

## 신발 굽 높이와 근피로가 젊은 여성의 정적 및 동적 균형에 미치는 영향

김유진<sup>1</sup>, 구정완<sup>2</sup>, 오덕원<sup>3</sup>

<sup>1</sup>강남세브란스병원 물리치료실, <sup>2</sup>가톨릭대학교 서울성모병원 직업환경의학과, <sup>3</sup>청주대학교 보건의료대학 물리치료학과

### Influence of Shoe Heel Height and Muscle Fatigue on Static and Dynamic Balance in Healthy Young Women

Yu-jin Kim<sup>1</sup>, MPH, PT, Jung-wan Koo<sup>2</sup>, PhD, MD, Duck-won Oh<sup>3</sup>, PhD, PT

<sup>1</sup>Physical Therapy Section, Gangnam Severance Hospital,

<sup>2</sup>Dept. of Occupational and Environmental Medicine, Seoul St. Mary's Hospital, Catholic University,

<sup>3</sup>Dept. of Physical Therapy, College of Health Science, Cheongju University

#### Abstract

This study aimed to investigate the influence of shoe heel height and muscle fatigue on static and dynamic balance in young women. Thirty women who were used to wearing high heels volunteered to participate in this study. The shoe heel heights were 0 cm and 7 cm. And ankle plantar flexor fatigue was experimentally induced. Static and dynamic balance were measured using the one leg standing test (OLST) and the star excursion balance test (SEBT) in anterior, posteromedial, and posterolateral directions, respectively. Values in the OLST (shoe heel height 0 cm, 28.83±3.24 sec to 26.12±6.13 sec; and 7 cm, 24.75±7.09 sec to 16.86±9.32 sec) and the SEBT in anterior (shoe heel height 0 cm, 71.02±4.57% to 69.50±3.66%; and 7 cm, 64.17±3.53% to 59.61±4.06%) and posteromedial (shoe heel height 0 cm, 92.01±5.61% to 90.38±7.10%; and 7 cm, 83.09±7.29% to 76.83±9.28%) directions were significantly reduced when fatigue-inducing exercise was performed ( $p<.05$ ). Furthermore, within these parameters, there were significant interaction effects between shoe heel height and fatigue condition ( $p<.05$ ). These findings suggest that shoe heel height and muscle fatigue contribute to some changes in static and dynamic balance in young women, probably leading to negative effects on physical function during a variety of activities of daily living.

**Key words:** Balance; Muscle fatigue; Shoe heel height.

#### I. 서론

여성들의 사회활동이 증가되면서 미적 욕구를 충족하기 위한 수단으로 여성들은 하이힐 착용을 선호하고 있으며, 일상생활 중에 하이힐을 신고 생활하고 있다. 하이힐이 발과 발목 관절에 문제를 일으키고 다리 근육의 불균형을 초래할 수 있지만, 대부분의 여성들은 하이힐 착용의 부작용에 대해서는 심각하게 고민하지 않

고 있는 것처럼 보인다(Franklin 등, 1995). 일반적으로, 뒤굽이 높은 하이힐을 신고 서 있거나 보행하는 경우, 발과 발목 관절뿐만 아니라 하지 및 몸통 등 신체 전반적으로 역학적인 변화가 일어나 이에 적응하기 위한 신체 반응으로 균형 조절 기전 또한 변화된다. 이러한 변화로 인하여 다양한 활동을 수행하는 동안 균형을 유지하는 능력은 감소되고, 낙상 위험성 및 근골격계 상해 가능성은 증가된다(Lee 등, 2001).

Corresponding author: Jung-wan Koo ddackbul@hanmail.net

뒤굽이 높은 하이힐의 착용은 발과 발목관절에 대한 균형 역치를 가중시켜 서 있는 동안 전반적인 신체 균형을 유지하기 위해 머리의 위치가 뒤로 이동하거나, 요추의 만곡 수준이 변하거나, 혹은 엉덩관절(hip joint)과 무릎관절(knee joint)을 굽히는 등 다양한 자세 일탈(postural deviation)을 유발할 수 있다(Gefen 등, 2002). 하이힐의 뒤굽 높이가 높아질수록 체중 압력은 발의 앞부분으로 집중되면서 움직임 동안 지면으로부터 주어지는 지면 반발력을 증가시킬 수 있으므로, 이에 따라 발과 발목 관절의 연부조직들이 영향 받게 되고 주변 근육들의 수축 능력이 변화되어 발목 관절을 더욱 불안정하게 만들 수 있다(Simonsen 등, 2012). 또한 하이힐 착용은 고유감각 정보를 수용하고 전달하는 능력을 저하시키고 구심성 되먹임(afferent feedback) 체계를 손상시켜 균형 유지를 위한 신경근 조절에 부정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Gribble 등, 2004).

정적 혹은 동적인 상황에서 안정적으로 균형을 유지하는 능력은 다양한 일상적인 활동을 수행하는 동안 기능적 수행도를 향상시키기 위한 선행 조건이다(Vuillerme 등, 2002). 신체의 균형 상태를 적절히 유지하기 위해서는 원하는 움직임을 수행하는 동안 안정성을 확보할 수 있도록 충분한 힘을 발생시킬 수 있어야 한다. 그러나 발목관절의 주변의 근육들이 안정성을 확보할 수 있을 만큼 충분한 힘을 생산할 수 없다면, 관절은 불안정해지고 자세 동요가 증가하여 균형 유지 능력은 감소하게 된다(Yaggie와 McGregor, 2002). 하이힐 착용으로 인한 발과 발목의 불안정성에 적응하기 위하여 주변의 근육들은 지속적으로 수축과 이완을 반복하게 되므로, 하이힐의 착용은 다양한 움직임을 수행하는 동안 발과 발목관절 주변 근육들에 대한 근피로 수준을 높일 수 있는 중요한 기여요인으로 고려된다(Oh 등, 2010). 근피로도의 증가는 발목관절의 안정성 감소시켜 균형 능력을 저하시키고, 종종 발목관절 상해의 주요인이 된다(Gefen 등, 2002). 근피로는 고강도 운동을 수행하거나 장기간의 활동을 수행할 때 일시적으로 근육의 수축 능력이 감소되는 현상으로(Allen과 Westerblad, 2001), 근력 및 움직임 조절을 유지하기 어렵게 만들며, 관절 움직임과 위치에 대한 정보를 수용하고 처리하는 고유수용감각 전달체계를 손상시키는 요인이다(Lephart 등, 2000). 근피로는 신경근 조절 기전의 효율성을 감소시켜 선 자세를 유지하거나 균형을 조절하는 능력에 부정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Mello 등, 2007).

일반적으로, 하이힐은 발목의 불안정성을 증가시키기 때문에(Simonsen 등, 2012; Yaggie와 McGregor, 2002) 다양한 근골격계 문제를 초래할 뿐만 아니라 균형 기능 및 자세 유지 능력을 감소시키는 기여 요인으로 설명되고 있다(Franklin 등, 1995). 이러한 이유로 하이힐과 관련된 신체적인 영향에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있다(Gerber 등, 2012; Lee 등, 2001; Oh 등, 2010; Ryu, 2010; Simonsen 등, 2012). 그러나 하이힐 착용으로 인해 나타나는 발목 불안정성과 자세동요에 적응하기 위한 발목 주변 근육들의 지속적인 수축이 근피로를 유발하고 균형 능력을 저해할 수 있는 잠재적인 요인이 될 수 있음에도(Oh 등, 2010), 하이힐 착용과 관련된 근피로의 영향에 대한 연구는 전무한 실정이다. 이에 본 연구는 신발 뒤굽의 높이와 근피로가 정적 균형 및 동적 균형에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 시행되었다. 본 연구의 가설은 하이힐의 뒤굽 높이가 높을수록, 근피로가 증가할수록 정적 균형 및 동적 균형은 감소할 것이라고 설정하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

본 연구의 대상자는 연구의 내용을 이해하고 적극적으로 참여 할 것을 동의한 20대 여성 30명을 대상으로 시행되었다. 연구대상자들의 나이는  $22.9 \pm 1.5$ 세였으며, 신장은  $160.5 \pm 4.1$  cm, 체중은  $49.4 \pm 4.6$  kg, 다리길이는  $81.8 \pm 3.5$  cm이었다. 최근 1년 동안 1주일에 3일 이상 그리고 하루 4시간 이상 하이힐을 신고 생활하고 있는 사람(Snow와 Williams, 1994), 발목에 신경학적 혹은 정형 외과적 문제가 없는 사람, 6개월 이전 동안 발목에 상해를 경험하지 않았던 사람을 연구대상에 포함시켰으며, 현재 신체적인 불편감이 있거나 통증을 호소하는 사람, 임신한 사람, 정신과적 문제가 있는 사람은 연구에서 제외시켰다. 본 연구를 시행하기 전 모든 대상자들에게 전체적인 실험 절차와 안전성에 대해 설명하였으며, 모든 대상자들은 문서화된 실험 참가 동의서에 서명하였다.

### 2. 연구 절차

가. 근피로 유발 운동 방법

본 연구에서는 하지의 근 피로 상태를 유발하기 위하여 Gefen 등(2002)의 연구에서 발목 관절에 적용한 '피로검사(fatigue test)' 방법을 사용하였다. 이 방법은 수의수축(voluntary contraction)과 부하수축(forced contraction)으로 구성되었다. 수의수축은 양발이 닿지 않은 높이의 의자에 앉은 상태에서 우세측 발의 발등쪽 굽힘(dorsiflexion)과 발바닥쪽굽힘(plantar flexion)을 40회 반복하는 것으로 시행되었다. 수의수축을 시행한 후 부하수축을 이어서 수행하였다. 부하수축을 위하여 대상자들에게 무릎관절의 펴 자세를 유지한 채 우세발로 한 발 서기 자세를 취하도록 요구하였다. 신체 균형을 유지할 수 있도록 주변 구조물에 대한 비우세측 손의 가벼운 접촉은 허용되었다. 한 발 서기 자세에서 발목 관절을 발바닥굽힘(plantar flexion)하여 최대한 발뒤꿈치를 높이 들어 올리도록 하였으며, 1초 동안 유지한 후 다시 발뒤꿈치를 내리는 동작을 40회 반복하였다.

#### 나. 연구 절차

환경적인 영향을 배제하기 위하여 모든 측정은 소음이 없는 측정실에서 시행되었다. 하이힐 착용의 영향을 알아보기 위하여 모든 측정은 0 cm (맨발)과 7 cm 뒤굽 조건에서 시행되었다. 뒤굽 조건의 적용과 정적 균형 및 동적 균형 측정의 순서는 무작위로 결정되었다. 무작위 결정을 위하여 1번과 2번이 쓰여 있는 카드와 봉인된 봉투를 준비하였으며, 피로 운동 전과 후의 조건에서 각각 대상자들이 봉투에서 카드를 뽑도록 하였다. 하이힐은 대상자의 발 크기에 적합하게 제공되었으며, 하이힐 뒤굽의 지면 접촉면적은 약 1 cm<sup>2</sup> 였다. 측정으로 인한 오류를 피하기 위하여 모든 측정은 본 연구와

관련되어 있지 않은 사람에 의해 시행되었으며, 반복된 측정에 따른 영향을 배제하기 위하여 측정 간 1분의 휴식을 취하였다.

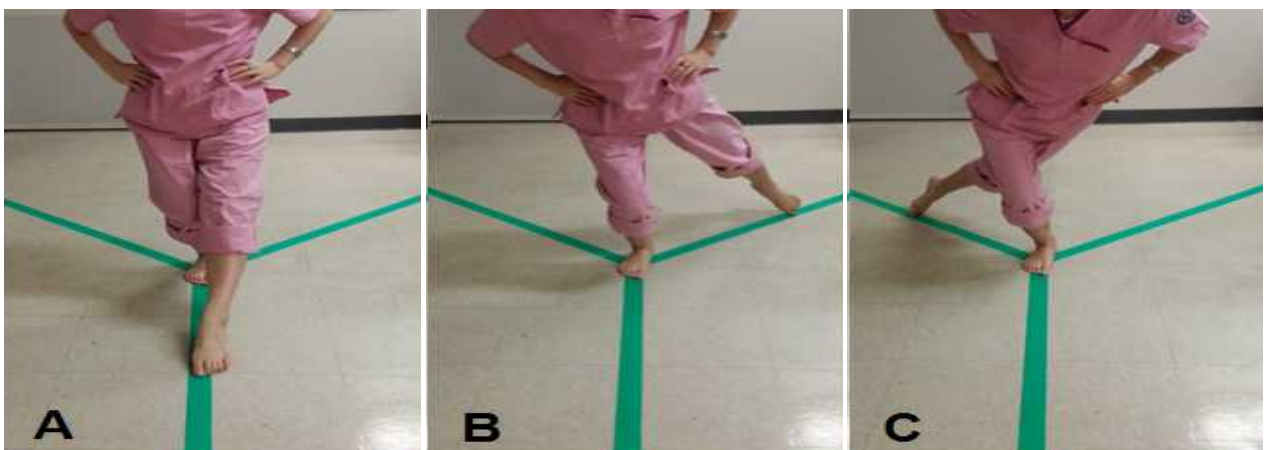
### 3. 측정 도구 및 측정 방법

#### 가. 정적 균형 평가

정적 균형은 one leg standing test(OLST)를 사용하여 평가되었다(Bohannon, 1982). 이 측정 방법을 시행하기 위해 똑바로 선 자세에서 팔짱을 낀 상태로 '시작'이라는 말과 동시에 우세발로 서고, 반대쪽 발의 엉덩관절(hip joint)과 무릎관절(knee joint)을 90°로 들도록 하였다. 몸통이 흔들려 올랐던 다리가 다시 땅에 닿거나 땅을 지지하고 있는 발이 원래의 위치에서 이동한 경우 측정을 종료하였고, 디지털 초시계(KK-5898, AST, Fujian, Hong Kong)를 사용하여 종료 시까지의 시간을 측정값으로 기록하였다. 1분의 측정 간격을 두고 3회 반복 측정한 후 그 평균값을 분석에 이용하였다. 대상자의 우세발은 공을 차는 발로 지정하였다(Rahnama 등, 2010).

#### 나. 동적 균형 평가

동적 균형을 측정하기 위하여 star excursion balance test(SEBT)를 사용하였다. SEBT는 서있는 자세에서의 고유 수용성 감각, 관절 가동 범위, 근력 수준을 예측하는데 도움이 된다(Gribble 등, 2004). SEBT는 대상자가 한 다리로 체중을 지탱하면서 반대편 다리를 8개 방향으로 뻗을 때 그 거리를 측정하여 균형 능력을 평가 하는 검사이다. 이 검사를 수행하는 동안 움직임



**Figure 1.** Star excursion balance test (A: anterior direction, B: posteromedial direction, C: posterolateral direction).

**Table 1.** Results of ANOVA analysis for the values of static and dynamic balance ability with and without fatigue

Source	Type III sums of squares	df	Mean square	F	p
<b>OLST<sup>a</sup></b>					
Shoe heel height	1333.80	1	1333.80	21.040	<.001
Fatigue	841.80	1	841.80	28.804	<.001
Fatigue × shoe heel height	200.86	1	200.86	6.873	.011
<b>SEBT-A<sup>b</sup></b>					
Shoe heel height	2100.20	1	2100.20	125.542	<.001
Fatigue	277.37	1	277.37	18.575	<.001
Fatigue × shoe heel height	69.34	1	69.34	4.644	.035
<b>SEBT-PM<sup>c</sup></b>					
Shoe heel height	3785.75	1	3785.75	51.796	<.001
Fatigue	466.14	1	466.14	12.438	.001
Fatigue × shoe heel height	160.66	1	160.66	4.287	.043
<b>SEBT-PL<sup>d</sup></b>					
Shoe heel height	4730.10	1	4730.10	51.504	<.001
Fatigue	39.19	1	39.19	1.503	.225
Fatigue × shoe heel height	4.83	1	4.83	.185	.668

<sup>a</sup>one leg standing, <sup>b</sup>star excursion balance test in anterior direction, <sup>c</sup>posteromedial direction, <sup>d</sup>posterolateral direction.

및 균형 축이 신체의 기저면에서 유지될 수 있도록 몸통과 체중지지 다리의 근육과 신경의 조절이 효율적으로 이루어져야 한다(Earl과 Hertel, 2001). SEBT 검사는 연구 목적 및 임상적 사용을 위하여 적용되고 있으며, 특히 만성적 발목 불안증을 가진 사람들의 동적 균형 유지 능력을 측정하는 도구로, 매우 신뢰성과 타당성이 높은 검사로 알려져 있다(Gribble 등, 2004). Gribble 등(2004)은 SEBT를 시행하기 위하여 45° 간격으로 8개 방향(앞측, 앞외측, 외측, 뒤외측, 뒤측, 뒤내측, 내측, 앞내측)으로 선을 그려놓은 후, 연구대상자들이 그 중앙에 우세측 다리로 선 상태에서 비우세측 발로 각 방향의 선을 따라서 최대한 뻗도록 하였고, 중심으로부터 뻗은 다리의 엄지발가락 끝부분까지의 거리를 측정하였다. 그러나 본 연구에서는 8 방향을 모두 측정함으로써 생기는 시간의 소비, 실험 대상자들의 육체적 피로 등의 힘든 노력과 불필요한 정보들을 피하고자 전통적인 방법보다는 앞측(anterior; A), 뒤내측(posteriorlateral; PL) 방향을 적용하여 SEBT를 시행하였다(Hertel, 2008). 원활한 측정을 위하여 바닥에 너비 3 인치의 테이프를 이용하

여 3개 방향을 표시하였다(Figure 1). 대상자에게 측정 절차에 대한 설명을 하였고, 시행 방법에 대한 시범을 보인 후 SEBT를 시행하였다. 측정을 수행하는 동안 측정자는 대상자들에게 선을 따라서 다리를 뻗도록 지시하였고, 뻗은 다리로 체중을 지탱하지 않도록 바닥에 대한 가벼운 접촉만을 허용하였으며, 또한 가능한 멀리 다리를 뻗도록 요구하였다.중심으로부터 다리를 뻗은 끝 지점까지의 거리를 cm로 측정하였다. 1분의 측정 간격을 두고 3회 반복 측정한 후 그 평균값을 구하였다. 측정값은 각 대상자의 다리 길이에 대한 백분율(%)로 계산되었다(Gribble 등, 2004). 대상자의 다리길이는 넓다리뼈(femur)의 위앞엉덩뼈가시(anterior superior iliac spine)에서 안쪽복사(medial malleolus)까지의 거리로 측정되었다(Beattie 등, 1990).

### 3. 분석 방법

모든 측정값들에 대한 통계 분석은 윈도우용 SPSS ver. 12.0 프로그램을 이용하여 시행되었으며, 측정값은 평균과 표준편차로 제시되었다. 0 cm와 7 cm 뒤굽 조건과 근피로 조건에 따른 효과를 비교하기 위하여 반복측

정 이원 분산분석(two-way repeated ANOVA)을 시행하였으며, 이를 통해 뒤굽 조건과 근피로 조건에서 나타나는 주효과와 두 조건사이의 교호작용을 알아보았다. 통계학적 유의성 검증을 위해 유의 수준은  $\alpha=.05$ 로 하였다.

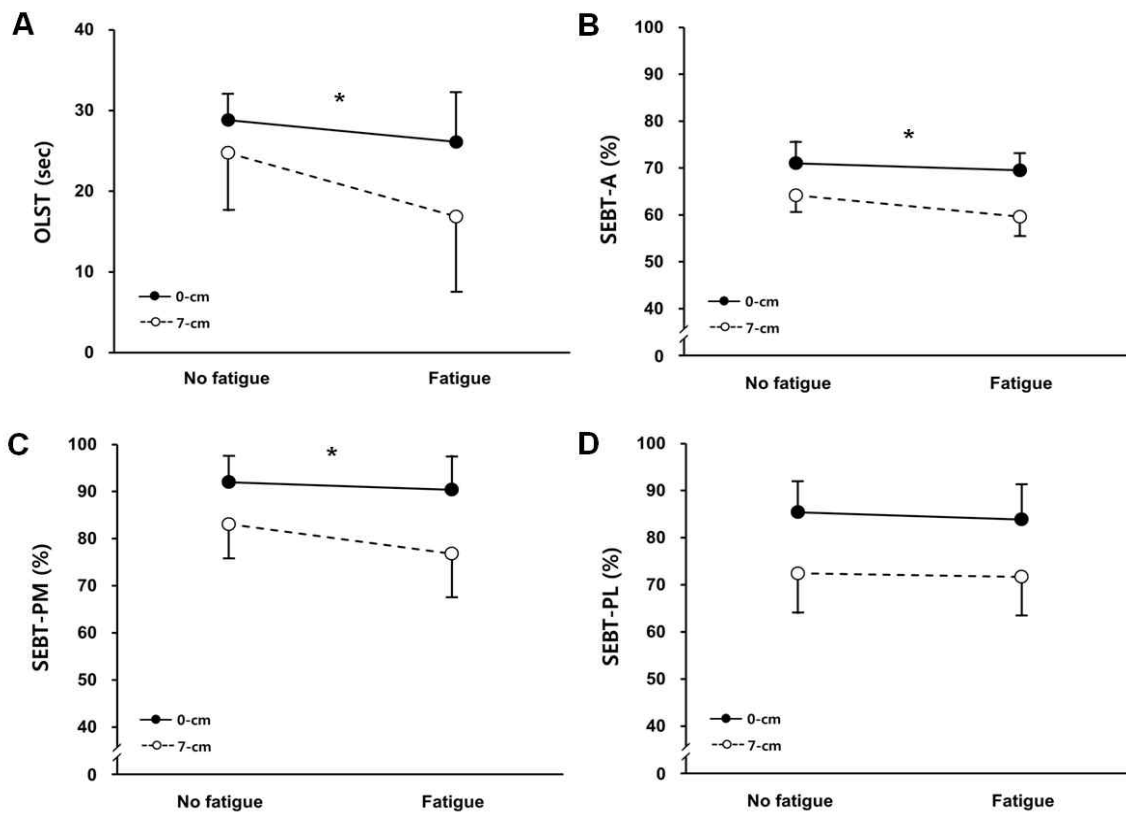
### III. 결과

Figure 2와 Table 1은 신발 뒤굽 조건과 근피로 조건에 따른 OLST와 SEBT 측정값들의 비교를 보여주는 것이다. 피로 유발 전 0 cm 뒤굽 조건에서 OLST, SEBT-A, SEBT-PM, SEBT-PL 측정값은 각각  $28.83\pm 3.24$ 초,  $71.02\pm 4.57\%$ ,  $92.01\pm 5.61\%$ ,  $85.42\pm 6.59\%$ 였으며, 7 cm 뒤굽 조건에서는 각각  $24.75\pm 7.09$ 초,  $64.17\pm 3.53\%$ ,  $83.09\pm 7.29\%$ ,  $72.46\pm 8.36\%$ 였다. 피로 유발 후 0 cm 뒤굽 조건에서 OLST, SEBT-A, SEBT-PM,

SEBT-PL 측정값은 각각  $26.12\pm 6.13$ 초,  $69.50\pm 3.66\%$ ,  $90.38\pm 7.10\%$ ,  $83.87\pm 7.44\%$ 였으며, 7 cm 뒤굽 조건에서는 각각  $16.86\pm 9.32$ 초,  $59.61\pm 4.06\%$ ,  $76.83\pm 9.28\%$ ,  $71.72\pm 8.19\%$ 였다. OLST, SEBT-A, 그리고 SEBT-PM에서 뒤굽 높이 조건과 피로 조건 사이에 유의한 교호작용이 있는 것으로 나타났다( $p<.05$ ). 또한 뒤굽 높이 조건에서 유의한 주효과는 OLST, SEBT-A, SEBT-PM, 그리고 SEBT-PL에서 나타났으며( $p<.05$ ), 피로 조건에서의 유의한 주효과는 OLST, SEBT-A, 그리고 SEBT-PM에서 나타났다( $p<.05$ ).

### IV. 고찰

선 자세를 유지하거나 보행하는 동안, 발은 기본적인 움직임 기능을 수행할 수 있어야 할 뿐만 아니라 환경



**Figure 2.** Comparison of the values of static and dynamic balance ability with and without fatigue [A: one-leg standing test (OLST), B: star excursion balance test in anterior direction (SEBT-A), C: SEBT-PM (SEBT in posteromedial direction), D: SEBT-PL (SEBT in posterolateral direction)]. Whiskers indicates the standard deviation. The asterisk indicates that there is a significant interaction between the intervention and bridging factors ( $*p<.05$ ).

적 적응 한계 내에서 외부에서 주어지는 역학적인 불균형을 충분히 조절할 수 있어야 한다(Gerber 등, 2012). 뒤굽이 높은 하이힐을 착용하면, 발에 주어지는 역학적 불균형이 증가하여 발의 적응성이 감소되며, 신체적인 적응이 이루어진다고 하더라도, 뼈, 근육, 인대 구조에 과부하를 초래하게 되므로 머리와 척추 및 하지 관절들의 위치가 변화되면서 전반적인 자세 변위(postural deviation)가 발생한다(Gefen 등, 2002). 이는 신체의 균형 유지를 위한 신경근 조절 기전을 변화시키는 중요한 요인이 된다. 본 연구의 목적은 균형 기능에 대한 하이힐 착용과 발바닥쪽굽힘근(plantar flexor) 피로의 영향을 알아보는 것이었으며, 본 연구의 결과는 하이힐을 착용하였을 때 그리고 근피로가 유발되었을 때 정적 및 동적 균형 기능이 감소되는 것으로 나타났다.

본 연구는 대상자들의 균형 기능을 평가하기 위하여 OLST와 SEBT를 사용하였다. 두 평가 방법의 특성 상한 다리를 이용한 체중지지는 필수적으로 수행될 수 있어야 한다. 신체의 흔들림이 작은 경우, 선 자세로 균형을 유지하는 데 있어서 발목의 움직임 조절은 매우 중요한 요소이다(Lee 등, 1996). 특히, 한 다리만으로 체중을 지탱하여 자세를 유지하거나 특정 움직임을 수행하는 경우, 발목의 움직임을 조절하여 균형 상태를 유지하는 것은 더욱 도전적인 과제가 된다. 높은 뒤굽의 신발을 착용하는 것이 발목의 불안정성을 증가시키기 때문에(Simonsen 등, 2012; Yaggie와 McGregor, 2002) 하이힐 착용에 대한 균형 능력을 평가하는데 OLST와 SEBT가 적합하게 사용될 수 있을 것으로 여겨져 본 연구에 포함되었다.

본 연구에서 OLST, SEBT-A, SEBT-PM의 측정값은 하이힐을 착용하였을 때, 그리고 피로가 유발되었을 때 유의하게 낮아지는 것으로 나타났으며, 또한 발바닥쪽굽힘근의 피로로 인해 나타나는 균형 능력의 감소가 하이힐을 신었을 때 더욱 커지는 것으로 나타났다. 인체의 무게중심이 발목 관절의 앞쪽으로 지나가기 때문에 신체 동요 없이 정적인 자세를 유지할 경우 발바닥쪽굽힘근의 반복적인 원심성(eccentric)-구심성(concentric) 조절은 균형 유지에 대단히 중요하다(Lee 등, 1996). 그러나 뒤굽이 높은 하이힐은 발목 관절에서 발바닥굽힘을 증가시키고 체중 지지점을 앞쪽으로 변위시키기 때문에 균형 및 보행 효율성을 유지하기 위한 근육 작용 또한 변화된다(Oh 등, 2010). 즉, 하이힐을 신고 선 자세를 유지할 경우 발바닥굽힘된 상태에서 자

세를 유지하기 위하여 발바닥쪽굽힘근이 활성도는 증가되며, 반대로 발등쪽굽힘근(dorsiflexor)의 활성도는 감소된다(Son 등, 2007). 뒤굽이 높은 하이힐을 착용함으로써 종아리근(gastrocnemius)과 가자미근(soleus)의 길이가 단축되는 위치에 놓이게 되므로 이로 인해 근육의 길이-장력 관계가 변화되고 근 수축력이 감소되어 자세 동요에 대한 반응과 중력중심(center of mass)을 조절하는데 필요한 힘을 발생시키는 능력은 제한되므로, 이에 대한 보상 작용의 결과로 발바닥쪽굽힘근의 활성도 증가될 수 있다. 이러한 이유로 하이힐을 신을 경우, 시상면(sagittal plane) 및 관상면(coronary plane)에서의 신체 움직임이 증가하고 무게중심의 흔들림이 많이 나타나는 것으로 보고되고 있다(Gefen 등, 2002; Gimmon 등, 2011; Hoch 등, 2011). 이는 발과 발목 주변 근육들의 지속인 수축을 유발하여 근피로도를 증가시키는 기여 요인일 수 있다. 본 연구의 결과는 신발 뒤굽의 높이가 높을수록 균형 조절 능력을 감소된다고 보고한 Lord와 Bashford(1996)와 Oh 등(2010)의 연구 결과와 유사한 것이다.

본 연구의 결과는 발바닥쪽굽힘근의 피로가 균형 능력을 저하시키는 요인으로 작용하는 것으로 나타났다. 발바닥쪽굽힘근에서 증가된 피로도는 발목 관절 주변의 근육 불균형을 초래하게 되어 발과 발목의 안정성을 악화시키며, 전반적인 근골격계 문제를 초래하는 요인이 될 수 있다(Gefen 등, 2002; Lee 등, 2001). 또한 근피로는 말초 부위의 고유감각 정보를 변화시키고 고유감각의 중추 처리과정을 지연시키는 중요한 요인으로 작용한다(Sharpe와 Miles, 1993). 발바닥쪽굽힘근의 피로는 발목 관절의 위치감각을 변화시키고, 구심성 정보의 유입에 대한 근육의 수축 반응을 감소시키며, 결과적으로 자세 흔들림을 가중시키고 균형 능력을 감소시켜 움직임 오류를 초래한다(Vuillerme 등, 2002; Gimmon 등, 2011). 본 연구 결과에서 나타난 것처럼, 근피로에 의한 균형 능력 저하는 하이힐을 착용할 때 더욱 분명히 발생하는데, 이는 근피로가 발과 발목의 안정성에 기여하는 근육들의 수축 및 조절 능력을 감소시키기 때문에(Gimmon 등, 2011) 하이힐의 착용으로 인해 발생하는 발목 불안정성에 적절히 적응하지 못하는 데서 비롯된 것으로 여겨질 수 있다. 특히, 이러한 현상은 OLST와 SEBT처럼 한 발로 체중을 지탱하여야 하는 경우에 더욱 두드러지게 나타날 수 있다(Yaggie와 McGregor, 2002). 그러므로 하이힐을 신을 경우, 감소된 균형 능력

을 보완하고 조절하기 위하여 더 많은 주의집중이 필요하게 된다(Vuillermé 등, 2001; Yaggie와 McGregor, 2002). 이는 낙상을 일으킬 수 있는 중요한 요인일 수 있다(Vuillermé 등, 2002).

본 연구에서 SEBT-PL의 측정값은 신발 뒤굽 높이에 영향을 받는 것으로 나타났지만, 근피로에는 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 하이힐의 착용이 종아리근의 길이를 단축시키기 때문에, 근수축에 의해 발생된 능동적인 긴장도는 일관적으로 나타나지 않으며, 또한 종아리근의 안쪽과 가쪽 부분은 발바닥쪽굽힘근의 피로에 대해 다르게 반응한다(Grefen 등, 2002). 근피로가 발생하였을 시 종아리근(gastrocnemius)은 안쪽과 가쪽 부분의 근육 활성화도에 불균형이 발생한다. 이러한 불균형은 발에서 나타나는 압력중심(center of pressure)을 비정상적으로 가쪽으로 이동(lateral shift)시킨다. 이로 인해 아킬레스건을 통해 발꿈치뼈(calcanus)로 전달되는 종아리근의 힘에서 편위가 발생되면서, 발과 발목 관절에서는 안쪽번짐(inversion) 모멘트가 형성된다(Gefen 등, 2002). 특히, 장딴지근과 긴종아리근(peroneus longus)의 피로는 발목 관절의 안쪽번짐 경향을 더 크게 만들면서 불안정성은 더욱 증대된다(Gefen 등, 2002). 이러한 경향은 발목관절을 안정적으로 조절하기 어렵게 만들므로 SEBT-A와 SEBT-PM을 수행하는 동안 균형을 유지하기 어렵게 만드는 요인이 될 수 있을 것이다. 그러나 SEBT-PL은 체중을 지탱하고 있는 다리의 가쪽 방향으로 반대편 다리를 뺀 동작을 포함하고 있고, 이러한 동작이 체중지지 발목의 안쪽번짐 경향을 중립 위치로 유지하는 데 도움이 되어 발목 관절의 안정성 유지하기 위한 근육들의 노력을 비교적 덜 요구할 것이므로, 근피로가 유발되었다고 하더라도 이에 대한 영향은 크지 않을 것이다. 이러한 결과는 만성 발목 불안정성을 가진 사람들을 대상으로 SEBT를 측정하였을 때 SEBT-PM이 두드러지게 불안정하였던 반면 SEBT-PL에서는 발목 불안정성이 없는 사람들과 차이 나지 않았던 것으로 나타난 Hertel 등(2006)의 연구 결과에 의해 설명될 수 있다.

본 연구는 연구 결과를 해석하는 데 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째, 건강한 젊은 여성을 대상으로 하였기 때문에 다른 연령대 혹은 신체적인 문제를 가지고 있는 대상자들에게 본 연구의 결과를 일반화시켜 해석하기에는 제한이 따른다. 둘째, 근피로 유발과 균형 평가를 시행함에 있어서 근전도 혹은 균형 측정 장비와

같은 정량적인 방법이 아닌 시각적인 판단을 근거로 한 임상적인 방법들을 사용하였기 때문에 측정의 정확도와 타당도는 다소 부족할 수 있으며, 또한 본 연구의 결과를 통해 근육 작용, 감각피로, 혹은 고유감각과 같이 균형 능력에 영향을 미칠 수 있는 정량적인 정보를 예측하여 판단하기는 어려울 것이다. 셋째, 본 연구에서 사용된 근피로 유발 방법에 대한 영향이 각 개인별로 다르게 나타날 수 있지만 본 연구에서는 이를 고려하지 않았다. 넷째, 하이힐에 익숙한 대상자들만을 연구에 포함시켰기 때문에 하이힐을 신지 않은 사람들에 대한 실험결과는 본 연구의 결과와 차이날 수 있을 것이다. 그러므로 향후에는 이러한 측면을 보완하여 다양한 연령대의 대상자를 포함시키고 정량적인 측정 장비를 사용한 연구들이 지속적으로 이어져야 할 것이다.

## V. 결론

일상생활에서 자주 발생하는 낙상이나 보행 시의 사고를 예방하고 적절한 자세를 유지하는데 균형 조절 능력은 매우 중요하다. 일반적으로 하이힐은 전반적인 신체 정렬상태의 변화 및 발과 발목의 불안정성을 유발하며, 이러한 불안정성은 균형 조절 기전에 영향을 미쳐 발목 근육들의 활성도를 증가시키고 근피로를 유발하는 데 기여하는 것으로 알려져 있다. 본 연구는 건강한 20대 여성 30명을 대상으로 발목 근육들의 근피로를 유발한 후 하이힐 착용하여, 착용 전과 후에 정적 및 동적 균형이 어떻게 변화되는 지를 알아보는 것이었다. 본 연구의 결과는 하이힐을 착용하였을 때 그리고 근피로가 유발되었을 때 정적 및 동적 균형 능력이 감소되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 하이힐 착용의 부정적인 측면을 설명하는 것으로 이해될 수 있으며, 하이힐 착용이 균형 능력을 저하시켜 낙상 위험성과 근골격계 상해의 가능성을 증가시키는데 기여할 수 있다는 것을 의미한다. 본 연구는 근피로 및 균형 능력과 관련된 하이힐의 영향에 대해 설명하는 것으로, 이와 관련된 향후 연구를 위한 유용한 정보로 사용될 수 있을 것이다.

## References

Allen DG, Westerblad H. Role of phosphate and cal-

- cium stores in muscle fatigue. *J Physiol.* 2001; 536(Pt3):657-665.
- Beattie P, Isaacson K, Riddle DL, et al. Validity of derived measurements of leg-length differences obtained by use of a tape measure. *Phys Ther.* 1990;70(3):150-157.
- Bohannon RW. Cinematographic analysis of the passive straight-leg-raising test for hamstring muscle length. *Phys Ther.* 1982;62(9):1269-1274.
- Earl J, Hertel J. Lower-extremity muscle activation during the star excursion balance tests. *J Sport Rehabil.* 2001;10(2):93-104.
- Franklin ME, Chenier TC, Brauning L, et al. Effect of positive heel inclination on posture. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1995;21(2):94-99.
- Gefen A, Megido-Ravid M, Itzchak Y, et al. Analysis of muscular fatigue and foot stability during high-heeled gait. *Gait Posture.* 2002;15(1):56-63.
- Gerber SB, Costa RV, Grecco LA, et al. Interference of high-heeled shoes in static balance among young women. *Hum Mov Sci.* 2012;31(5):1247-1252.
- Gimmon Y, Riemer R, Oddsson L, et al. The effect of plantar flexor muscle fatigue on postural control. *J Electromyogr Kinesiol.* 2011;21(6):922-928.
- Gribble PA, Hertel J, Denegar CR, et al. The effects of fatigue and chronic ankle instability on dynamic postural control. *J Athl Train.* 2004;39(4):321-329.
- Hertel J, Braham RA, Hale SA, et al. Simplifying the star excursion balance test: Analyses of subjects with and without chronic ankle instability. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2006;36(3):131-137.
- Hertel J. Sensorimotor deficits with ankle sprains and chronic ankle instability. *Clin Sports Med.* 2008;27(3):353-370.
- Hoch MC, Staton GS, McKeon PO. Dorsiflexion range of motion significantly influences dynamic balance. *J Sci Med Sport.* 2011;14(1):90-92.
- Lee CM, Jeong EH, Freivalds A. Biomechanical effects of wearing high-heeled shoes. *Int J Ind Ergon.* 2001;28(6):321-326.
- Lee HS, Choi HS, Kwon OY. A literature review on balance control factors. *Phys Ther Kor.* 1996;3(3):82-91.
- Lephart SM, Fu FH. Proprioception and neuromuscular control in joint stability. Champaign, IL, Human Kinetics, 2000;375-383.
- Lord SR, Bashford GM. Shoe characteristics and balance in older women. *J Am Geriatr Soc.* 1996; 44(4):429-433.
- Oh DW, Chon SC, Shim JH. Effect of shoe heel height on standing balance and muscle activation of ankle joint. *J Ergon Soc Korea.* 2010;29(5):789-795.
- Rahnama L, Salavati M, Akhbari B, et al. Attentional demands and postural control in athletes with and without functional ankle instability. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2010;40(3):180-187.
- Mello RG, Oliveira LF, Nadal J. Anticipation mechanism in body sway control and effect of muscle fatigue. *J Electromyogr Kinesiol.* 2007;17(6):739-746.
- Ryu JS. Effects of high-heeled shoe with different height on the balance during standing and walking. *Kor J Sports Biomech.* 2010;20(4):479-486.
- Sharpe MH, Miles TS. Position sense at the elbow after fatiguing contractions. *Exp Brain Res.* 1993;94(1):179-182.
- Simonsen EB, Svendsen MB, Nørreslet A, et al. Walking on high heels changes muscle activity and the dynamics of human walking significantly. *J Appl Biomech.* 2012;28(1):20-28.
- Snow RE, Williams KR. High heeled shoes: Their effect on center of mass position, posture, three-dimensional kinematics, rearfoot motion, and ground reaction forces. *Arch Phys Med Rehabil.* 1994;75(5):568-576.
- Son JS, Choi HS, Hwang SJ, et al. Changes of muscle length and roll-over characteristics during high-heel walking. *J Korean Soc Precis Eng.* 2007;24(12):29-35.



Vuillerme N, Forestier N, Nougier V. Attentional demands and postural sway: The effect of the calf muscles fatigue. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(12):1907-1912.

Vuillerme N, Nougier V, Prieur JM. Can vision compensate for a lower limbs muscular fatigue for controlling posture in humans? *Neurosci Lett.* 2001;308(2):103-106.

Yaggie JA, McGregor SJ. Effects of isokinetic ankle

fatigue on the maintenance of balance and postural limits. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83(2):224-228.

---

---

This article was received July 10, 2013, was reviewed July 10, 2013, and was accepted September 5, 2013.