18(4):59-65.
- Jahss MH Disorder of the foot, 2 Vol. Philadelphia. W.B. Saunders. 1982.
- Jung BC. Kinetic analysis of walking toe angle in walking. Inje University. Dissertation of Master's Degree. 2004.
- Jung SY. The comparative analysis of the foot pressure by walking toe angle shape in walking. Kyungshung University. Dissertation of Master's Degree. 2010.
- Kang GR. The study of Pressure disreibution of foot with degree of foot angle. Ewha Univerisity. Dissertation of Master's Degree. 1994.
- Kang KY. The study of pressure distribution of foot with degree of foot angle. Ewha Woman's University. Dissertation of Master's Degree. 1993.
- Kenedi RM. Perspectives in biomedical engineering. London. MacMillan. 1973.
- McFadyen BJ, Winter DA. An integrated biomechanical analysis of normal stair ascent and descent. *Journal of Biomechanics*. 1988;21(9):733-744.
- Min BK. The study and development of scrap leather regeneration. Gyeonggi-do. The Ministry of Science and Technology. 1991.
- Moon GS. The kinematic analysis of the ankle joint and EMG analysis of the Lower Limbs muscle for the different walking speed. *Korean journal of sport biomechanics*. 2005;15(1):177-195.
- Na HS, Her JG, Ko TS, et al. The effects of manual therapy and stretching on middle aged female balance and center of pressure. *Hanyang University Journal of Aging Society*. 2012;3(1):17-31.
- Neuman DA. Kinsiology of the musculoskeletal system: Foundations for physical rehabilitation. Philadelphia. Mosby. 2002.
- Nigg B. M. Biomechanics of running shoes. IL. Human kinetic publishers. 1986.
- Perry J. Gait analysis: normal and pathological function, 2nd ed. New Jersey. SLACK. 2010.
- Randolph AL, Nelson M, Akkapeddi S, et al. Reliability of measurements of pressures applied on the foot during walking by a computerized insole sensor system. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2000;81(5):573-578.
- Rao S, Carter S. Regional plantar pressure during walking, stair ascent and descent. *Gait and Posture*. 2012;36(2):265-270.
- Rodgers MM. Dynamic biomechanics of the normal foot and ankle During walking and running. *Physical Therapy*. 1988;68(12):1822-1830.
- Roh JS, Kim TH. Reliability of plantar pressure measures using the parotec system. *Journal of the Korean Academy of University Trained Physical Therapists*.

2001;8(3):35-41.
Roy MS. Serious stair injuries can be prevented by improved

stair design. *Applied Ergonomics*. 2001;32(2): 135-139.