



족압검사를 이용한 만성 발목 불안정성과 압력중심의 연관성

박은수, 서상교*, 이호승

울산대학교 의과대학 서울아산병원 정형외과학교실, *SNU서울병원 정형외과

Correlation between Chronic Ankle Instability and Center of Pressure Using Pedobarograph

Eun Soo Park, Sang Gyo Seo*, Ho Seong Lee

Department of Orthopedic Surgery, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine,

*Department of Orthopedic Surgery, SNU Seoul Hospital, Seoul, Korea

Purpose: Chronic ankle instability is a very common abnormality of the ankle, but there is still controversy regarding its evaluation criteria. The stress view has difficulties in reflecting the patient's symptoms and treatment progress. Therefore, this study examined the relationship between the center of pressure (COP) measured by a pedobarograph and the symptoms of the patient.

Materials and Methods: Thirty patients with chronic ankle instability from February to August 2018 were included. Each patient was surveyed with the foot and ankle outcome score (FAOS). The COP was measured with a foot pressure scanner, and the travel distance and ellipse area of the COP were calculated. Each patient was measured on one foot and on two feet with his or her eyes closed and open. The relationship between the COP measurement and FAOS score was analyzed using the Pearson correlation coefficient.

Results: The participants were consisted of 21 male and nine female, with a mean age of 30 years, mean weight of 72 kg, and mean foot size of 259 mm. With the eyes open, the correlation coefficient between the FAOS and travel distance of the affected side was -0.394 ($p < 0.05$) and that between the FAOS and the ellipse area of the affected side was -0.425 ($p < 0.05$). On the other hand, no significant correlations were found between the travel distance and ellipse area of the affected side when patients closed their eyes.

Conclusion: Measurement of the COP using foot pressure scanner could evaluate objectively patients with chronic ankle instability, with measurements in patients with their eyes open being more significant. Based on the findings of this study, an analysis of the COP with the patients with their eyes open and standing on one foot may help determine the management strategy and assess the progress of the patients.

Key Words: Chronic ankle instability, Pedobarograph, Balance

서론

만성 발목 불안정성(chronic ankle instability)은 일상생활이나 스포츠 활동 중에 매우 빈번하게 발생하는 발목의 이상이지만 이를

평가하는 방법은 여전히 논란이 많다. 현재까지 만성 발목 불안정성에 대한 객관적인 평가 방법으로 부하 검사(stress view)가 가장 널리 사용되어 왔으나 결과를 판단하는 기준이 다르고 진단적 가치에 대해서는 여전히 이견이 존재하고 있다.^{1,2)} 발목관절의 자세 조절 능력을 평가하는 방법으로는 순간적 발목 내전 시의 비골근 반응시간 검사,³⁾ 최대 등척성 편심성 발목 외전 근력 검사,⁴⁾ Romberg test^{1,5)} 등이 있으며 그중 비교적 검사 방법이 용이하고 임상적으로 많이 사용되는 방법은 Romberg test이다.¹⁾ 그러나 편측 평형성과 동적 고유 수용 감각이 중요한 요소로 작용하기 때문에 Romberg test와 같은 정적 평형성 검사는 기능적 동작 및 스포츠 퍼포먼스와 관계되는

Received March 4, 2019 Revised February 8, 2020 Accepted February 10, 2020

Corresponding Author: Sang Gyo Seo

Department of Orthopedic Surgery, SNU Seoul Hospital, 237 Gonghang-daero, Gangseo-gu, Seoul 07803, Korea

Tel: 82-2-333-5151, Fax: 82-2-333-5152, E-mail: sanggyoseo@naver.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0145-4066>

Financial support: None.

Conflict of interest: None.

Copyright © 2020 Korean Foot and Ankle Society. All rights reserved.

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

고유 수용성 감각의 결함을 나타내는 데 충분하지 않아 근력, 유연성, 고유 수용 감각을 필요로 하는 동적 검사에 대한 연구가 필요하다. 또한 정적 평형성 검사는 환자의 증상과 치료 경과를 반영하기에 어려움이 있으며 만성 발목 불안정성 환자를 대상으로 통증, 족저압 분포, 균형 등 다양한 요인에 의한 포괄적인 연구와 즉시효과를 검증하는 연구는 부실한 실정이다. 이에 본 연구에서는 만성 발목 불안정성 환자에 대해 족압검사(pedobarograph)를 실시하여 족부의 압력 중심(center of pressure)과 만성 발목 불안정성과의 연관성에 대해 살펴보고자 한다.

대상 및 방법

본 연구는 2018년 2월부터 2018년 8월까지 서울아산병원 정형외과 외래를 방문한 30명의 기능적 만성 발목 불안정성 환자를 대상으로 진행하였다. 이전 골절 병력과 수술력, 내반 및 외반 변형, 전신 이완증, 그 외 족부 족관절 질환이 있는 환자들은 제외하였으며 발목의 염좌로 3개월 이상 치료를 받았으나 통증보다 불안정성을 호소하고 자기공명영상(magnetic resonance imaging) 검사에서 발목의 연부조직 부종과 관절 내 혈종 없이 전거비 인대(anterior talofibular ligament)의 파열이 진단된 환자를 대상으로 하였다.⁶⁾ 대상자들의 신체적 특성(몸무게, 발사이즈)과 실험 및 분석의 특성은 Table 1과 같다. 모든 연구 대상자들은 본 연구의 취지를 이해하고 동의서를 작성한 후 자발적으로 실험에 참여하였다. 본 연구는 윤리위원회(Institutional Review Board)로부터 승인을 받았다.

1. 임상적 평가

만성 발목 불안정성의 기능적 평가는 정형외과 족부 족관절 영역에서 주로 사용되는 대표적인 환자 성과보고 수집도구인 foot and ankle outcome score (FAOS) 점수의 한글판 번역본 평가지를 이용하였다.⁷⁾ 첫 내원 시에 평가되었으며, 대상자가 스스로 질문지를 읽고 평가하도록 하였다. 연구 대상자가 평가지 질문 내용을 이해하지 못하는 경우 저자가 이해를 돕기 위해 필요한 범위 내에서 구두로 설명해주었다.

2. 족압검사

본 연구에 사용된 측정장비는 footscan® system (RSscan International, Beringen, Belgium)의 1.5 m Entry Level 모델을 이용하여 검사를 진행하였다. 압력 센서를 통해 측정된 값은 200 Hz 주파수 속도로 연결된 컴퓨터에 자동 전송되는 시스템이다.

1) Balance foot pressure

대상자는 센서 매트 위에 신발을 벗고 양발을 어깨너비로 벌리고 정자세를 취하였다. 그런 다음 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태로 30

초씩 측정하였다. 한 발 서기는 양팔을 벌리고 한 발로 선 상태로 15초간 측정하였고, 건측(open eyes/closed eyes)-환측(open eyes/closed eyes) 순으로 측정하였다(Fig. 1, 2). 각각 1회씩 연습할 시간을 가졌으며 각 검사 간에 30초의 휴식을 취하였다. 각각의 총 움직임 이동거리(travel distance)와 압력 중심이 움직인 범위인 타원 영역(ellipse area)의 수치와 FAOS와의 관련성을 Pearson 상관계수를 이용하여 분석하였다(Fig. 3).

결 과

환자의 평균 나이는 30세(16~61세)였고, 남자 21명, 여자 9명이었다. 평균 몸무게는 72 kg (45~112 kg)이었으며 발사이즈는 평균 259 mm (225~290 mm)로 측정되었다. 족압 측정기를 이용하여 눈을 떴을 때와 눈을 감았을 때를 비교하였고 환측의 압력 중심의 이동거리는 눈을 떴을 때는 245.4±116.4 mm, 눈을 감았을 때 527.1±192.8 mm였으며 건측의 압력 중심의 이동거리는 눈을 떴을 때는 223.2±96.2 mm, 눈을 감았을 때 586.4±314.7 mm로 나타났다. 환측의 압력 중심의 타원 영역은 눈을 떴을 때는 71.5±50.9 mm²,

Table 1. Demographic Factors

No.	Sex	Age (yr)	Weight (kg)	Shoe size (mm)
1	Male	20	64	265
2	Male	21	80	275
3	Female	38	62	245
4	Male	61	61	255
5	Male	47	80	260
6	Male	16	64	270
7	Male	21	81	280
8	Female	35	63	235
9	Female	41	57	250
10	Male	50	87	265
11	Female	24	70	240
12	Male	28	74	260
13	Male	21	72	255
14	Male	18	68	275
15	Female	26	59	250
16	Female	32	66	240
17	Male	36	112	290
18	Male	19	88	275
19	Male	25	70	260
20	Female	20	56	225
21	Male	60	75	255
22	Male	26	78	260
23	Female	23	45	235
24	female	24	60	250
25	Male	19	80	270
26	Male	25	75	260
27	Male	45	81	275
28	Male	19	80	270
29	Male	21	65	255
30	Male	38	87	275

눈을 감았을 때 $211.4 \pm 129.9 \text{ mm}^2$ 이었으며 건측의 압력 중심의 타원 영역은 눈을 떴을 때는 $56.1 \pm 35.6 \text{ mm}^2$, 눈을 감았을 때 $234.4 \pm 202.6 \text{ mm}^2$ 으로 나타났다. FAOS의 각 세부 항목은 통증 72.8, 증상 80, 기능 87.5, 스포츠 58.9, 삶의 질 42.9로 평균 68.42점이었다. 이에 대해 상관계수를 평가하였고 눈을 떴을 때 환측의 이동거리는 FAOS의 통증 항목에 대해 -0.394 ($p=0.038$), 전체 평균 점수에 대해 -0.429 ($p=0.023$)였으며 타원 영역은 삶의 질 항목에서 -0.425 ($p=0.024$)의 유의한 음의 상관관계를 보였다(Table 2, Fig. 4). 반면, 눈을 감았을 때 측정된 압력 중심의 이동거리, 타원 영역은 환측에서 유의한 상관관계를 보이지 않았다($p>0.05$).



Figure 1. Measuring center of pressure (open eyes).



Figure 2. Measuring center of pressure (closed eyes).

고찰

동적 균형 검사인 Star Excursion Balance Test (SEBT)와 Y Balance Test (Y-BT)는 움직임 상태에서의 발목 불안정성을 평가하기 위한 검사이다.^{8,9)} 보편적으로 사용되는 SEBT는 한 발 서기 상태에서 동적 균형을 평가하는 검사이며 맨발로 양손을 골반에 얹고 한 발로 선 상태를 시작 자세로 하여 반대쪽 발을 뻗어서 발가락 끝이 지면에 살짝 닿게 한 후 다시 시작 자세로 돌아올 수 있는 최장 도달 거리를 센티미터(cm)로 측정한다. 각각 여덟 방향(anterior, anteromedial, anterolateral, medial, lateral, posterior, posteromedial, posterolateral)에서 최장 도달 거리를 측정한다.⁸⁾ 하지만 SEBT는 발목관절뿐 아니라 무릎, 고관절 및 몸통 조절에 의해서도 크게 영향을 받는 제한이 있고 과정이 복잡하여 평가 결과가 정량적이지 않다는 단점이 있다.¹⁰⁾ 반면 Y-BT는 여덟 방향을 측정하는 SEBT에 비해 세 방향(anterior, posteromedial, posterolateral)으로만 수행하여 반복성을 높이고, 검사시간이 적게 소요되며, 평가자 간 신뢰도를 지니고 있기에 효율적이고 쉬운 검사방법으로써 언급되

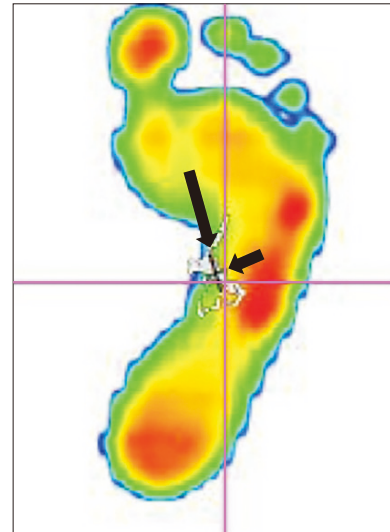


Figure 3. Male (64 kg, 20 years old), shoes size 265 mm, center of pressure (open eyes) was examined during single leg standing for 30 seconds (short arrow : traveled distance, long arrow : ellipse area).

Table 2. Result of the Affected Side Examined with Open Eyes (Pearson Correlation Coefficients)

Variable	Distance	Ellipse area	Ellipse principal axis	Ellipse secondary axis
Pain	-0.394 ($p=0.038$)*	0.326 ($p=0.091$)	0.252 ($p=0.196$)	0.252 ($p=0.196$)
Symptoms	0.080 ($p=0.687$)	0.080 ($p=0.687$)	-0.144 ($p=0.465$)	0.109 ($p=0.581$)
QOL	0.109 ($p=0.581$)	-0.425 ($p=0.024$)*	0.367 ($p=0.054$)	0.399 ($p=0.036$)
Sports	0.215 ($p=0.303$)	0.138 ($p=0.510$)	0.168 ($p=0.423$)	0.129 ($p=0.538$)
FAOS total	-0.429 ($p=0.023$)*	0.358 ($p=0.061$)	0.311 ($p=0.107$)	0.342 ($p=0.075$)

QOL: quality of life, FAOS: foot and ankle outcome score.

*Statistically significant ($p<0.05$).

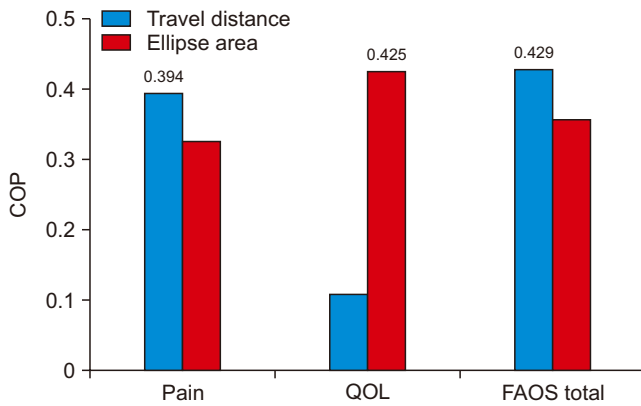


Figure 4. Correlation between center of pressure and FAOS. COP: center of pressure, QOL: quality of life, FAOS: foot and ankle outcome score.

고 있으나 발목관절 이외에 다른 관절이 하지 불안정성에 미칠 수 있는 가능성에 대해서 배제할 수 없다.^{1,9)} 또 이러한 검사들을 시행하기 앞서 기구가 없다면 쉽게 검사할 수 없다는 단점이 있다. SEBT와 Y-BT 검사는 여러 논문들을 통해서 효용성은 증명되나, 동작을 평가하는 테스트를 단독으로 발목 불안정성을 증명하기 위한 기준지표로 사용하는 것에 의문점이 있음을 제기하였다.¹⁾

본 연구는 족저압 중심의 전후 길이 및 족부 전체의 전후 길이 비인 전후 지수를 구하여 불안정한 발목상태를 객관화하였고 바닥에 발을 디을 때 발바닥에 가해지는 압력의 변화와 압력의 중심이 이동하는 방향을 알 수 있는 족압검사를 이용하여 측정된 족부의 발목 압력 중심과 타원 영역에 대하여 환자 증상과의 관련성을 살펴보았다. 일상생활에서 걷기, 달리기, 방향전환, 계단 오르고 내리기에 필수적인 요소인 한 발 서기는¹¹⁾ 다양한 균형 장애를 가진 사람들의 균형 평가를 위한 임상적 평가로 사용되고 있으며,¹²⁻¹⁴⁾ 다른 외부의 지지 없이 한 발로 오래 서있는 방법으로 정적 균형 능력을 평가하는 것으로 높은 신뢰도를 가지고 있다.^{15,16)} 한 발 서기에 대한 평가는 주로 정적 자세를 유지하는 시간 측정으로 이루어져 왔으며^{11,17)} 압력 중심점 변인들은 이러한 자세 제어를 평가하는 데 주로 사용되는 신뢰성과 타당성이 높은 변인이다.¹⁸⁾ 또한 압력 중심점 변인들의 결과가 증가하는 것은 안정성의 감소 혹은 자세 제어 능력의 감소로 해석된다.¹⁹⁾

본 연구에서 건측과 환측 모두 눈을 떴을 때보다 눈을 감았을 때 증가된 결과를 보였고 이는 자세 제어 능력이 감소하였다고 판단될 수도 있지만, 이 결과의 자세 제어 능력 감소 원인이 모두 발목의 불안정성만이라고 할 수는 없다. 한 발 서기와 같은 평형을 유지하기 위해서는 발목의 인대와 근육의 역할뿐만 아니라 전정계, 시각계, 체성감각으로부터의 구심성 정보가 뇌 중추에서 통합 조절되어 전체적인 밸런스에 관여하기 때문이다.¹⁹⁾ 따라서 건측과 환측 모두 눈을 감고 진행한 검사는 발목의 단독 불안정성을 판단할 수 없고, 눈을 뜨고 검사를 진행하는 것이 발목 자체의 불안정성을 판단하는 데 더욱 정확할 수 있다.

한 발 서기 자세 제어에 관련된 선행 연구에서 눈 뜨고 한 발 서기 시 압력 중심점 변인에서 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났으나, 눈 감고 한 발 서기 시에는 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다.²⁰⁾ 그러나 본 연구에서는 선행 연구 결과와 반대로 눈 뜨고 한 발 서기 시 압력 중심 변인과 FAOS에서 유의한 결과를 얻었다. 특히 압력 중심 이동거리는 통증과 FAOS 평균 점수와, 타원 영역은 삶의 질과 유의한 결과를 보여 그동안의 연구와는 달리 임상적 의의를 지닌다고 할 수 있다.

발은 지면에 반응하는 힘(ground reaction force)과 압력 중심점 변인들의 측정을 통해 자세 안정성과 균형 평가를 수행한다. 또한 압력 중심점의 움직임 특성은 자세 제어의 신경학적, 역학적 메커니즘 추정에 사용된다.²¹⁻²⁵⁾ 따라서 눈을 감고 검사를 하는 것이 높은 수치의 결과 값을 나타낼 수 있지만 발목 불안정성의 단독 결과라고 할 수 없다. 눈을 감는 것은 시각계에서 유지하는 평형 감각을 차단시켜 압력 중심의 변인에 추가적 요인으로 작용하게 된다.²⁶⁾ 따라서 눈을 뜨고 검사를 진행하는 것이 평형에 대한 전정계와 시각계를 유지한 상태에서 발목만의 단독 평가가 가능하다.

자세 제어는 주어진 조건에서 평형 상태를 유지하기 위해 기저면 내에서 중력 중심의 움직임을 최소화하거나 안정화하는 능력으로 정의된다.²⁷⁾ 이러한 자세 제어는 일상생활과 신체 활동에 있어 최적의 수행을 위해 필수적인 요소이며,⁶⁾ 움직임에 포함된 직립 자세 유지, 공간 이동, 자세, 기술 등의 수행에 있어 중요한 역할을 한다. 따라서 우리의 연구는 만성 발목 불안정성을 가진 환자들에게서 자세 제어의 재활을 어떻게 시행하는지가 중요하다고 판단하였고 눈을 감고 시행하는 것보다 눈을 뜨고 시행하는 것이 발목 단독 재활에도 더 큰 영향을 줄 수 있을 것이라 생각한다. 추후 눈을 감거나 뜨는 것 외에도 발목 불안정성에 대한 독립적인 평가와 재활 방법의 정확성을 위해 추가적인 연구가 필요할 것이다.

본 연구의 제한점은 모든 환자에게 부하 검사를 시행하지 않아 기계적 불안정성에 대한 정확한 평가가 이루어지지 않았다는 점이다. 다만, 본 연구에서는 환자의 증상에 대한 설문인 FAOS에 대한 평가를 시행하였기 때문에 기능적 불안정성 환자에 대한 연구로 진행하였다. 또한, 눈을 감은 경우 압력 중심의 이동거리가 건축에서 더 높게 나온 부분에 대한 해석의 어려움이 있었다. 눈을 감은 경우 한 발 서기 측정 시 환자마다 큰 차이를 보였고 이를 통계적으로 해석하기 어려움이 있었는데, 추후 더 많은 환자군이 확보된다면 이에 대한 추가적인 자료를 구축하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 족압검사를 이용한 압력 중심의 측정으로 만성 발목 불안정성 환자를 객관적으로 평가하였으며 눈을 떴을 때의 측정치보다 의미 있음을 보여주었다. 본 연구를 바탕으로 눈을 뜨고 한 발

로 섰을 때의 족부 압력 중심 분석이 향후 만성 발목 불안정성 환자의 치료 방침 결정 및 결과 분석에 활용될 수 있을 것이다.

ORCID

Eun Soo Park, <https://orcid.org/0000-0002-7322-6989>

Ho Seong Lee, <https://orcid.org/0000-0002-2336-9498>

REFERENCES

- Olmsted LC, Carcia CR, Hertel J, Shultz SJ. Efficacy of the star excursion balance tests in detecting reach deficits in subjects with chronic ankle instability. *J Athl Train*. 2002;37:501-6.
- Freeman MA. Instability of the foot after injuries to the lateral ligament of the ankle. *J Bone Joint Surg Br*. 1965;47:669-77. doi: 10.1302/0301-620X.47B4.669.
- Kaikkonen A, Kannus P, Järvinen M. A performance test protocol and scoring scale for the evaluation of ankle injuries. *Am J Sports Med*. 1994;22:462-9. doi: 10.1177/036354659402200405.
- Ji SW, Kim HS, Kwon KW, Shin YO, Kim YJ, Lee JP, et al. The ankle strength, balance and functional ability of the adolescent volleyball players with functional ankle instability. *Korean J Phys Educ-Humanit Soc Sci*. 2004;43:567-78.
- Lee KM, Chung CY, Kwon SS, Sung KH, Lee SY, Won SH, et al. Trans-cultural adaptation and testing psychometric properties of the Korean version of the Foot and Ankle Outcome Score (FAOS). *Clin Rheumatol*. 2013;32:1443-50. doi: 10.1007/s10067-013-2288-1.
- Guillo S, Bauer T, Lee JW, Takao M, Kong SW, Stone JW, et al. Consensus in chronic ankle instability: aetiology, assessment, surgical indications and place for arthroscopy. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2013;99(8 Suppl):S411-9. doi: 10.1016/j.otsr.2013.10.009.
- Lord SR, Murray SM, Chapman K, Munro B, Tiedemann A. Sit-to-stand performance depends on sensation, speed, balance, and psychological status in addition to strength in older people. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2002;57:M539-43. doi: 10.1093/gerona/57.8.m539.
- Plisky PJ, Gorman PP, Butler RJ, Kiesel KB, Underwood FB, Elkins B. The reliability of an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test. *N Am J Sports Phys Ther*. 2009;4:92-9.
- Shin SH, Lee JW, Jeong GY, Kwon TK. Assessment of body for dynamic postural balance exercise. Paper presented at: The Korean Society of Mechanical Engineers Spring Conference; 2011 May; Busan, Korea. p. 2718-9.
- Jonsson E, Seiger A, Hirschfeld H. One-leg stance in healthy young and elderly adults: a measure of postural steadiness? *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2004;19:688-94. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2004.04.002.
- Bohannon RW, Leary KM. Standing balance and function over the course of acute rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*. 1995;76:994-6. doi: 10.1016/s0003-9993(95)81035-8.
- Frzovic D, Morris ME, Vowels L. Clinical tests of standing balance: performance of persons with multiple sclerosis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2000;81:215-21. doi: 10.1016/s0003-9993(00)90144-8.
- Tinetti ME. Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *J Am Geriatr Soc*. 1986;34:119-26. doi: 10.1111/j.1532-5415.1986.tb05480.x.
- Karlsson A, Frykberg G. Correlations between force plate measures for assessment of balance. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2000;15:365-9. doi: 10.1016/s0268-0033(99)00096-0.
- Franchignoni F, Tesio L, Martino MT, Ricupero C. Reliability of four simple, quantitative tests of balance and mobility in healthy elderly females. *Aging (Milano)*. 1998;10:26-31. doi: 10.1007/bf03339630.
- Coughlan GF, Fullam K, Delahunt E, Gissane C, Caulfield BM. A comparison between performance on selected directions of the star excursion balance test and the Y balance test. *J Athl Train*. 2012;47:366-71. doi: 10.4085/1062-6050-47.4.03.
- Ruhe A, Fejer R, Walker B. The test-retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions--a systematic review of the literature. *Gait Posture*. 2010;32:436-45. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.09.012.
- Adlerton AK, Moritz U, Moe-Nilssen R. Forceplate and accelerometer measures for evaluating the effect of muscle fatigue on postural control during one-legged stance. *Physiother Res Int*. 2003;8:187-99. doi: 10.1002/pri.289.
- Goh EK. Clinical application of computerized dynamic posturography. *J Korean Balance Soc*. 2005;4:107-18.
- Verhagen E, Bobbert M, Inklaar M, van Kalken M, van der Beek A, Bouter L, et al. The effect of a balance training programme on centre of pressure excursion in one-leg stance. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2005;20:1094-100. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2005.07.001.
- Haas G, Diener HC, Rapp H, Dichgans J. Development of feedback and feedforward control of upright stance. *Dev Med Child Neurol*. 1989;31:481-8. doi: 10.1111/j.1469-8749.1989.tb04026.x.
- Le Clair K, Riach C. Postural stability measures: what to measure and for how long. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1996;11:176-8. doi: 10.1016/0268-0033(95)00027-5.
- Mauritz KH, Dietz V. Characteristics of postural instability induced by ischemic blocking of leg afferents. *Exp Brain Res*. 1980;38:117-9. doi: 10.1007/bf00237939.
- Riach CL, Hayes KC. Maturation of postural sway in young children. *Dev Med Child Neurol*. 1987;29:650-8. doi: 10.1111/j.1469-8749.1987.tb08507.x.
- Schmit JM, Regis DI, Riley MA. Dynamic patterns of postural sway in ballet dancers and track athletes. *Exp Brain Res*. 2005;163:370-8. doi: 10.1007/s00221-004-2185-6.
- Tsai LC, Yu B, Mercer VS, Gross MT. Comparison of different structural foot types for measures of standing postural control. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2006;36:942-53. doi: 10.2519/jospt.2006.2336.
- Murphy DF, Connolly DA, Beynnon BD. Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *Br J Sports Med*. 2003;37:13-29. doi: 10.1136/bjsm.37.1.13.