

Posturography를 이용한 한발 서기 균형능력 검사의 신뢰도 분석

분당제생병원 재활의학과

이태임 · 강 연 · 이윤수

Reliability of Single Leg Balance Test Using Posturography

Tae Im Yi, Yeon Kang, Yoon Soo Lee

Department of Rehabilitation Medicine, Bundang Jesaeng Hospital, Seongnam, Korea

Posturographic examination is commonly used by clinicians to evaluate standing balance. Because it is performed with double leg standing, it cannot sensitively detect the minor balance problem like functional ankle instability. This study aims to evaluate the test retest reliability of the single leg balance test using Tetrax posturography and its correlation with modified star excursion balance test (mSEBT). 30 healthy participants (16 male, 14 female, mean age 26.3 ± 3.3) were volunteered for this study. We manufactured a specially designed wood plate to assess their single leg standing balance. It was set on each of the 4 force plates of Tetrax posturography (Sunlight Medical Ltd., Ramat Gan, Israel). Stability index were measured based on each single leg stance. Participants performed the single leg balance test on Tetrax posturography in three different times, and they also performed the mSEBT. The test retest reliability of stability index measured by Tetrax posturography was assessed by the intraclass correlation coefficient, and its correlation with the normalized composite distance of mSEBT was assessed by Pearson correlation coefficient. The single leg balance test using Tetrax posturography showed good test retest reliability. There was a negative correlation between the stability index of Tetrax posturography and the normalized composite distance of mSEBT, based on right and left leg stance, respectively. These findings suggest that Tetrax posturography is a useful and reliable tool for single leg balance assessment.

Keywords: Reliability, Postural balance, Proprioception, Ankle injuries

Received: October 2, 2014 Revised: November 17, 2014

Accepted: November 24, 2014

Correspondence: Yeon Kang

Department of Rehabilitation Medicine, Bundang Jesaeng Hospital, 20 Seohyeon-ro 180 beon-gil, Bundang-gu, Seongnam 463-774, Korea

Tel: +82-31-779-0063, Fax: +82-31-779-0635

E-mail: glide@dmc.or.kr

Copyright ©2014 The Korean Society of Sports Medicine

© 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.

서론

발목 관절은 운동이나 일상 생활 중 가장 흔하게 손상될 수 있는 부위 중 하나이며, 이는 대부분 급격히 방향 전환을 하거나 울퉁불퉁한 표면을 걸을 때 예기치 않은 발목의 과도한 내번(inversion)에 기인한다. 발목이 과도하게 내번 및 족저굴곡(plantar flexion)될 때 발목 외측 인대에 손상이 올 수 있으며, 이 중 전거비인대(anterior talofibular ligament)와 종비인대(calcaneofibular ligament) 손상이 가장 흔하다¹⁾. 발목 외측 인대 손상 이후 인대의 구조적인 손상이 없어도 손상 당한 쪽으로

체중을 지지하였을 때 발목이 꺾일 것 같은 주관적인 느낌을 호소하는 경우가 있는데, 이를 기능적 불안정성(functional ankle instability)이라 한다¹⁻³⁾. 이는 상당수의 환자들에서 동일한 부위에 재발을 경험하게 하는 주원인이 되기 때문에 이러한 환자들의 재발 치료 과정에서 기능적 불안정성을 객관적으로 진단하고 평가 하는 것은 매우 중요한 역할을 한다.

Posturography는 기립 시 자세 균형을 객관적으로 평가할 수 있는 도구 중 하나로서 힘판을 통해 자세의 흔들림을 정량적으로 측정하고 분석할 수 있다. 이 중 Tetrax posturography (Sunlight Medical Ltd., Ramat Gan, Israel)는 4개의 각각 독립된 힘판을 통해 자세 흔들림을 분석하여 다양한 균형 관련 지수들을 산출할 수 있다. 검사 시 좌우 전족부와 후족부를 각각의 힘판 위에 놓고 기립한 상태에서 시각이나 체성 감각을 차단하거나 다양하게 자세를 변화시키면서 균형을 평가한다. 이를 통해 뇌졸중, 파킨슨병, 척수손상 등으로 인해 균형 능력이 현저히 저하된 환자들에서만뿐만 아니라^{4,6)}, 당뇨병성 말초신경병증 환자들의 균형 평가 시에도 유용하게 사용되고 있다⁷⁾. 하지만 발목 손상 이후 편측의 기능적 불안정성이 발생하였더라도 양발로 서있는 자세에서 균형을 유지하는데 지장이 없기 때문에 Tetrax posturography를 이용한 균형 측정 방법으로 이를 민감하게 평가하기에는 한계가 있다. 발목에 기능적 불안정성이 있는 환자들은 특히 한발 서기 자세에서 균형 유지 능력이 저하되어 있기 때문에¹⁾, 저자들은 한발로 섰을 때 Tetrax posturography를 이용할 수 있는 방법을 고안하였다. 따라서 본 연구에서는 정상인을 대상으로 이 검사 방법에 대한 검사

재검사 신뢰도를 알아보고, 발목의 기능적 불안정성을 평가하는데 많이 사용되고 있는 star excursion balance test (SEBT)와의 상관 관계에 대해 알아보고자 하였다.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 한발 서기 자세를 유지하는데 신체적 결함이 없는 대학생 및 일반인 30명(남자 16명, 여자 14명)을 대상으로 하였다. 이들의 평균 나이, 키 및 몸무게는 26.3 ± 3.3 세, 169.6 ± 8.9 cm, 66.9 ± 15.0 kg이었다. 최근 1년 내에 하지를 다쳤던 적이 있거나, 하지 수술력, 신경학적 질환, 전정기관 질환이 있는 자들은 대상자에서 제외하였다. 모든 대상자들은 본 연구의 목적과 방법에 대하여 충분히 설명을 들은 후 연구 참여에 대한 동의서에 서명하였다.

2. 검사 방법

1) Tetrax posturography

Tetrax posturography의 힘판은 4개로 분리되어 있으며 각각 양발의 전족부와 후족부로부터의 수직압력 변화를 측정한다. 전족부 힘판은 가로 12 cm, 세로 19 cm의 직사각형이며, 후족부 힘판은 가로 12 cm, 세로 12 cm의 정사각형이다. 실험자가 힘판에 양발을 위치시키고 섰을 때 힘판에 주어지는 압력에

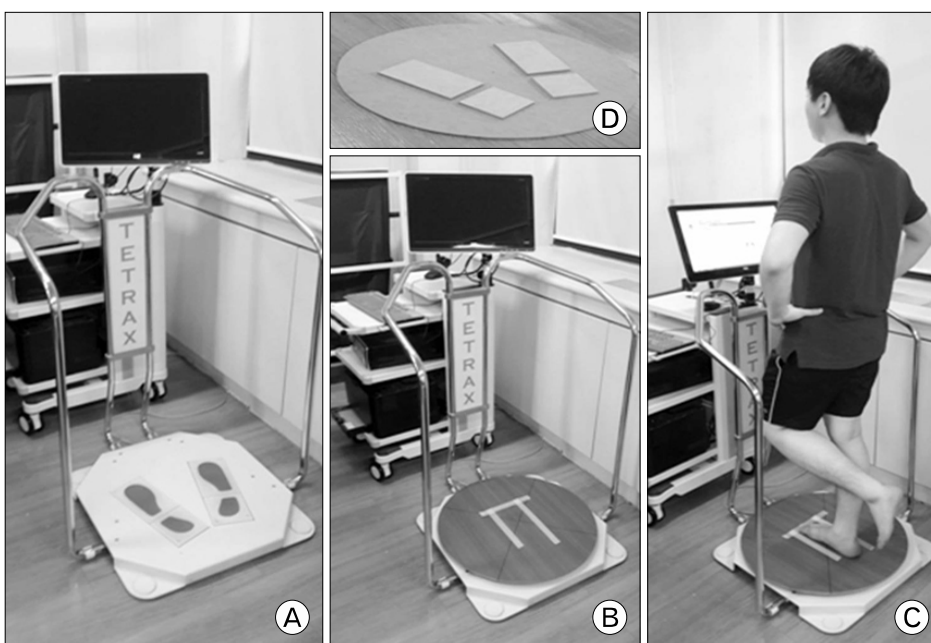


Fig. 1. (A) Tetrax posturography is composed of monitor, desk-top and four separate force plates. (B) Specially manufactured wood plate which installed on each of the four force plates. (C) Performing the single leg balance test. (D) Bottom surface of the wood plate.

대한 데이터는 Tetrax 소프트웨어 프로그램을 통해 분석된다. 저자들은 Tetrax posturography 회사에 의뢰하여 한발 서기 상태로 4개의 힘판에 모두 압력을 전달할 수 있도록 나무판을 제작하였다(Fig. 1D). 아래면에 부착된 4개의 판이 모든 힘판을 동시에 누를 수 있도록 나무판을 Tetrax posturography에 위치시켰고, 이를 움직이지 않도록 고정시킨 뒤 모든 참가자들이 동일한 조건에서 검사를 시행하였다. 검사 시행 전 나무판 위에 바벨을 올려 놓고, 각 힘판에 전달된 무게를 모니터로 확인하면서 4개의 힘판으로 모두 동일한 무게가 전달되는 위치를 찾아 표시하였다. 참가자들은 맨발로 나무판에 표시된 위치에 발을 올려 놓고 한발 서기 검사를 수행하였다. 한발 서기 시 양손을 골반에 얹고 정면을 주시하면서 반대쪽 발을 살짝 지면으로부터 든 채로 좌우 각각 30초간 유지하도록 하였다(Fig. 1). 균형 평가 척도로서 안정성 지수(stability index)를 사용하였는데 이는 Tetrax 소프트웨어 프로그램을 통해 산출된 수치로서 이 수치가 높을수록 검사 시 자세가 많이 흔들렸다고 해석할 수 있다⁸⁾. 한발 서기용 발판을 이용한 Tetrax posturography의 검사 재검사 신뢰도를 평가하기 위해 동일한 검사를 3회 시행하였다. 그리고 반복 검사로 인한 발목의 피로도가 검사 결과에 영향을 미치지 않도록 각 검사 사이에 5분간의 휴식 시간을 가졌다.

2) SEBT

SEBT는 한발 서기 상태에서 동적 균형을 평가하는 검사이다. 맨발로 양손을 골반에 얹고 한발로 선 상태를 시작 자세로, 반대쪽 발을 뺀어서 발가락 끝이 지면에 살짝 닿게 한 후 다시 시작 자세로 돌아올 수 있는 최장 도달 거리를 센티미터로 측정하였다(Fig. 2). 검사 도중 서있는 발이 지면에서 떨어지거나 자세가 흐트러져서 시작 자세로 돌아오지 못하는 경우,

또는 뺀 발로 지면에 체중 부하를 하게 되면 실패한 것으로 간주하였다. 이 외에 체간 및 엉덩이, 무릎, 발목 등의 하지 관절에서의 움직임은 허용되었다. 각각 여덟 방향에서 (anterior, anteromedial, anterolateral, medial, lateral, posterior, posteromedial, posterolateral) 최장 도달 거리를 측정하는 것이 본래의 검사 방법이지만, 각 방향 간 불필요한 중복과 검사 시간이 오래 걸리는 등의 단점이 있기 때문에 본 연구에서는 modified SEBT (mSEBT) protocol을 따라 세 방향에서만 (anterior, posteromedial, posterolateral) 측정하였다⁹⁻¹¹⁾. 시작 전 검사자가 먼저 참가자들에게 시범을 보였고, 검사 방법을 충분히 숙지시킨 후 검사를 진행하였다. 참가자들이 검사 방법에 익숙해지기 전까지 학습효과(practice effect)가 있기 때문에 4번의 연습 시도 이후 검사를 시작하였고¹²⁾, 이후 총 3회 시도 후 평균값을 도달 거리로 하였다. 최대 도달 거리는 균형 능력 뿐만 아니라 참가자의 다리 길이에도 영향을 받기 때문에 이를 배제하기 위해, 측정된 거리를 다리 길이로 나눈 후 100을 곱하여 다리 길이에 대한 비율(% leg length)로 최장 도달 거리를 계산하였다. 그리고 이를 통해 얻은 세 방향의 거리를 평균 내어 normalized composite reach distance를 산출하였다. 다리 길이는 누운 자세에서 위앞엉덩뼈가시부터 안쪽 복사까지의 길이로 측정하였다.

3. 통계 분석

Tetrax posturography에서 한발 서기용 발판을 이용하여 측정한 안정성 지수의 검사 재검사 신뢰도는 급내상관계수로 평가 하였다. 그리고 Pearson 상관계수를 통하여 mSEBT의 normalized composite reach distance와의 상관관계 여부를 평가 하였다. 통계 분석을 위해 PASW Statistics ver. 18 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하였다.

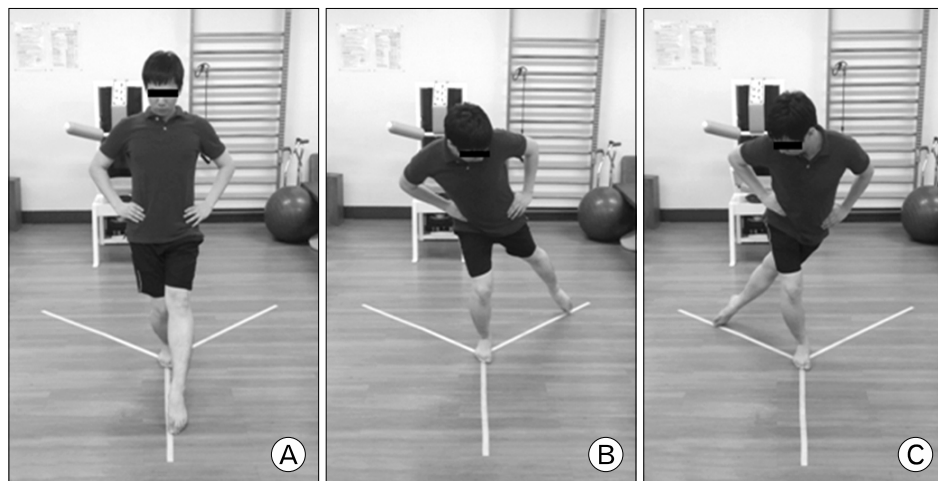


Fig. 2. (A) Anterior, (B) Posteromedial, (C) Posterolateral reach directions of the modified star excursion balance test based on right leg stance.

Table 1. Results of stability index of Tetrax posturography and normalized composite reach distance of modified star excursion balance test

	Right	Left
Stability index*	38.06±8.67	36.48±7.7
Normalized composite reach distance (% leg length) [†]	90.22±5.82	90.77±6.14

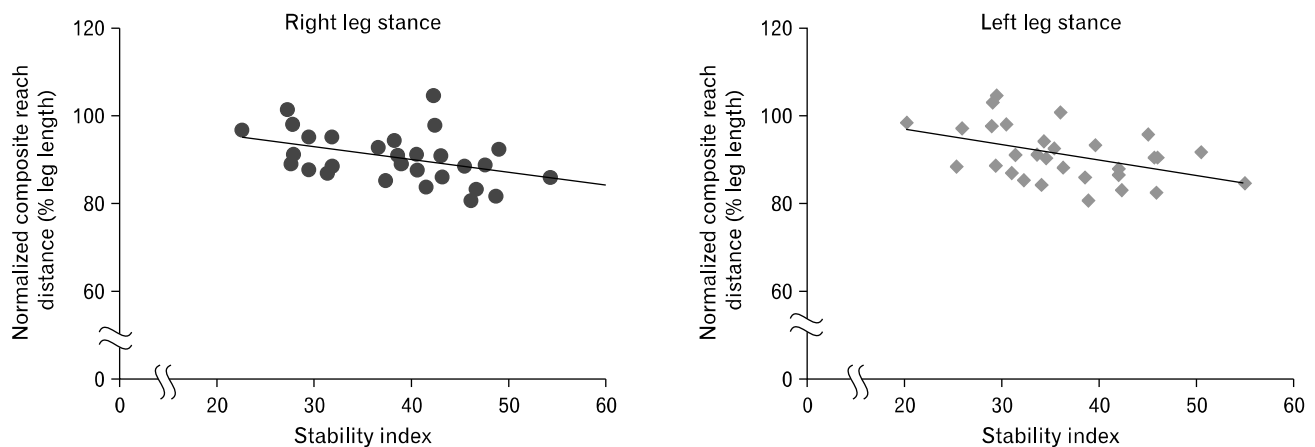
Values are presented as mean±standard deviation.

*Mean of the each three trials; [†]Normalized to limb length.

Table 2. Test retest reliability of stability index measured by Tetrax posturography based on each single leg stance

	Right		Left		p-value
	ICC	95% CI	ICC	95% CI	
Test retest reliability	0.762	0.614–0.868	0.725	0.563–0.816	0.000

ICC: intraclass correlation coefficient, CI: confidence interval.

**Fig. 3.** Statistically significant ($p<0.05$) and negative correlation was observed between the stability index of Tetrax posturography and the normalized composite distance of modified star excursion balance test, based on right and left leg stance, respectively.

결 과

한발 서기 상태로 Tetrax posturography에서 총 3회 안정성 지수를 측정하였고, 평균값은 오른쪽 다리로 섰을 때 38.06 ± 8.67 , 왼쪽 다리로 섰을 때 36.48 ± 7.7 이었다(Table 1). 총 3회 시행한 검사에 대한 급내상관계수는 오른쪽에서 0.762, 왼쪽에서 0.725 이었다(Table 2). mSEBT로 산출한 normalized composite reach distance는 오른쪽 다리로 섰을 때 90.2 ± 5.8 , 왼쪽 다리로 섰을 때 90.7 ± 6.1 이었다. 한발 서기 상태에서 Tetrax posturography로 측정한 안정성 지수와 normalized composite reach distance 간에 오른쪽 다리로 섰을 때($r=-0.444$, $p=0.014$)와 왼쪽 다리로 섰을 때($r=-0.448$, $p=0.013$) 모두 각각 음의 상관 관계를 보였고 이는 통계적으로 유의했다(Fig. 3).

고 찰

균형 조절은 시각, 전정감각, 그리고 고유감각 등이 중추신 경계에서 통합되어 다중감각 되먹임을 거쳐서 이루어 진다. 이 중에서도 발목은 특히 기립 자세에서 균형을 유지하는데 중요한 역할을 한다. 외측 발목 인대 손상 이후 기능적 발목 불안정성으로 인해 재발을 겪는 환자들은 발목으로부터의 고유 수용 감각이 저하되어 있으며, 기계적 감각 수용기 손상 뿐만 아니라 비복근 내의 근방추 활성화도 변화가 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다¹³⁾. 그리고 신경근 동원 전략의 저하로 인해 예상치 못하게 발목이 내반 될 경우 이에 대한 비골근의 반사 반응이 느려져 재발의 원인이 된다. 이로 인해 발목 염좌 가 지속적으로 재발하는 환자에서는 특히 손상측으로 한발

서기 시 균형 조절 능력이 저하되어 있다. 이를 평가하기 위해 진료실에서 직접 환자에게 좌우 각각 한발 서기를 시키면서 비교해 볼 수 있지만 결과 해석에 주관적인 요소가 개입될 수 있고, 재활 치료를 시행하면서 호전 여부를 확인하기 위한 추적 검사로서의 활용도는 떨어진다. 이를 객관적으로 평가하기 위한 방법으로 갑작스러운 발목의 내반에 대한 비골근의 반응 시간을 표면 기록 전극을 통해 측정하거나, 신체에 특수한 센서를 부착하여 발목 관절의 위치 감각을 측정하는 방법들이 있다¹³⁾. 하지만 posturography를 이용하면 이들 방법보다 비교적 쉽게 객관적이고 정량적인 결과값을 도출해 낼 수 있다. 그리고 치료 전후의 결과값 비교를 통해 환자들이 재활 치료 과정에 능동적으로 참여할 수 있도록 동기를 부여 하는데 도움이 될 것이다.

본 연구에서는 한발 서기 유지 시 자세 흔들림을 평가하기 위해 균형 평가 지수로서 안정성 지수만을 사용하였다. 또 다른 Tetrax posturography의 균형 평가 지수로서 안정성 지수 이외에도 4개의 힘판에 각각 가해지는 체중의 분포 정도를 나타내는 체중 분포 지수, 전족부와 후족부간, 좌우 전족부간 또는 후족부간에 측정된 진동의 파형을 비교하여 산출한 동시성 지수, 자세 흔들림의 주파수를 분석하여 산출한 푸리에 지수 등이 있다. 본 연구에서 사용된 나무판 위에 참가자가 한발로 서면 Tetrax posturography의 네 개의 힘판으로 동시에 동일한 수직 압력이 전달된다. 그렇기 때문에 양발 서기 상태에서 검사할 때보다 한발로 섰을 때 오히려 각각의 힘판으로 전달되는 체중이나 자세 흔들림의 파형 차이가 적게 측정되어서 체중 분포 지수와 동시성 지수를 민감한 지표로 활용할 수 없었다. 푸리에 지수는 푸리에 변환을 통해 자세 흔들림의 강도를 회귀 분석한 값으로, 균형 저하를 유발하는 병변의 부위에 따라 각기 다른 주파수의 흔들림이 나타나는데 해당 주파수의 푸리에 지수가 높을수록 해당 부위에 병적인 상태를 시사한다. 양발로 서있는 자세에서 0.1 Hz 이하의 흔들림은 안정적인 자세를 유지하는 상태에서 나타나며, 전정 기관 이상 시 0.1-0.5 Hz, 하지와 척추로부터의 체성 감각 이상 시 0.5-1 Hz, 중추신경계 이상 시 1 Hz 이상의 자세 흔들림이 나타나는 것으로 알려져 있다⁸⁾. 하지만 이러한 기준을 한발로 서있을 때의 자세 흔들림에 그대로 적용할 수는 없기 때문에 푸리에 지수 역시 본 연구에서 사용하지 않았다. 실제로 대부분의 참가자들이 한발로 섰을 때 1 Hz를 훨씬 초과하는 자세 흔들림을 보여서 의미 있는 결과값을 산출할 수 없었다. 그리고 저자들은 Tetrax posturography를 이용하여 비교적 단시간 내에 간단하게 시행할 수 있는 검사를 고안하고자 하였기 때문에

안정성 지수에 대한 신뢰도 평가만을 시행하였다. 각 검사 사이에 5분의 휴식 시간을 가지면서 총 3회 동일한 검사를 시행하였고 그 결과 높은 검사 재검사 신뢰도를 보였다. 앞으로 본 방법으로 측정한 안정성 지수를 신뢰할 수 있는 결과값으로 이용할 수 있을 것이라 생각된다.

SEBT는 한발서기 상태로 동적 균형을 평가하는 검사로, 여러 연구를 통해 증명된 기능적 발목 불안정성을 평가하는데 민감한 평가 도구이며 검사자내, 검사자 간 신뢰도도 우수한 것으로 알려져 있다^{14,16)}. 그리고 최근에는 세 방향에서만 측정한 최장 도달 거리로 평가하는 방법이 추천되고 있다¹¹⁾. 본 연구에서는 Tetrax posturography를 이용하여 한발 서기 상태로 측정한 안정성 지수에 대하여 mSEBT의 normalized composite reach distance와 어떠한 상관 관계를 갖는지 알아보았다. 그 결과 두 검사의 결과값 사이에 유의한 음의 상관 관계가 관찰되었다. 이는 Tetrax posturography를 이용하여 한발 서기 상태로 측정한 안정성 지수가 높을수록 normalized composite reach distance가 짧음을 의미한다. 하지만 강한 수준의 상관 관계를 보이지는 않았는데, posturography는 단순히 한발 서기 자세를 유지하는 동안의 자세 흔들림 정도를 측정하는 정적인 검사이고, mSEBT는 최대 도달 거리를 측정하는 동적인 검사이기 때문에 여기에서 기인한 차이가 두 검사 간 상관 관계에 있어서 변수로 작용한 것으로 보인다. mSEBT 시행 시에는 검사 자체의 학습 효과로 인해 최소 4번의 연습 시도 후에 정식 평가를 진행하도록 권장되고 있다. 그렇기 때문에 특히 고령의 환자들에서는 검사 방법 교육 및 시행에 시간이 오래 걸리고 환자의 협조 정도에 따라 결과값이 크게 영향을 받을 수 있다. 하지만 저자들이 고안한 방법은 특별한 교육 없이 간단하게 시행할 수 있기 때문에 실제 진료 현장에서 쉽게 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

한발 서기 자세에서 정적 균형을 정량적으로 평가할 수 있는 효과적인 임상 검사가 부족하기 때문에 인해 본 연구에서는 신뢰도 분석 이외에 추가적으로 mSEBT와의 연관성을 알아 보았다. 하지만 mSEBT는 발목 관절뿐 아니라 무릎, 엉덩관절 및 몸통 조절에 의해서도 크게 영향을 받는 검사이기 때문에 두 검사의 결과값이 서로 직접적으로 연관되어 있다고 해석하기엔 무리가 있을 것이다. 그리고 본 연구는 건강한 젊은 성인을 대상으로만 시행되었기 때문에, 본 검사 방법이 임상에서 의미 있게 사용되기 위해서는 앞으로 다양한 연령대 및 실제 발목의 기능적 불안정성을 가진 환자들을 대상으로 추가적인 연구가 필요할 것이다. 동일한 검사를 반복 수행 시 발목의 피로가 결과에 영향을 미치지 않도록 5분간 휴식을 취하면서

검사를 시행하였지만, 비교적 검사 간격이 짧아서 학습효과를 완전히 배제할 수 없었다. 하지만 따로 검사 방법을 습득해야 하는 과정이 없는 검사이기 때문에 학습효과에 의한 영향은 적을 것으로 생각된다. 실제로 각 시도마다 참가자들의 결과값 사이에는 유의한 차이를 보이지 않았다.

본 연구를 통해 Tetrax posturography를 이용하여 한발 서기 자세로 측정한 안정성 지수는 높은 검사 재검사 신뢰도를 보여주었다. 그리고 동적 균형을 평가하는 도구로써 많이 사용되고 있는 mSEBT의 결과와도 유의한 상관 관계를 갖는 것으로 밝혀졌다. 앞으로 발목의 기능적 불안정성을 진단하거나 재활 치료 전후로 호전 여부를 평가 시 객관적인 검사 도구로써 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- Hertel J. Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *J Athl Train* 2002;37:364-75.
- Freeman MA, Dean MR, Hanham IW. The etiology and prevention of functional instability of the foot. *J Bone Joint Surg Br* 1965;47:678-85.
- Tropp H. Commentary: functional ankle instability revisited. *J Athl Train* 2002;37:512-5.
- Kim HM, Chun MH, Kim CR, Park JY. Effects of dynamic ankle-foot orthosis on postural balance control in hemiparetic patients. *J Korean Acad Rehabil Med* 2011;35:188-94.
- Kim BR, Choi KH, Chun MH, Lee MC, Chung SJ, Jang KW. Evaluation of balance control in patients with idiopathic parkinson's disease using tetra-ataxiometric posturography. *J Korean Acad Rehabil Med* 2009;33:538-46.
- Lee GE, Bae H, Yoon TS, Kim JS, Yi TI, Park JS. Factors that influence quiet standing balance of patients with incomplete cervical spinal cord injuries. *Ann Rehabil Med* 2012;36:530-7.
- Oppenheim U, Kohen-Raz R, Alex D, Kohen-Raz A, Azarya M. Postural characteristics of diabetic neuropathy. *Diabetes Care* 1999;22:328-32.
- Kohen-Raz R. Application of tetra-ataxiometric posturography in clinical and developmental diagnosis. *Percept Mot Skills* 1991;73:635-56.
- Hertel J, Braham RA, Hale SA, Olmsted-Kramer LC. Simplifying the star excursion balance test: analyses of subjects with and without chronic ankle instability. *J Orthop Sports Phys Ther* 2006;36:131-7.
- Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, Underwood FB. Star excursion balance test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *J Orthop Sports Phys Ther* 2006;36:911-9.
- Hertel J. Sensorimotor deficits with ankle sprains and chronic ankle instability. *Clin Sports Med* 2008;27:353-70.
- Robinson RH, Gribble PA. Support for a reduction in the number of trials needed for the star excursion balance test. *Arch Phys Med Rehabil* 2008;89:364-70.
- Munn J, Sullivan SJ, Schneiders AG. Evidence of sensorimotor deficits in functional ankle instability: a systematic review with meta-analysis. *J Sci Med Sport* 2010;13:2-12.
- 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.
- Munro AG, Herrington LC. Between-session reliability of the star excursion balance test. *Phys Ther Sport* 2010;11:128-32.
- Gribble PA, Hertel J, Plisky P. Using the star excursion balance test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *J Athl Train* 2012;47:339-57.