

대한물리치료과학회지

Journal of Korean Physical Therapy Science
2022. 09. Vol. 29, No.3, pp. 56-62

정적 서기 동안 한쪽 또는 양쪽 발목관절 고정이 자세균형에 미치는 영향

한진태

경성대학교 물리치료학과

Effects of Unilateral or Bilateral Ankle Immobilization on Postural Balance During Quiet Standing

Jin Tae Han, Ph.D., P.T.

Dept. of Physical Therapy, Kyungseong University

Abstract

Background: The purpose of this study was to investigate the effects of ankle joint immobilization on postural balance during quiet standing.

Design: Cross-sectional study

Methods: Twenty-seven healthy subject participated in this study. The subjects performed to stand quietly for 30s in eyes open on the platform with three different conditions. The sway length, sway area and sway velocity of center of gravity (COG) displacement and limit of stability (LOS) was measured using the balance platform. Repeated measured ANOVA was used to compare the postural balance parameters depending on three different ankle immobilized conditions.

Results: Sway length, sway area and sway velocity of the COG displacement with bilateral ankle immobilized condition was significantly increased compared to those of the other two conditions($p<0.05$). All directions of LOS with bilateral ankle immobilized condition were significantly decreased compared to those of the other two conditions.

Conclusion: These findings suggest that ankle joint immobilization could be one of the factors that inter-

fere the maintaining of the postural balance in quiet standing.

Key words: ankle immobilization, postural balance, quiet standing.

교신저자

한진태 교수
부산시 남구 수영로 309 경성대학교 12호관 403호
T: 051-663-4871, E: jthan2001@ks.ac.kr

I. 서론

자세균형이란 일상생활을 유지하고 과제를 수행하도록 허용하는 기본적 요소이며 어떠한 동요에 대한 신체 균형을 유지하기 위해 지지면내에서 무게중심을 되돌릴 수 있는 능력을 말한다(Basnett 등, 2013). 자세조절은 가만히 서 있는 동안 균형을 유지하도록 하는 복잡한 시스템이며 균형을 유지하기 위해 요구되는 정보는 전정기관, 고유수용감각 그리고 시각 등을 포함한 신체계통으로부터 확보된다(Karimi 등, 2008; Lee, 2010). 자세균형과 자세조절을 유지하는 능력은 생역학적 과제 조건, 운동전략, 공간 속 방향성, 동적 조절, 감각 전략 그리고 인지과정 등에 영향을 받는다(Salsabili 등, 2011; Choi 등, 2022).

바로 서기 동안 균형전략으로는 시상면상에서 무게중심의 조절에 의해 안정성을 회복하는 운동패턴인 발목관절전략, 엉덩관절전략, 그리고 발디딤전략이 사용된다. 균형전략 중 발목관절전략은 가장 먼저 반응하는 전략으로 동요가 비교적 작을 때, 몸의 앞쪽 이동에 대하여 발바닥압힘을 발생시키는 장딴지근의 활성화에 의해 제공된다(Shumway-Cook와 Woollacott, 2006). 그리고 안정성한계(limits of stability, LOS)는 앞뒤 그리고 좌우 지지면의 경계선이며 낙상이 발생하지 않도록 하는 최대 진폭을 의미하며, 이러한 한계점의 인식은 균형을 유지하기 위해 근육을 조정하도록 지속적으로 자극하는 체성감각, 진정기관 그리고 시각정보를 통해 이루어진다(Li, 2014).

발목관절 손상은 활동적인 인구의 15%정도 나타나며 73%이상이 앞목말종아리인대가 주로 손상되는 가쪽발목뻘(lateral ankle sprain)이다(Herzog 등, 2019). 이들 중 12-47%는 재발하며 정상적인 생활이 불편하고 장애를 유발하는 만성발목불안정성이 나타나는 경우도 70%이상이다(Herzog 등, 2019). 이러한 발목관절 손상은 발목관절의 불안정성을 초래하고 근지구력을 감소시켜 자세 조절을 방해하는 원인이 된다(Halabch과 Hassabi, 2020; Wikstrom 등, 2009). 최근 발목뻘과 같은 발목관절 손상 발생 시 발목 관절의 기능이 정상적으로 회복될때까지 발목을 보호하고 안정성을 제공해주기 위해 테이핑이나 부목 등으로 지지하는 방법을 많이 사용한다(Broglio 등, 2009; Lee 등, 2016; 송준영 등, 2022). 하지만 발목 고정은 자세 조절에 긍정적인 효과와 부정적인 효과를 동시에 가지고 있다(Cordova 등, 2002). 발목 고정의 부정적 효과는 발목관절의 운동범위를 제한하고 이는 자세조절을 유지하는 발목전략의 효과를 감소시킨다(Cordova 등, 2000). 반면 발목 고정의 긍정적인 효과는 균형을 유지하는 능력에 도움을 주는 체성감각 되먹임(somatosensory feedback)을 제공한다는 것이다(Stirling 등, 2018). Keene 등(2014)은 발목 골절에 대한 수술 후 조기에 관절 운동 허용이 발목 고정보다 발목관절 기능회복에 효과적이지만 아직까지 근거가 부족하다고 보고하였다. 또한 Broglio 등(2009)은 잘못된 판단에 따른 발목고정보조기의 적용은 보다 심각한 손상을 초래할 수 있는 원인이 될 수 있다.

건강한 성인을 대상으로 다리관절 고정이 자세조절에 미치는 영향을 알아본 선행연구들을 보면, 황수진 등(2008)은 시각차단조건에서 발목과 무릎을 함께 고정한 경우 자세안정지수가 감소한다고 하였고 Broglio 등(2009)도 발목 보조기가 자세조절에 부정적 영향을 미친다고 하였다. 하지만 현재까지 자세조절에 가장 먼저 반응하는 발목관절의 발목고정 조건(무고정, 한쪽고정, 양쪽고정)에 따른 정적 자세균형의 변화를 알아보는 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 건강한 성인을 대상으로 세 가지의 발목고정 조건에 따라 힘판에서의 무게중심의 이동거리, 이동면적, 그리고 이동속도와 안정성 한계의 차이를 반복측정하여 비교하였다. 이를 통해 발목고정 조건이 정적 자세 균형에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 연구의 목적을 충분히 이해하는 건강한 성인 27명(남 16명, 여 11명)을 대상으로 하였다. 대상자에게 연구에 대한 사전 설명과 동의서를 제공하였고 자발적인 참여와 동의서를 받았다. 대상자의 선정기준은 실험에 요구되는 정상 근력과 관절운동범위를 가지고 있는 자, 신경학적·정형외과적 병력이 없는 자로 하였으며, 제외 기준은 발목 등 다리 관절 수술을 한 병력이 있는 자, 선천적 및 후천적 기형이 있는 자, 정신적 질환이 있는 자, 다리길이 차이가 있는 자, 그리고 허리통증이 있는 자로 하였다. 본 연구는 기관생명연구윤리위원회의 승인을 받아 진행하였다(KSU-19-03-003).

2. 실험도구

발목관절 고정 방법에 따른 무게중심의 이동거리, 이동면적, 이동속도와 안정성한계를 측정하기 위하여 균형 훈련시스템인 BT4 balance platform(Balance trainer BT4 2202, HUR labs, Finland, 2012)을 사용하였다. 자료 분석을 위한 사용된 소프트웨어는 HUR Labs Balance Software(HUR Labs balance software Suite, HUR Labs, Finland, 2014)를 사용하였다.

3. 실험절차

대상자의 발목관절 무고정, 발목관절 한쪽고정, 발목관절 양쪽고정인 상태로 각각 측정하였으며 무작위로 배정하여 실험을 진행하였다(Figure 1).

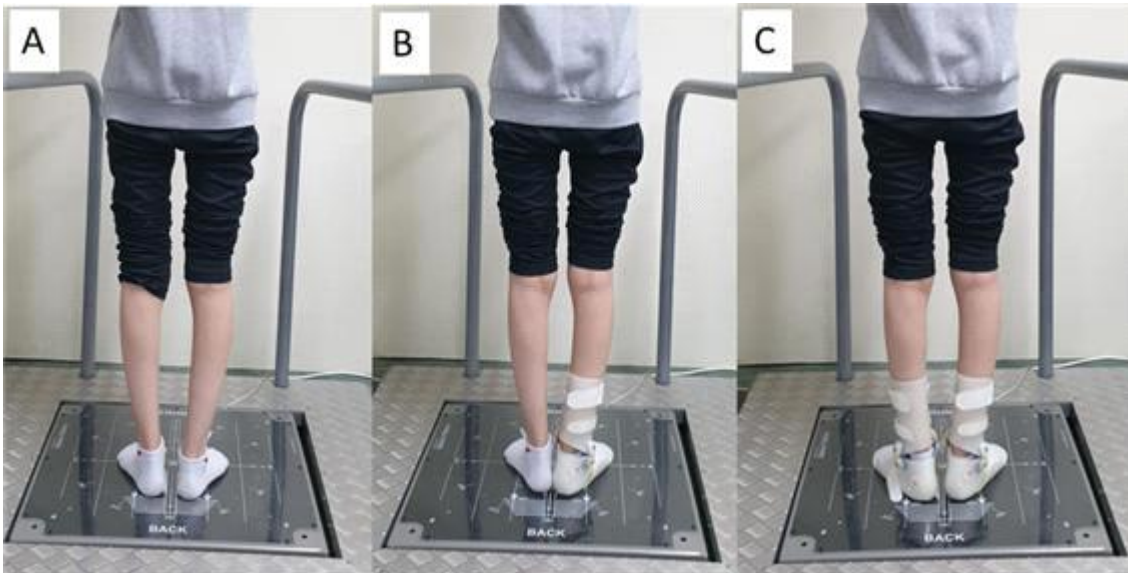


Figure 1. Conditions of ankle immobilization(A: Free ankle, B: Unilateral ankle immobilization, C: Bilateral ankle immobilization).

발목고정은 신발 안에 착용할 수 있는 인솔형 발목보조기(Ankle foot orthosis, AFO)를 사용하였다. 대상자의

발 크기에 따라 착용할 수 있도록 240mm, 250mm, 260mm 세 가지 크기의 AFO를 각 1쌍을 준비하였다. 측정 자세는 BT4 측정장비 위에 V자 모양으로 발을 위치하고 손은 가슴 앞에 X자로 위치한 자세를 취하게 하였다. 자세 균형능력은 30초 동안 눈을 뜬 상태에서 똑바로 선 자세를 그대로 유지하도록 지시하였으며 자세를 유지하는 동안 발이 바닥면에서 떨어지지 않게 하였다. 안정성한계는 눈을 뜬 상태에서 앞, 뒤, 좌, 우 네 방향으로 7초 동안 몸을 최대한 기울이게 하여 앞, 뒤, 좌, 우에서의 최대 이동각도를 측정하였다. 이때 발바닥이 바닥면에서 떨어지지 않도록 지시하였다. 각 측정 동작은 3회 측정하였으며 평균값을 사용하였다. 그리고 각 과제를 수행하는 사이에는 1분의 휴식시간을 제공하였다.

4. 자료분석

본 연구의 결과는 발목고정 조건에 따른 자세균형과 안정성한계의 변화를 알아보기 위해 반복측정분산분석 (Repeated measures ANOVA)을 사용하였고 각 변수들에 대한 평균값과 표준편차를 산출하여 제시하였다. 통계 프로그램은 SPSS 26(IBM SPSS Statistics)를 사용하고, 유의수준(α)은 0.05로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 연구대상자의 일반적 특징

본 연구의 대상자는 정상성인 27명으로 평균 연령은 24.35 ± 5.44 세, 평균 신장은 169.26 ± 3.73 cm, 평균 체중은 62.16 ± 4.72 kg이었다<Table 1>.

Table 1. General characteristics of subjects

Variables	Subjects ($n=27$)
Age (years)	24.35 ± 5.44
Height (cm)	169.26 ± 3.73
Weight (kg)	62.16 ± 4.72
BMI (kg/m ²)	22.82 ± 2.24

^aMean \pm SD.

2. 발목관절 고정조건에 따른 무게중심 이동거리, 이동면적, 이동속도 비교

발목관절 양쪽 고정 조건에서의 무게중심 이동거리, 이동면적, 그리고 이동속도는 발목관절 무고정 조건과 발목관절 한쪽 고정 조건에 비해 통계적으로 유의하게 증가하였다($p < 0.05$)<Table 2>. 또한 발목관절 한쪽고정 조건에서의 무게중심 이동거리, 이동면적, 그리고 이동속도는 발목관절 무고정에 비해 통계적으로 유의하게 증가하였다($p < 0.05$)<Table 2>.

Table 2. Comparison of sway length, sway area and sway velocity of COG depending on the conditions of ankle immobilization

Variables	Conditions of Ankle immobilization			F	p
	FA	UAI	BAI		
Sway length (mm)	180.09±25.56	239.66±24.84*	366.06±66.57†‡	87.05	< 0.01
Sway area (mm ²)	58.06±22.35	139.81±58.17*	252.73±98.44†‡	59.78	< 0.01
Sway velocity (°/s)	6.14±0.87	8.13±1.93*	11.93±2.25†‡	80.13	< 0.01

^aMean±SD, **p*<0.05 significant difference between FA and UAI, †*p*<0.05 significant difference between FA and BAI, ‡*p*<0.05 significant difference between UAI and BAI, FA=free ankle; UAI=unilateral ankle immobilization; BAI=bilateral ankle immobilization.

3. 발목관절 고정조건에 따른 안정성 한계 비교

발목관절 양쪽 고정 조건에서의 앞뒤 그리고 좌우 안정성한계는 모두 발목관절 무고정 조건과 발목관절 한쪽 고정 조건에서보다 통계적으로 유의하게 감소하였고(*p*<0.05)<Table 3>. 또한 발목관절 한쪽고정 조건에서의 앞뒤 그리고 좌우 안정성한계 역시 발목관절 무고정 조건에 비해 통계적으로 유의하게 감소하였다(*p*<0.05)<Table 3>.

Table 3. Comparison of LOS depending on the conditions of ankle immobilization

Variables	Conditions of Ankle immobilization			F	p
	FA	UAI	BAI		
Anterior (deg)	5.93±0.53	4.73±0.63*	3.81±0.60†‡	179.11	< 0.01
Posterior (deg)	5.34±0.36	4.23±0.50*	3.52±0.47†‡	182.50	< 0.01
Left (deg)	6.76±0.42	5.86±0.44*	4.88±0.70†‡	184.72	< 0.01
Right (deg)	6.84±0.33	5.79±0.48*	5.03±0.61†‡	162.18	< 0.01

^aMean±SD, **p*<0.05 significant difference between FA and UAI, †*p*<0.05 significant difference between FA and BAI, ‡*p*<0.05 significant difference between UAI and BAI, FA=free ankle; UAI=unilateral ankle immobilization; BAI=bilateral ankle immobilization.

IV. 고 찰

많은 선행연구에서 발목손상 후 발목불안정성을 개선하기 위한 목적으로 다양한 발목 고정을 치료방법으로 제시하고 있으나 일부 연구자들은 발목 고정을 장기간 적용하는 것보다는 조기에 발목관절 운동을 허용하는 것이 더 효과적이라고 보고하였다(Herzog 등, 2019). 본 연구는 건강한 성인을 대상으로 발목관절 고정을 한쪽 혹은 양쪽 발목을 고정한 경우와 발목을 고정하지 않은 조건에서 자세균형과 안정성한계의 변화를 알아보았고 양쪽발목고정은 한쪽발목고정과 무고정 조건보다 무게중심의 이동거리, 이동면적, 이동속도가 증가하였고 앞뒤 그리고 좌우 안정성한계는 감소하였다.

황수진 등(2008)은 발목과 무릎을 고정한 경우 전후안정성에는 차이가 없었는데 이는 전후안정성을 유지하기 위해 발목관절전략을 사용하는 대신 엉덩관절전략을 사용하였기 때문이라고 하였고 눈뜬 상태에서는 다리관절

고정이 자세 안정성에 위협적이 없다고 보고하였다. 하지만 본 연구의 결과는 눈뜬 상태에서도 발목관절 고정은 무게중심 이동거리, 이동면적 그리고 이동속도를 증가시켰고 이는 발목관절 고정이 정적 자세 유지를 방해하는 원인이라고 생각된다. 또한 발목관절 고정이 모든 방향에서 안전성한계를 감소시켰고 이는 발목관절고정이 자세 안정성에 위협할 수 있다는 근거가 될 수 있을 것이다. 이와 같은 결과는 발목관절보조기 착용이 자세 조절 수행에 부정적인 영향을 미친다는 Broglio 등(2009)의 연구결과와 유사하며 그 원인은 부적절한 발목 관절 운동 때문이라고 보고하였다.

인체에 대한 생역학적 제한은 균형을 유지하기 위해 사용되는 움직임 전략의 선택에 영향을 준다. 즉 발목손상으로 인한 발목관절의 운동범위 제한과 같은 근골격계손상은 무게중심 조절을 위한 지면반발력의 생성 능력이 감소하게 된다(Horak, 2006). 바로 선 자세의 자세조절능력은 발목관절, 무릎관절 그리고 엉덩관절에서 발생하는 힘(torque)이 얼마나 잘 조절되는가에 따라 차이가 있다고 하였고(Edwards, 2007) 자세 조절은 관절의 단단함(stiffness)만으로 조절되고 특히 발목관절의 단단함이 가장 중요한 요인이라고 하였다(Amiri와 Kearney, 2019). 따라서 발목관절의 고정으로 발목전략의 사용이 제한됨으로써 엉덩관절전략이 과하게 사용되어 무게중심 이동거리, 이동면적, 그리고 이동속도가 증가된 것이라고 사료된다.

본 연구의 제한점은 발목 고정이 주로 적용되는 발목관절 주위 손상 환자나 만성발목불안정 있는 대상자가 아니라 건강한 성인을 대상으로 발목 고정을 적용하였기 때문에 연구 결과의 의미를 일반화하기는 어려울 수 있을 것으로 생각된다. 앞으로 발목 손상 환자를 대상으로 하는 연구를 진행한다면 보다 의미 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 대상자 수를 확대하고 힘판(force plate)와 같은 측정도구를 사용한다면 지면반발력과 무게중심이동에 대한 보다 많은 정보를 확인할 수 있을 것으로 생각한다.

V. 결 론

본 연구는 발목관절 고정 조건에 따른 정적 서기 동안 무게중심 이동거리, 이동면적 그리고 이동속도와 안정성 한계의 변화를 비교함으로써 발목관절 고정이 자세 균형에 미치는 영향을 알아보았다. 양쪽발목고정은 발목무고정과 한쪽발목고정보다 무게중심 이동거리, 이동면적, 이동속도는 증가하였고 반면 앞뒤, 전후 안정성 한계는 감소하였다. 따라서 본 연구의 결과는 발목관절고정이 무게중심 이동거리, 이동면적 그리고 이동속도를 증가시키고 모든 방향의 안정성한계를 감소시켜 자세 균형에 부정적인 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 향후 치료적 목적으로 발목관절 고정 시 발목 손상 정도에 따라 발목관절 고정 조건을 고려해야 하며 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

【감사의 글】

이 논문은 2021학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

송준영, 박삼호, 이명모. 다이나믹 테이핑과 키네시오 테이핑 적용에 따른 발바닥 굽힘근의 지구력과 피로도에 미치는 효과 비교. 대한물리치료과학회지. 2022;29(1):73-86.

- 황수진, 우영근, 전해선. 바로 선 자세에서 발목과 무릎관절의 고정이 자세안정성에 미치는 영향. 한국전문물리치료학회지. 2008;15(1):30-7.
- Amiri P, Kearney RE. Ankle intrinsic stiffness changes with postural sway. *J Biomech.* 2019;85:50-8.
- Basnett CR, Hanish MJ, Wheeler TJ, et al. Ankle dorsiflexion range of motion influences dynamic balance in individuals with chronic ankle instability. *Int J Sports Phys Ther.* 2013;8(2):121-8.
- Broglio SP, Monk A, Sopiartz K, et al. The influence of ankle support on postural control. *J Sci Med Sport.* 2009;12(3):388-92.
- Choi SH, Lee JY, Lee BH. The effect of balance training using visual information on the trunk control, balance and gait ability in patients with subacute stroke: Randomized controlled trial. *J Kor Phys Ther Sci.* 2022;29(2):1-13.
- Cordova ML, Ingersoll CD, Palmieri RM. Efficacy of prophylactic ankle support: an experimental perspective. *J Athl Training.* 2002;37(4):445-57.
- Cordova ML, Ingersoll CD, LeBlane MJ. Influence of ankle support on joint range of motion before and after exercise: a meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2000;30(4):170-7.
- Edwards WT. Effect of joint stiffness on standing stability. *Gait Posture.* 2007;25(3):432-9.
- Halabch F, Hassabi M. Acute ankle sprain in athletes: Clinical aspects and algorithmic approach, *World J Orthop.* 2020;11(12):534-58.
- Herzog MM, Kerr ZY, Marshall SW, et al. Epidemiology of ankle sprains and chronic ankle instability. *J Athl Train.* 2019;54(6):603-10.
- Horak FB. Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent fall? *Age Ageing.* 2006;35(2):7-11.
- Karimi N, Ebrahimi I, Kahrizi S, et al. Reliability of postural balance evaluation using the biodex balance system in subjects with and without low back pain. *J Postgrad Med.* 2008;22(2):95-101.
- Keene DJ, Williamson E, Bruce J, et al. Early ankle movement versus immobilization in the postoperative management of ankle fracture in adult: A systematic review and meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2014;44(9):690-701.
- Li F. The effects of Tai Ji Quan training on limits of stability in older adults. *Clin Interv Aging.* 2014;4(9):1261-8.
- Salsabili H, Bahrpeyma F, Forogh B, et al. Dynamic stability training improves standing balance control in neuropathic patients with type 2 diabetes. *J Rehabil Res Dev.* 2011;48(7):775-86.
- Shumway-Cook A, Woollacott MH. *Motor Control: Translating Research into Clinical Practice.* 3rd ed, Lippincott Williams & Winkins. Maryland. 2006:157-80.
- Stirling AM, McBride JM, Merritt EK, et al. Nervous system excitability and joint stiffness following short-term dynamic ankle immobilization. *Gait Posture.* 2018;59:46-52.
- Wikstrom EA, Naik S, Lodha N, et al. Balance capabilities after lateral ankle trauma and intervention: A meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(6):1287-95.
-