

보행 시 편평족에서 외적 무게 부하에 따른 족저압의 변화

장종성·박지원¹·김중선²

영남이공대학 물리치료과, ¹대구가톨릭대학교 의료과학대학 물리치료학과,
²대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

The Changes of Plantar Foot Pressure by External Loads during Walking in Flatfoot

Jong-sung Chang, PT, PhD, Ji-won Park, PT, PhD¹, Chung-sun Kim, PT, PhD²

Department of Physical Therapy, Yeungnam College of Science & Technology

¹*Department of Physical therapy, College of Medical Science, Catholic University of Daegu*

²*Department of Physical therapy, College of Rehabilitation Science, Daegu University*

<Abstract>

Purpose : The study was designed to investigate the changes of plantar foot pressure by different loads during walking in flatfoot.

Methods : Fifteen subjects with flatfoot were recruited along with their written informed consent. They were asked to walk on plate at a self-selected and comfortable speed with loads of 0, 5, 10, and 15kg. Three walking trials were obtained and then averaged for data analysis. Foot pressure were measured from RS-Scan system (RS-Scan system, RS scan Ltd., German) and contact area, maximum force were analyzed.

Results : There were significant increases on midfoot and decreases on forefoot in contact area. And there were significant increases in maximum force of foot pressure of 2nd metatarsal bone and midfoot.

Conclusion : These findings revealed that flatfoot increases risk factors of metatarsal bone with different loads. Therefore, patients of flatfoot must be careful during walking with loads or activities of daily living.

Key Words : Flatfoot, Foot pressure, Gait, Loads

I. 서 론

발과 발목은 체중의 지지와 보행에 있어서 중요

한 기능을 한다. 즉 인간에게 발의 기능적인 구조는 두 발로 이동을 하기 위해 적응되어 있고, 발의 정렬은 서기와 보행에 결정적인 역할을 하게 된다. 또

한 유일하게 지면과 닿아 있는 부분으로 바닥의 형태에 따라 적응하고, 지면반발력에 의해서 추진력을 제공해 주며 거골하 움직임(subtalar movement)에 의해서 체중 부하에 중요한 역할을 한다(Wang과 Crompton, 2004). 그러나 인간이 보행을 하게 됨에 따라 과도한 스트레스와 부하가 발에 축적이 되고, 문명의 발달에 의한 딱딱하고, 편편한 지면은 오히려 정상적인 발에 부담을 주는 요인으로 작용하게 되며 발의 손상의 원인이 될 수 있다(Magee, 2008). 따라서 발과 하지의 정상적인 자세 정렬과 발의 안정성이나 건강은 우리의 몸과 보행을 통한 일상생활을 수행하는데 직접적으로 영향을 미치게 된다.

그러나 거골하 관절과 내측 종족궁의 비정상적인 기능에 의해 발의 정상적인 역학이 손상되게 되면 과도한 회내(excessive pronation, hyperpronation) 즉, 편평족(Flat foot, pes planus)이 발생한다(Khamis와 Yizhar, 2007). 편평족은 진행성이나 후천성으로 나타나는 변형으로 정상적인 발에 비하여 족궁이 낮아지는 구조적인 변화로 거골이 발바닥 쪽 내측으로 회전, 내측 족궁의 높이가 낮아지고, 전족부의 회외와 외전이 발생한다(Arangio 등, 2004). 일반적으로 인구의 약 1~20% 정도에서 편평족이 나타나며 정확한 원인은 아직 밝혀 지지 않았으나 유전적인 요인과 후천적인 요인, 마비, 사고나 비만 등에 의해서 나타날 수 있다(Dunn 등, 2004). 또한 편평족은 보행 주기 중 입각기의 초기 25%에 생기는 회내가 과도하게 발생하는 것을 의미하게 되고, 발의 회외근의 과도한 긴장, 과도한 내재근의 사용에 의해 발이 피로하고 종족궁의 긴장이 더욱 증가하게 되어서 입각기 초기의 탄성에너지를 저장하고 배출하는 능력이 저하된다. 또한 중간 입각기에서 회내가 발생하게 되면 종족부의 가동성이 최대로 증가하게 되어 내측 종족궁의 안정성을 더욱 떨어뜨리게 되며, 편평족이 더 심해 질 수 있다(Arangio 등, 2004).

한편 보행에서 부하는 걸음의 횟수, 양 발 지지 시간의 증가와 보장을 감소시키고 에너지 소비를 증가 시킬 뿐만 아니라 지면반발력이나 하지 관절의 반발력이 증가하게 된다(Abe 등, 2008; Hong 등, 2008). 이는 부하의 종류나 방향에 따라 신체 중심

과 발에 전해지는 압력의 분포를 변화시켜 피로 골절을 일으키고, 근 활성도 및 자세 정렬에 영향을 주어 비정상적인 보행을 일으키고 요통과 같은 근육통도 유발하게 된다(이상열과 배성수, 2009; Hong 등, 2008). 또한 가방과 같은 부하에 의해서 발생하는 아동의 근 피로는 하지에서는 자세 조절과 균형의 손상을 야기시키고(Chow 등, 2006), 체간이나 상지에서는 승모근과 요부 근육의 근육통이나 어깨의 통증이 발생 한다(Chow 등, 2005).

편평족에 관련된 선행연구들을 살펴보면, 선천성 편평족이나 후천성 편평족을 대상으로 하여 보행 분석이나 발 보조기, 수술, 테이핑 등을 이용한 치료를 적용 후 분석 하는 것 등의 연구와 편평족을 일으키는 원인에 대한 근전도 연구도 많이 진행되어 왔다. 그러나 부하를 제공하는 것과 같은 동적인 활동에 의해 신체에 가해지는 충격량이 커지게 되는 것이 신체에 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 이 연구에서는 외적 무게 부하를 제공한 보행 시에 편평족을 가진 대상자의 족저압을 비교하여 편평족에 의한 신체 손상의 위험 요소를 확인하여 예방하기 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상자들은 측방 방사선 검사에서 거골-중족골 각(talo-first metatarsal angle)이 4° 이상으로 방사선 검사에서 편평족으로 진단을 받고, 이학적 검사(주상골 하강 검사, navicular drop test)를 통하여 편평족으로 분류된 20대 성인 15명을 대상으로 선정하였고, 보행에 영향을 주는 외과적 수술이나 신경학적 병력이 없으며 독립적인 기립 유지와 보행이 가능한 자를 대상으로 하였다. 또한 신체질량지수(body mass index, BMI)가 18.5에서 23사이의 정상 체중을 가진 대상으로 하였다. 모든 대상자는 실험에 참가하기 전 연구 목적과 방법에 대하여 충분히 이해하고 참여하겠다는 자발적 동의를 작성한 환자를 대상으로 하였다.

2. 실험 방법

1) 실험 도구

(1) 주상골 하강 검사

편평족을 구분하기 위해서 본 연구에 사용된 주상골 하강 검사는 부하가 가해지는 동안의 시상면상의 변화를 나타내는 것으로 Brody(1982)의 연구에 의해서 소개되었고, 주상골의 높이를 평가하는데 있어서 신뢰도(interclass correlation coefficients (ICC) >0.94)를 가지고(Cote 등, 2005; Vicenzino 등, 2000), 측정자 내, 측정자 간의 신뢰도에서도 0.83과 0.73으로 높은 신뢰도를 가진다(Sell 등, 1994). 이 측정법은 휴식 상태와 자연스러운 서기 자세에서의 주상골의 결절의 높이 차이를 이용해서 평가하는 것이다. 연구 대상자는 무릎을 90° 굴곡한 상태에서 바닥에 양 발을 가지런히 놓으며, 체중을 부하하지 않도록 한다. 그 다음 체중을 완전히 지지하는 서는 자세를 취한 다음 바닥에서부터의 주상골의 높이를 측정하고 측정 후 앉은 자세와 선 자세에서의 차이 값이 주상골 하강이 된다. 측정을 하는 동안 측정자 내의 변동성을 최소한으로 하기 위해서 모든 검사는 동일한 측정자에 의해서 시행하였다. 편평족은 주상골 결절의 높이 차가 10mm 이상이면 편평족으로 분류하였다.

(2) 족저압

본 연구에서 편평족 환자의 무게 부하의 크기에 따른 족저 압력 차이를 알아보기 위하여, 보행 시 입각기 동안 가해지는 족저 압력을 측정하는 2m 길이의 Plate형태인 RS-scan system(RS-scan system, RS scan Ltd., German)을 사용하였다. RS-scan system은 2m의 Plate 위를 보행하는 동안 보행의 분석과 영역별 최고 압력, 최고 힘 그리고 체중 이동 경로를 분석하는 장비이다. 지면에 접촉하는 발의 면적을 전·중·후축부로 구분하여 전체 면적에 대한 비율을 이용하였다. 족저 영역은 10개(T1(Toe 1), T2-5(Toe 2-5), M1(Metatarsal 1), M2(Metatarsal 2), M3(Metatarsal 3), M4(Metatarsal 4), M5(Metatarsal 5), MF(Midfoot), HM(Heel medial), HL(Heel lateral))로 나누어져 있으며, 각각의 영역은 다음 그림과 같다

(Figure 1). 보행 시 압력 분포는 RS-scan system의 상용 프로그램인 Footscan 7 gait 2nd generation을 이용하여 126 frame/sec로 자료를 수집하였다.

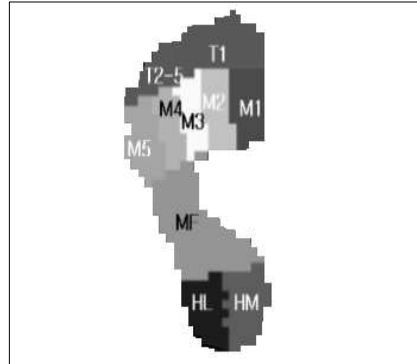


Fig 1. 10 areas of foot pressure

2) 실험절차

정확한 족저 압력을 측정하기 위해 보행 시작 전 대상자의 체중을 측정하여 프로그램에 입력하고, RS-scan system 압력 측정판 위에서 움직임 없이 양 발로 서도록 하여 각 대상자의 체중을 보정하였다. 모든 대상자들은 실험실에 익숙하도록 5분간 보행 연습을 한 후, 일반적인 보행과 무게 부하를 제공한 보행에서는 평상시의 자연스러운 보행을 하도록 지시하였다. 그리고 대상자에게 제공되는 무게 부하의 방법은 0, 5, 10, 15kg의 무게를 체간의 전후에 주어지게 되며 제공되는 무게 부하의 순서는 무작위로 하였다. 보행 검사는 대상자의 편안한 보행을 위해서 압력 측정판과 같은 높이로 지면을 편편하게 만들어 여러 번 보행을 반복하였다. 2m의 족저 압력 판 위를 통과할 때 자료 처리를 위해 좌우의 족저 압력의 평균 값을 측정하였다. 각각의 조건에서 측정은 3회 실시하여 평균값을 사용하였다.

3. 자료분석

수집된 자료는 평균 및 표준 오차로 제시하였고, SPSS 12.0을 이용하여 통계 처리하였다. 무게 부하의 조건에 따른 편평족의 족저압을 비교하기 위해서 반복측정(repeated measure)을 이용하였으며, 모

든 통계학적 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

연구대상자들의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 1). 본 연구에 참여한 대상자는 15명으로 남자 8명, 여자 7명, 평균 나이는 24.45세이고, 키는 169.21cm,

Table 1. Characteristics of subjects

Variable	(Mean±SE) Subjects
Number of individuals(Male / female)	8 / 7
Age(years)	24.45±3.31
Height(cm)	169.21±2.71
Body weight(kg)	62.45±6.31
Body mass index(kg/m ²)	21.86±3.35
Navicular drop(mm)	13.32±1.04

몸무게는 62.45kg, 신체질량지수는 21.86이었다. 주상골 하강 검사 결과 평균 13.32mm로 편평족으로 나타났다.

2. 무게 부하의 크기에 따른 접촉 면적의 비교

지면에 접촉하는 발의 면적을 전·중·후족부로 구분하여 전체 면적에 대한 비율을 나타낸다. 무게 부하에 따라 평발군의 전족부에서는 접촉 면적의 유의한 감소, 중족부에서는 유의한 증가가 나타났으며 ($p < .05$), 후족부에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 2)($p > .05$).

3. 무게 부하의 크기에 따른 각 영역별 최고 힘값의 비교

보행 주기 동안 지면과 접촉하였을 때 지면과 닿아 있는 전 구간의 영역별 최고 힘값을 나타낸다. 무게 부하에 따라 평발군은 Metatarsal 2, Midfoot

Table 2. Comparison of proportion of contact area with different loads

	0	5	10	15	F	p
Fore foot	54.69±4.08	53.71±3.45	53.93±4.14	52.23±3.64	6.72	.00*
Mid foot	24.32±5.29	25.42±4.41	25.17±4.94	26.82±3.85	5.59	.00*
Hind foot	20.99±2.20	20.86±1.89	20.88±2.02	20.95±2.22	.68	.98

* $p < .05$

Table 3. Correlation of maximum force of each contact area with different loads

	0	5	10	15	F	p
Toe 1	10.15±4.63	11.37±2.90	11.24±4.61	10.85±3.90	1.02	.40
Toe 2-5	4.58±2.31	4.87±1.92	4.73±2.05	4.86±2.02	.29	.84
Meta 1	8.62±3.82	8.44±2.13	9.17±2.64	9.46±3.92	.63	.60
Meta 2	13.06±3.69	14.22±4.22	15.34±4.20	14.76±4.41	4.05	.01*
Meta 3	14.40±5.30	14.16±5.19	15.75±6.66	16.01±6.49	2.62	.06
Meta 4	10.24±3.19	10.66±5.49	11.30±4.50	12.17±5.07	2.36	.08
Meta 5	5.71±1.57	6.35±3.57	6.49±2.83	7.43±3.62	2.74	.06
Mid foot	4.80±1.53	5.49±1.48	5.62±1.14	6.13±2.29	3.31	.04*
Heel med.	13.56±4.49	14.17±4.29	14.19±4.25	14.93±5.21	1.58	.21
Heel lat.	12.65±3.59	13.25±4.07	12.65±3.64	13.12±4.51	.74	.53

* $p < .05$

영역에서 유의한 증가가 나타났으며($p < .05$), 그 외의 영역에서는 유의한 차이가 나타나지 않았으나(Table 3) ($p > .05$), 무게 부하에 따라 Metatarsal 부분과 Midfoot 영역에서 최고 힘값의 증가가 나타났다.

IV. 고 찰

본 연구에서 편평족 대상자에게 무게 부하에 따른 보행 시의 족저압을 비교한 결과 발의 면적에서는 전족부의 면적은 감소하였으며 중간 부위의 면적이 많이 증가하였고, 최대값에서는 무게에 따라 2번째 중족골 부위와 중족부에서 압력이 증가하였음을 보여주었다. 이러한 연구 결과는 편평족 대상자의 2~3번째 중족골두의 아래 부분이 가장 압력을 많이 받는다는 다른 연구의 결과와 일치하였으며, 그 아래 굳은살이 가장 발생하고, 내측 중족골두의 피로골절이나 스트레스 골절을 일으키는 원인이 될 수 있다(윤흥기, 2006; Gaymer 등, 2009; McCormack 등, 2001).

일반적인 발과 발목을 비롯한 하지의 손상의 원인은 적용되는 힘이나 부하의 크기와 비율에 의해서 결정된다. 부하의 비율이나 크기에 영향을 주는 요소는 움직임의 속도, 착지 동작의 높이, 신발의 형태, 몸무게, 착지 시의 지면의 형태, 착지 전략, 가방이나 짐과 같은 외부 부하 등이 포함한다(Kernozek 등, 2005; Olsen 등, 2004). 또한 보행을 하는 동안 체중 지지가 되는 하지의 지면반발력과 무릎 관절의 굴곡 각도가 충격량을 조절하여 신체에 적용되는 힘의 크기를 조절한다. 이러한 부하의 비율이나 적용되는 힘의 비율은 조직에 적용되는 스트레스의 양에 영향을 주게 되며 반복적인 스트레스에 의해서 손상이 나타나게 된다(Hargrave 등, 2003).

기능적인 편평족의 중요한 임상적인 양상은 인대의 느슨함, 스포츠 활동을 포함한 일상생활활동을 하는 동안의 통증, 스포츠 활동을 하는 동안 빠르게 나타나는 근육의 피로와 발과 발목 복합체의 불안정성은 관절낭과 인대의 염좌, 발의 불균형, 후족부의 외반, 발의 족궁의 높이의 감소와 전족부의 내반을 일으킬 수 있다(Van Boerum과 Sangeorzan, 2003). 또한 편평족은 근육과 근막의 긴장을 증가시키고

단한 사슬에서 하지, 골반, 척추까지 영향을 미치게 되어 신체 전반적인 자세 변형을 일으키고 요통의 위험을 증가시킬 수 있다(Pinto 등, 2008). 이러한 편평족의 측정을 위해 본 연구에서 이용한 방법은 Brody에 의해서 소개된 주상골 하강 검사를 이용하여 측정하였다(Cote 등, 2005). 본 연구에서는 체중 부하에 의하여 주상골이 하강되는 높이의 차이를 이용하여 편평족을 측정을 하였으며, 무게 부하가 없는 상태의 보행 시에 중족 부위의 면적을 확인한 결과 발의 3번째 중족골의 중심과 뒤꿈치 중앙을 연결한 선의 내측으로 족저압이 나타나는 것을 통하여 편평족과 정상 발의 구분에 있어서 이전의 연구와 유사한 것을 알 수 있었다(선상규 등, 2006). 편평족의 평가에 있어서 이러한 형태학적인 특성을 구분하는 것도 중요하지만 더욱 중요한 것은 족궁의 형태가 기능적인 검사에서 어떠한 영향을 미치게 되는 것인가에 관한 연구가 필요하다. 따라서 편평족의 진단에 있어서 이 질환에 의해서 발생하는 기능적인 손상을 정량화하기 위해서 기능적인 편평족의 차이를 확인하기 위해서 본 연구에서는 족저압 분석을 통하여 발의 압력 분포를 알아보았다. 이러한 족저압 측정은 발의 압력을 측정할 수 있으며 발의 특정 부분에 가해지는 압력의 분포와 충격량을 측정할 수 있고, 신체의 중심이 이동하는 경로를 알 수 있으며 이를 통하여 발의 특정 부위에 압력이 증가되는 것이나 중심 이동의 변동성을 확인 할 수 있으며 임상에서 유용하게 이용되고 있다(박수진 등, 2009; 이상열과 배성수, 2009).

보행에서 입각기 시 접촉하는 발의 전체 면적에 대해 전·중·후족부의 비율을 비교한 결과 무게 부하의 증가에 따라 편평족에서 중족부의 비율은 증가하였고, 전족부는 감소하였으며, 후족부는 거의 변화가 없었다. 이는 내측 족궁이 무너지고 거골하관절의 외반이 일어남으로써 내측 중족부의 접촉 면적 비율이 증가하고, 신체 중심부에 부하가 증가할수록 발의 내측 족궁이 점점 더 하강하게 되므로 중족부의 접촉 면적이 증가하게 때문이며(윤흥기, 2006), 몸무게가 많이 나가는 비만인의 발이 크기에 비하여 보행 시 접촉 면적이 더 넓은 것과 같은 이유라고 할 수 있다(Hills 등, 2001).

보행시 지면과 닿아 있는 발의 전 구간을 10개 영역으로 구분하여 최고 힘값을 측정한 결과 신체 중심에 가해진 부하가 증가할수록 편평족의 10개 영역에서 거의 증가하는 추세를 보였으나, 편평족에서는 2번째 중족골, 중족부에서만 유의한 증가가 보였다. 또한 최고 압력이 가장 높게 나타난 영역은 2-3번째 중족골이었다. 보행 시 편평족과 정상발의 힘값을 측정한 연구들을 보면 편평족은 보행 시 내측 전, 중족부의 힘값이 증가하고 반면에 외측 전, 중족부와 내, 외측 뒤꿈치의 힘값은 현저하게 감소함을 보여 본 연구와 유사한 결과를 보였다(윤홍기, 2006; Gaymer 등, 2009). 이는 발바닥에 과도한 압력이 특정 부위에 집중되면 과각화증(굳은살), 류마티스성 관절염(rheumatoid arthritis), 중족골통(metatarsalgia), 말초 신경병증(peripheral neuropathy) 등의 2차적인 많은 족부 장애를 유발할 수 있다. 이러한 족저 조직의 스트레스를 줄여 2차적인 병증을 감소시키기 위한 패딩, 스트랩, 인솔, 웨지(wedge) 등의 비침습적인 방법으로 편평족을 교정하고 있으며(Aronow와 Hakim-Zargar, 2007; McCormack 등, 2001), 거골하 관절의 유합술과 외측 종골 연장 절골술과 같은 수술적 방법이 사용되고 있다.

본 연구에서 무게 부하의 크기가 일률적으로 제시되어서 체중에 대한 무게 부하의 특성에 대해서 알아보는 것에 있어서 제한점이 있었으나 편평족 대상자의 족저 압력이 무게 부하의 크기에 따라 특정 부위에서 증가되는 것을 확인 할 수 있었으며, 편평족에 의한 발의 골절과 관련된 위험 요소에 대해서 더 명확하게 하기 위해서는 일상생활활동에서 좀 더 동적이고 다양한 과제에서의 압력의 분포를 확인하여 족저 압력이 집중되는 동작이나 활동을 확인하여 예방하는 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구에서는 무게 부하를 제공한 보행 시에 편평족을 가진 대상자의 족저압을 비교하여 무게 부하에 따라 발에서의 족저 압력의 변화를 알아보고자 하였다. 본 연구의 결과 주상골 하강 검사에 따

라 편평족으로 분류된 대상자들은 무게 부하의 증가에 의해 중족부의 접촉 면적이 증가하였고, 2번째 중족골과 중족부의 최고 압력이 유의하게 증가된 것을 알 수 있었다. 따라서 편평족의 족저 분포를 통해서 가방이나 아기 등의 일상생활 동안의 무게를 증가시킬 수 있는 여러 요인에 의해 발의 손상 위험이 심해질 수 있으므로 보행 시 주의가 필요하며, 인솔 등의 보조 도구나 편평족을 예방 및 치료를 할 수 있는 운동 프로그램의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 박수진, 김민희, 김진상. 가방 휴대 방법에 따른 보행 시 발의 비례추진력 변화. 대한물리치료학회지. 2009;21(3):61-8.
- 선상규, 정동춘, 고희준 등. 편평족과 정상족을 가진 사람의 체력 특성 비교. 한국스포츠리서치. 2006; 17(6):687-94.
- 윤홍기. 편평외반족에 대한 거골하 관절 유합술 후 족저압 및 동작분석 변화. 연세대학교 대학원. 박사학위 논문. 2006.
- 이상열, 배성수. 보행 시 부하의 위치에 따른 발의 안정성 및 운동학적 분석에 관한 연구. 대한물리치료학회지. 2009;21(2):97-101.
- Abe D, Muraki S, Yasukouchi A. Ergonomic effects of load carriage on the upper and lower back on metabolic energy cost of walking. Appl Ergon. 2008;39(3):392-8.
- Arangio GA, Reinert KL, Salathe EP. A biomechanical model of the effect of subtalar arthroereisis on the adult flexible flat foot. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2004;19(8):847-52.
- Aronow MS, Hakim-Zargar M. Management of hindfoot disease in rheumatoid arthritis. Foot Ankle Clin. 2007;12(3):455-74.
- Chow DH, Kwok ML, Au-Yang AC et al. The effect of backpack load on the gait of normal adolescent girls. Ergonomics. 2005;48(6):642-56.
- Chow DH, Kwok ML, Cheng JC et al. The effect

- of backpack weight on the standing posture and balance of schoolgirls with adolescent idiopathic scoliosis and normal controls. *Gait Posture*. 2006; 24(2):173-81.
- Cote KP, Brunet ME, Gansneder BM et al. Effects of pronated and supinated foot postures on static and dynamic postural stability. *J Athl Train*. 2005; 40(1):41-6.
- Dunn JE, Link CL, Felson DT et al. Prevalence of foot and ankle conditions in a multiethnic community sample of older adults. *Am J Epidemiol*. 2004;159(5):491-8.
- Gaymer C, Whalley H, Achten J et al. Midfoot plantar pressure significantly increases during late gestation. *Foot (Edinb)*. 2009;19(2):114-6.
- Hargrave MD, Carcia CR, Gansneder BM et al. Subtalar pronation does not influence impact forces or rate of loading during a single-leg landing. *J Athl Train*. 2003;38(1):18-23.
- Hills AP, Hennig EM, McDonald M et al. Plantar pressure differences between obese and non-obese adults: a biomechanical analysis. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2001;25(11):1674-9.
- Hong Y, Li JX, Fong DT. Effect of prolonged walking with backpack loads on trunk muscle activity and fatigue in children. *J Electromyogr Kinesiol*. 2008;18(6):990-6.
- Kernozek TW, Torry MR, H VANH et al. Gender differences in frontal and sagittal plane biomechanics during drop landings. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(6):1003-12; discussion 13.
- Khamis S, Yizhar Z. Effect of feet hyperpronation on pelvic alignment in a standing position. *Gait Posture*. 2007;25(1):127-34.
- Magee DJ. *Orthopedic physical assessment*. Philadelphia, W.B. Saunders, 2008.
- McCormack AP, Ching RP, Sangeorzan BJ. Biomechanics of procedures used in adult flatfoot deformity. *Foot Ankle Clin*. 2001;6(1):15-23.
- Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L et al. Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *Am J Sports Med*. 2004;32(4):1002-12.
- Pinto RZ, Souza TR, Trede RG et al. Bilateral and unilateral increases in calcaneal eversion affect pelvic alignment in standing position. *Man Ther*. 2008;13(6):513-9.
- Sell KE, Verity TM, Worrell TW et al. Two measurement techniques for assessing subtalar joint position: a reliability study. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1994;19(3):162-7.
- Van Boerum DH, Sangeorzan BJ. Biomechanics and pathophysiology of flat foot. *Foot Ankle Clin*. 2003;8(3):419-30.
- Vicenzino B, Griffiths SR, Griffiths LA et al. Effect of antipronation tape and temporary orthotic on vertical navicular height before and after exercise. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2000;30(6):333-9.
- Wang WJ, Crompton RH. Analysis of the human and ape foot during bipedal standing with implications for the evolution of the foot. *J Biomech*. 2004;37(12):1831-6.