

정적 기립 자세에서 족저압 분포와 척추 정렬과의 상관관계 연구

임재현 · 고효은[†]서남대학교 물리치료학과, ¹새미래병원 재활센터

The Correlation of Foot Pressure with Spinal Alignment in Static Standing

Jae-Heon Lim · Hyo-Eun Ko[†]

Department of Physical Therapy, Seonam University

¹Rehabilitation Center, Saemirae Hospital

Received: November 7, 2013 / Revised: December 1, 2013 / Accepted: January 5, 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: To determine the normative data for the correlation of spinal, pelvic parameters with foot pressure in the young subjects.

Methods: The subjects of this study were 39 patients in healthy adults. The Formetric-III was used to measure of spinal alignment. The pedoscan was used to measure of foot pressure. The correlation of trunk imbalance, trunk inclination, lateral deviation with foot pressure. The foot pressure measurement was consisted of maximal/mean pressure, weight contribution.

Result: There was a negative correlation of trunk inclination with Max_R. There was a negative correlation of trunk inclination with Max_R. There was a positive correlation of trunk imbalance with Max_L. There was a positive correlation of lumbar lordosis with Mean_R_front, Lt. posterior weight distribution. There was a negative correlation of lumbar lordosis with Lt., Rt. in distribution. There was a negative correlation of pelvic tilt with Mean_R_front, Lt. posterior weight distribution. There was a positive correlation of pelvic tilting with Rt. weight distribution, Lt. posterior weight distribution. There was a negative correlation of pelvic torsion with Lt. weight distribution, Rt. posterior weight distribution. There was a negative correlation of pelvic rotation with Lt. weight distribution, Lt. posterior weight distribution.

Conclusion: The data obtained from the study may be used for future studies related to correlation of the spinal, pelvic deviation with foot pressure.

Key Words: Foot pressure, Spinal alignment, Pelvic deviation

I. 서론

발은 서 있을 때 인간이 제일 먼저 접촉하는 부분으로 자세 조절을 위해 지면과 접촉한 발로부터 감각적 정보를 입력받게 되고, 입력된 정보는 감각 피드백으로 인해 근 활성화 패턴을 변화시키는 등 발의 생체역학적 기능은 인체의 자세와 척추 및 골반의 정렬에 영향을 미치게 된다(Nurse와 Nigg, 2001; Shumway-Cook과 Horak, 1986).

균형은 척추와 골반, 그리고 시상면상의 운동성을 가진

하지 관절들의 상호 대상에 의하여 유지된다(Vaz 등, 2002). 골반은 보행 능력에 가장 효과적으로 영향을 미치는 조절점이라 할 수 있으며, 복부와 체중을 지지하고 척추와 하지를 연결 하며, 기립 자세에서 체중을 양쪽 하지에 균등하게 분배하는데, 이때 골반과 하지의 정상적 정렬이 필수적이다. 골반이 평행하지 않으면 척추가 한쪽으로 기울어져 척추의 기울기의 변화가 나타나게 되고, 골반의 구조적 변위로 인해 특히, 엉치 엉덩관절에서 불균형을 초래하게 되어 기능적 다리 길이의 차이를 비롯한 비정상적인 하지 기전 및 변형은 물론 골반 주위 연부조직의 손상을 초래하게 된다(Arumugam 등, 2012).

[†]Corresponding Author : Hyo-Eun Ko (kick1005@gmail.com)

발은 발목전락을 통해 균형을 유지하는데 필수적이며, 체중 부하에 중요한 역할을 담당한다(Saltzman과 Nawoczenski, 1995). 자세를 취할 때 발생하는 족저압은 인체의 균형 상태를 반영하는 하나의 요인으로서, 운동 과학의 연구 분야에서 많은 관심을 갖고 있는 측정 대상 중 하나이다(노정석과 김택훈, 2001). 바르지 못한 자세에서 가해지는 발의 압력은 생리학적 손상을 일으켜 근육과 관절에 피로를 주며, 척추에 반복적인 비정상충격을 전달하여 척추 질환의 원인이 되기도 한다(강길령, 1993).

족저압의 측정은 최근 발의 건강에 대한 관심이 고조되면서 족부 통증 환자, 당뇨병 환자, 류마티스 등의 관절염 환자에서의 분포 분석을 위하여 연구되고 있으며, 각종 족부 질환에 의한 발의 변형과 뇌성마비, 관절염 등에 의한 하지 절단 환자, 편마비 등의 이상 보행을 보이는 환자들을 대상으로 발에 미치는 영향을 분석하는 등 다양한 분야에서 연구되고 있다(이규한, 1996). 족저압을 측정함으로써 다양한 일상생활 동작과 기능적 활동 중 발의 특정 부위에 가해지는 압력을 관찰할 수 있다.

요통 환자에게 골반의 변위와 족저압과의 상관관계를 알아본 연구에서 본 연구에서 족저압은 기립 시에는 주로 좌측과 후방에서 높은 것으로 나타났고, 전·후 보다는 좌·우 족저압의 불균형이 큰 것으로 나타났다고 보고하였다. 특히 몸통의 불안정성을 가지는 요통환자처럼 몸통과 골반의 변화는 족저압의 변화를 일으켜 비대칭적인 체중 분포를 보인다고 하였다(공재철 등, 2012).

이러한 측면에서 자세의 이상으로 인한 요추 및 골반, 그리고 발에 이르는 구조의 변화가 만성 요통의 원인이거나 지속 혹은 악화 요인이 될 것으로 보아 이에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있다(Knutson, 2002). 하지만 아직까지 정상성인을 대상으로 척추와 골반의 변위와 족저압과의 상관관계를 포괄적으로 알아본 연구는 미흡하였다.

그래서 본 연구는 정상 성인의 선 자세에서 척추와 골반의 변위와 족저압과의 상관관계를 알아보다 다양한 질환에서 척추 정렬과 족저압에 대한 기초자료를 제공하는데 그 의의가 있다.

II. 연구방법

1. 연구 기간 및 대상자

이 연구의 대상자는 S대학교의 건강한 20대 성인 남녀 39명을 대상으로 진행하였다. 모든 대상자는 연구의 목적에 대해서 상세한 설명을 들은 뒤, 연구에 참여하고자 하는 사람에 한하여 참가 동의서에 서명을 한 후에 진행하였다. 우세발의

선정은 공을 차게 하였을 때 먼저 차는 발로 채택하였다. 실험 기간은 2013년 4월 10일~4월 11일까지였으며, 20대 정상성인들 중에서 아래의 조건에 해당하는 사람을 이 연구의 대상으로 선정하였다. 연구대상자의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 1).

Table 1. General characteristics of subjects

Characteristics		
Gender	Male(n)	26(66.7%)
	Female(n)	13(33.3%)
Age(years) (mean±SD)		24.10±1.21
Height(cm) (mean±SD)		168.71±7.97
Weight(kg) (mean±SD)		61.99±12.05
Dominat foot (mean±SD)	Rt(n)	34(87.2%)
	Lt(n)	5(12.8%)

2. 실험방법

1) 3차원 척추영상 측정

척추의 정렬상태를 분석하기 위해 3차원 영상장비인 Formetric III (Diers, Germany)를 이용하였다. Formetric III는 자동으로 인체의 특정부위를 감지하여 환자의 등 뒷면을 영상화 할 수 있어서, 수동으로 해부학적 표식을 부착해야 하는 번거러움이 없다. 또한 할로겐 램프를 사용하여 X-ray처럼 방사선에 노출되지 않으며, 빠르게 측정할 수 있고, 장비의 흰 불빛 시스템이 등에 투사되어 등 뒤의 표면 윤곽으로 척추의 변형을 알아낼 수 있다. 소프트웨어는 DICAM basic을 사용하였으며, 공간의 길이는 3.0~3.5 m, 폭은 1.5 m이며, 시간은 0.04~60초로 측정하였다. 이 장비는 방사선 측정과 비교했을 때, 높은 정확성과 신뢰도가 입증되었다(Hackenberg 등, 2003; Schulte 등, 2008).

측정 변수는 몸통의 좌·우 기울기(trunk imbalance), 전·후 기울기(trunk inclination), 외측편위(lateral deviation), 척추앞굽음(lordotic curve), 척추뒤굽음(kyphotic), 골반의 측정은 골반 기울기(pelvic tilt), 골반 뒤틀림(pelvic torsion), 골반 회전(pelvic rotation)을 측정하였다.

대상자는 등이 보이도록 상의를 탈의하고 위뒤엉덩뼈가시(posterior superior iliac spine, PSIS)가 보이도록 촬영하였다. 바지와 속옷이 조이는 옷일 경우에 그 조임으로 인한 굴곡이 생기는 것을 막기 위해 엉덩 부위가 완전히 노출되도록 한 후에 촬영하였다. 촬영에 앞서, 대상자는 양팔을 편안하게 늘어뜨린 상태로 측정하여 움직임으로 인한 오차가 생기지

않도록 하였다. 전방을 보고 선 자세에서 고개를 약간 10~15도 정도 숙여 7번 목뼈가 보일 수 있도록 하였으며, 머리카락이 길어 목뼈가 보이지 않는 참가자의 경우, 머리카락을 묶어 올려서 목뼈 부위가 보일 수 있도록 하였다. “6초 동안 사진을 찍으니 움직이지 마세요.”라는 지시와 함께 환자는 평상시 자세로 측정하였다. 촬영에 영향을 줄 수 있는 목걸이와 시계 등은 착용하지 않도록 하였다.

2) 족저압 측정

기립 시 양 발에 가해지는 족부의 압력을 측정하기 위해 Pedoscan (Diers, Germany)를 이용하였다. 이 장비는 길이 2 m, 폭 48 cm의 발판으로, 정적 및 동적인 족저압 측정이 가능하고 압력 분포를 통한 하지의 비대칭적 분석이 가능하다. 기립 시 소프트웨어는 DICAM basic을 이용하여 분석하였다. 측정은 척추영상 촬영과 동시에 이루어졌으며, 각 발의 전·후, 좌·우 체중 분포(%)와 각 발의 최대 압력과 평균 압력을 구하여 처리하였다.

3. 자료분석

모든 자료들은 SPSS 12.0 통계프로그램을 이용하여 분석하였다. 전체 대상자들의 일반적 특성은 기술통계를 이용하였으며, 각 자료의 상관성을 알아보기 위해 피어슨상관분석을 이용하였다. 통계적 유의성을 위한 유의수준은 0.05로 설정하였다.

III. 연구결과

본 연구는 정상 성인의 선 자세에서 척추 정렬과 족저압 분포 변화의 상관관계를 위해 진행되었다. 이를 위하여 모든 대상자에게 족압 분포, 발 최대/평균 압력 그리고 척추 정렬과 골반의 변위를 사용하여 상관관계를 통해 비교하였다.

몸통 전후 기울기인 trunk inclination은 오른쪽 발의 최대압력과 유의한 음의 상관관계를 나타내었다(p<0.05). 몸통 좌우 기울기인 trunk imbalance는 오른쪽 발의 평균 압력과 유의한 음의 상관관계를 나타내었다(p<0.05). 척추뒤굽음각은 왼쪽 발의 최대 압력에서 유의한 양의 상관관계를 나타내었다(p<0.05). 척추앞굽음각은 오른발 평균 압력과 왼쪽 발의 뒤 영역의 체중 분포에서 유의한 양의 상관관계를 나타내었다(p>0.05). 왼쪽, 오른쪽 발의 앞 영역의 체중 분포에서는 유의한 음의 상관관계를 나타내었다(p>0.05).

골반 기울기인 pelvic tilt는 왼쪽, 오른쪽 발의 앞 영역의 체중 분포에서 유의한 음의 상관관계를 나타내었다(p<0.05).

Table 2. The correlation of spinal posture with foot pressure in static standing

Items	Max (L)	Max (R)	Aver (L)	Aver (R)
Trunk inclination	-0.20	-0.45*	-0.06	-0.10
Trunk imbalance	0.21	0.15	-0.23	-0.47*
Trunk deviation	-0.02	-0.01	0.08	0.04
Kypotic angle	0.40*	0.31	-0.04	-0.12
Lordotic angle	0.01	-0.22	0.16	0.43*

*p>0.05

Table 3. The correlation of spinal posture with weight distribution in static standing

Items	Front (L)	Behind (L)	Front (R)	Behind (R)
Trunk inclination	-0.09	0.11	-0.04	-0.04
Trunk imbalance	-0.07	0.02	-0.20	0.21
Trunk deviation	-0.02	0.03	0.02	-0.04
Kypotic angle	0.07	-0.21	0.16	0.07
Lordotic angle	-0.54*	0.73*	-0.54*	-0.03

*p>0.05

오른쪽 발의 뒤 영역에서의 체중 분포에서는 유의한 양의 상관관계를 나타내었다(p<0.05).

골반 뒤틀림인 pelvic torsion은 왼쪽, 오른쪽 발의 앞 영역의 체중 분포에서는 유의한 음의 상관관계를 나타내었으며(p<0.05), 왼쪽 뒤 영역의 체중 분포에서는 유의한 양의 상관관계를 나타내었다(p<0.05).

Table 4. The correlation of peivic deviation with foot pressure in static standing

Items	Max (L)	Max (R)	Aver (L)	Aver (R)
Pelvic tilt	0.03	-0.11	-0.30	0.17
Pelvic torsion	0.07	-0.14	0.12	0.18
Pelvic rotation	0.03	-0.17	-0.40*	0.03

*p>0.05

Table 5. The correlation of pelvic deviation with weight distribution in static standing

Items	Front (L)	Behind (L)	Front (R)	Behind (R)
Pelvic tilt	-0.55*	0.01	-0.45*	0.80*
Pelvic torsion	-0.47*	0.65*	-0.45*	-0.07
Pelvic rotation	-0.40	-0.29	0.02	0.64*

*p>0.05

골반 회전인 pelvic rotation에서는 왼쪽 발의 앞 영역의 체중 분포에서는 유의한 음의 상관관계를 나타내었으며($p < 0.05$), 오른쪽 발의 뒤 영역의 체중 분포에서는 유의한 양의 상관관계를 나타내었다($p < 0.05$).

IV. 고 찰

우리 인체의 골격은 척추를 중심으로 하여 대칭적으로 배열하고 있고, 총체적인 모양을 유지하도록 이루어져 있으므로 인체의 관절 하나라도 이상이 생기게 되면 다른 관절의 활동에 영향을 주게 되며, 발뼈의 각 부위의 배열이 정확하지 않으면 발뒤꿈치가 틀어지고, 다리에 있는 뼈들의 균형이 무너짐으로서 몸의 체중과 하중이 무릎, 발목을 통해 발바닥으로 고루 분산되지 않게 되어 많은 증상들을 야기하게 된다(Ferber 등, 2005).

본 연구는 정상 성인의 선 자세에서 척추 정렬과 족저압 분포 변화의 상관관계를 위해 진행되었다. 이를 위하여 모든 대상자에게 족압 분포, 발 최대/평균 압력 그리고 척추 정렬과 골반의 변위를 사용하여 상관관계를 통해 비교하였다.

그 결과, 몸통 좌우 기울기인 trunk imbalance는 오른쪽 발의 평균 압력과 유의한 음의 상관관계를 나타내었다($p < 0.05$). Trunk imbalance는 경추 7과 양쪽 PSIS를 그은 중앙점과의 편차를 나타내는 것으로, 몸통이 얼마나 기울어졌는지 알아볼 수 있다. 사람의 등을 뒤에서 보았을 때 척추가 왼쪽 혹은 오른쪽으로 어느 정도 기울어졌는지 나타내며, 좌·우측 PSIS의 중간 지점인 DM의 위치에서 경추 7번(VP)에서 수직으로 내린 선과의 수평 거리를 mm로 나타내는 방법이다. 좌측은 -, 우측은 +로 길이(mm)로 표시된다.

좌·우 기울기의 값이 크면 클수록 오른발의 평균 압력은 감소되는 것을 뜻하는 것이므로, 왼발의 체중 지지가 더 많이 되었다는 것을 의미한다. 좌·우 기울기가 양의 값이 되었다는 것은 척추가 오른쪽으로 기운 것을 의미하고, 보상 작용으로 목과 상부의 몸통은 보다 왼쪽으로 쏠리게 되어 체중은 상대적으로 왼쪽으로 더 많이 가하게 된다. 또한 이 연구에 참여한 대상자가 대다수 우세발이 오른발이었으므로, 체중 지지가 더 많이 왼쪽으로 쏠린 것으로 생각된다.

체간 불균형은 기능적인 다리길이 차이, 불량한 하지, 골반 몸통의 정렬 상태, 몸통 근육의 약증, 불량한 자세 반사로 기인한다고 하였다. 기능적인 다리길이 차이는 장딴지, 넙다리내갈래근, 엉덩뿔근의 비대칭적인 약증으로 기인한다고 하였으며, 더불어 몸통과 골반의 안 좋은 분리를 야기하는 복부와 등근육의 동시 수축의 증가, 그리고 비대칭적인 엉덩관절 벌림이라고 설명하였다. 이것은 골반경사를 일으키고 몸통에

불균형을 반영한다고 하였다(Bache 등, 2003).

몸통 전·후 기울기인 trunk inclination은 앞으로 기울어지는 정도를 mm로 나타낸 것인데, 오른쪽 발의 최대 압력과 유의한 음의 상관관계를 나타내었다. 몸이 앞으로 기울어짐을 보상하기 위해 골반을 앞굽음시켜 좌·우 기울기의 결과가 반영되어 오른쪽 발에 최대압력이 가해진 것으로 판단된다. 하지만 대상자가 정상 성인이었으므로, 좌·우, 앞·뒤 체중 분포에는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

척추의 정렬 상태의 측정 항목인 척추뒤굽음각은 왼쪽 발의 최대 압력에서 유의한 양의 상관관계를 나타내었으며, 척추앞굽음각은 오른발 평균 압력과 왼쪽 발의 뒤 영역의 체중 분포에서 유의한 양의 상관관계를 나타내었다. 왼쪽, 오른쪽 발의 앞 영역의 체중 분포에서는 유의한 음의 상관관계를 나타내었다. 척추앞굽음각은 허리뼈 전·후 만곡의 최대값을 각도로 나타낸다. 앞굽음각이 증가되면 증가할수록 전족부보다는 후족부에는 힘이 더 실리는 결과가 나타내었다. 허리뼈가 펴지면 엉덩관절은 굽힘 되게 되어 뒤족 부분에 더 많은 압력이 가해진다. 공재철 등(2012)은 선 자세에서 족부압력은 가쪽과 뒤쪽에 보다 더 가해진다고 하여서, 본 연구의 결과를 뒷받침하였다.

Pelvic tilt는 골반의 좌·우 높이를 표시하며, 다리길이 차이를 길이(mm)로 표시한다. Pelvic torsion은 두 골반이 앞·뒤로 어긋나게 틀어진 정도를 각도(°)로 표시한다. Pelvic rotation은 골반의 좌·우 회전을 각도(°)로 표시한다.

골반 기울기인 pelvic tilt는 왼쪽, 오른쪽 발의 앞 영역의 체중 분포에서 유의한 음의 상관관계를 나타내었다. 오른쪽 발의 뒤 영역에서의 체중 분포에서는 유의한 양의 상관관계를 나타내었다. 골반 뒤틀림인 pelvic torsion은 왼쪽, 오른쪽 발의 앞 영역의 체중 분포에서는 유의한 음의 상관관계를 나타내었으며, 왼쪽 뒤 영역의 체중 분포에서는 유의한 양의 상관관계를 나타내었다. 골반 회전인 pelvic rotation에서는 왼쪽 발의 앞 영역의 체중 분포에서는 유의한 음의 상관관계를 나타내었으며, 오른쪽 발의 뒤 영역의 체중 분포에서는 유의한 양의 상관관계를 나타내었다.

골반기울기와 뒤틀림이 크다는 것은 오른쪽 골반이 내려갔다는 것을 의미하며, 내려간 쪽의 다리가 짧아진 것을 의미하며, 오른쪽 측방경사각의 증가는 엉덩관절 벌림의 각도를 증가시켜 오른발 뒤 영역에서 더 많은 부하가 가해진 것으로 사료된다. 또한 골반 회전에서는 골반이 왼쪽으로 향해서 돌아가 있는 사람은 오른쪽 발의 앞쪽과 왼쪽 발 뒤쪽에 족압이 뚜렷해지며, 오른쪽으로 향해서 돌아가 있는 사람은 왼쪽 발의 앞쪽과 오른쪽 발 뒤쪽에 족압이 뚜렷해진다(Legaye과 Duval-Beaupere, 2005).

골반은 신체의 중심을 유지하는 중요한 관절 중 하나라

할 수 있으며 보행 능력에 가장 효과적으로 영향을 미치는 조절점이라 할 수 있다. 또한 골반은 기립 자세에서 체중을 양쪽 하지에 균등하게 분배 할 수 있는 능력과 함께 척추의 주춧돌 역할을 하고, 하체와 상체를 연결하는 교량역할을 하게 된다(Mientjes과 Frank, 1999).

상관관계 분석을 통해 총 16개의 변수 중, 3개를 제외한 나머지 변수에서 유의한 상관성을 나타내어, 정적 기립 시 나타나는 족저압과 척추와 골반의 변위 정도는 인체 불균형에 의해 나타나는 질병을 조사하는데 유의한 평가로 사용 될 것이 생각된다.

족저압의 이용 분야는 재활 의학, 운동 분야, 임상 분야 등 다양하다. 따라서 본 연구에서 제시한 보행 시 족저압 분포 특성과 척추 측만과의 상관관계에 대한 평가는 간단한 측정 장비로 척추 및 무릎, 기타 근골격계 질환의 유무를 판별할 수 있을 것으로 사료되며, 보행 습관 관찰 및 보정을 통한 척추질환의 예방 및 치료에 도움이 될 것이라 판단된다. 또한, 좌/우 균형성 평가 및 걸음걸이 보정을 통하여 하지 재활 환자의 정성적 평가 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

V. 결 론

본 연구는 20대 젊은 성인을 대상으로 각 개인에게는 척추 및 골반의 변위와 족저압을 측정하여 각각의 상관성을 알아보았다. 현재, 재활과 훈련 분야에서 다양하게 족저압이 이용되고 있다.

따라서 본 연구에서 제시한 정적 기립 시 족저압 분포 특성과 척추와 골반의 변위와의 상관관계에 대한 평가는 척추 및 무릎, 기타 근골격계 질환의 유무를 판별할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 젊은 성인의 척추 및 골반 변위를 알아내어 자세 평가 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

그러므로 본 연구의 결과는 향후 척추-골반과 족저압에 대한 연구의 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 강길령. 보향각의 정도에 따른 발의 압력분포에 관한 연구. 이화여자 대학교 대학원. 1993.
- 공재철, 문수정, 조동찬 등. 만성 요통 환자의 골반지표와 발의 생체역학적 특징 연구. 동의생리병리학회지. 26(1):81-87, 2012.
- 노정석, 김택훈. Parotec System을 이용한 족저압 측정의 신뢰도. 한국전문물리치료학회지. 8(3):35-41, 2001.
- 이규한. 족저압 측정에 의한 Stance Phase. 대한재활의학회지. 20(2):524-531, 1996.
- Bache CE, Selber P, Graham HK. (ii) The management of spastic diplegia. *Curr Orthop.* 17(2):88-104, 2003.
- Hackenberg L, Hierholzer E, Potzl W, et al. Rasterstereographic back shape analysis in idiopathic scoliosis after anterior correction and fusion. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 18(1):1-8, 2003.
- Schulte TL, Hierholzer E, Boerke A, et al. Raster stereography versus radiography in the long-term follow-up of idiopathic scoliosis. *J Spinal Disord Tech.* 21(1): 23-28, 2008.
- Arumugam A, Milosavljevic S, Woodley S, et al. Evaluation of changes in pelvic belt tension during 2 weight-bearing functional tasks. *J Manipulative Physiol Ther.* 35(5):390-395, 2012.
- Ferber R, Davis IM, Williams DS, 3rd. Effect of foot orthotics on rearfoot and tibia joint coupling patterns and variability. *J Biomech.* 38(3):477-483, 2005.
- Knutson GA. Incidence of foot rotation, pelvic crest unleveling, and supine leg length alignment asymmetry and their relationship to self-reported back pain. *J Manipulative Physiol Ther.* 25(2):110E, 2002.
- Legaye J, Duval-Beaupere G. Sagittal plane alignment of the spine and gravity: a radiological and clinical evaluation. *Acta Orthop Belg.* 71(2):213-220, 2005.
- Mientjes MI, Frank JS. Balance in chronic low back pain patients compared to healthy people under various conditions in upright standing. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 14(10):710-716, 1999.
- Nurse MA, Nigg BM. The effect of changes in foot sensation on plantar pressure and muscle activity. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 16(9):719-727, 2001.
- Saltzman CL, Nawoczenski DA. Complexities of foot architecture as a base of support. *J Orthop Sports Phys Ther.* 21(6):354-360, 1995.
- Shumway-Cook A, Horak FB. Assessing the influence of sensory interaction of balance. Suggestion from the field. *Phys Ther.* 66(10):1548-1550, 1986.
- Vaz G, Roussouly P, Berthonnaud E, et al. Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine. *Eur Spine J.* 11(1):80-87, 2002.