

기능적 발목 불안정성에 대한 안정지지면과 불안정지지면에서의 균형훈련의 효과 비교

김영민

한국교통대학교 보건생명대학 물리치료학과

Comparison of the Effects of Balance Training on the Stable and Unstable Supporting Surfaces for the Functional Ankle Instability

Young-min Kim

Dept. of Physical Therapy, Korea National University of Transportation

Key Words:

Balance training, Functional ankle instability, Proprioception

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study was to compare the effects of the balance training on the stable and unstable supporting surfaces for the subjects with functional ankle instability. **Methods:** Twenty-nine subjects with functional ankle instability were randomly assigned to the stable group (n=14) and the unstable group (n=15). Balance training was conducted twenty minutes a day on the stable surface for the stable group and on the airstep for the unstable group three times a week for four weeks. Balance training program was consisted of ten steps by eye opened or closed and two or one leg standing. X-speed for transverse balance and Y-speed for longitudinal balance were measured with eye opened and closed in affected leg standing position. **Results:** There were significant improvements of balance ability in eye opened (p<.01) and eye closed standing (p<.01) in stable group. Unstable group also showed significant improvements of balance ability in eye opened (p<.01) and eye closed standing (p<.01). There were no statistical differences in the magnitude of improvement between the groups (p<.05). **Conclusions:** Based on such results, it can be said that balance training on the stable surface is effective as much as training on the unstable surface for the subjects with functional ankle instability.

I. 서론

발목의 가쪽 염좌는 발목에서 가장 흔한 손상으로 그 재발률이 70% 이상으로 보고되고 있다(Yeung 등, 1994). 발목 염좌의 재발률이 높은 이유는 발목 염좌로 발목의 고유수용감각 기능이 손상되어 발목으로부터 입력되는 고유수용감각의 정확성이 감소됨으로 인한 기능적 불안정에 의한(Hertel, 2000). 기능적 불안정이란 발목손상 후 고유수용감각 장애로 주관적으로 느끼는 발목의 불안정한 느낌 또는 무력감(giving way)을 말한

다(Dayakids와 Boudolos, 2006; Freeman, 1965). Van Deun 등(2007)은 만성적인 발목 불안정성이 있는 대상자가 두 다리 지지에서 한 다리 지지로 바뀔 때 대조군에 비하여 발목, 엉덩관절, 그리고 넓다리뒤근의 개시 시간이 늦다고 하였다. Munn 등(2010)은 발목의 기능적 불안정성이 있는 사람에서 수동적 움직임을 탐지하는 능력이 감소되었다는 증거를 발견하였다.

발목의 기능적불안정은 고유수용감각과 관련이 있기 때문에 고유수용감각 운동은 발목의 고유수용감각 기능을 향상함으로써 발목 염좌의 재발을 예방하는 효과가 있다(Hupperets 등, 2009; Mohammadi, 2007).

발목의 고유수용감각 기능을 향상시키기 위한 방법에 대한 연구로는 위치감각훈련의 긍정적 효과를 보고한 연구(Kynsburg 등, 2006; Lee와 Lin, 2008)와 운동프로그램 후에 위치감각이 좋아졌음을 보고한 연구

교신저자: 김영민(한국교통대학교, ymkim@ut.ac.kr)

논문접수일: 2014.10.24, 논문수정일: 2014.10.30,

개재확정일: 2014.11.09.

이 논문은 2014년도 한국교통대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임

(Bernier와 Perrin, 1998)가 있다. 또한 균형운동도 발목의 고유수용감각 기능을 향상시키기 위한 운동으로 행해지고 있는데, 균형운동은 불안정지지면에서의 균형운동이 일반적으로 행해지고 있다.

불안정지지면에서의 균형운동의 효과로는 발목 염좌로 인한 불안정성이 있는 대상자에게 뱀스보오드와 트렘폴린운동(차승혜와 김종신, 2009), 균형원판운동(고다현, 2008)의 효과가 보고되었다.

발목염좌 환자를 대상으로 불안정지지면에서 행해지고 있는 균형운동은 불안정지지면에서의 운동이 발목으로부터의 고유수용감각 신호의 사용을 자극한다는 것을 전제로 하고 있다. 그러나 이러한 불안정지지면에서의 운동이 안정지지면에서의 운동보다 더 효과적이지는 확실하지 않다.

Kiers 등(2012)은 정상 성인 100명을 대상으로 안정지지면과 불안정지지면 위에 눈을 감고 선 자세에서 종아리세갈래근에 기계적 진동 자극을 가하고 압력중심의 변화를 통하여 이들 근육의 근방추로부터의 신호입력의 크기를 추정하였다. 그 결과 안정지지면 위에 선 상태가 불안정지지면 위에 선 상태에서보다 종아리세갈래근으로부터의 신호입력이 더 크다는 결론에 도달하였다. 이 결과는 고유수용감각을 증진하기 위한 운동으로서 불안정지지면에서의 운동이 안정지지면에서의 운동보다 더 효과적이지 않다는 것을 의미한다. 그 이전에 행해진 Brumagne 등(2008)의 연구와 Ivanenko 등(1999)의 연구에서도 발목의 고유수용감각 훈련에서 종아리세갈래근의 근방추 출력에 대한 자극이 안정지지면에서 보다 불안정지지면에서 효과가 적다고 보고된 바 있다. 따라서 본 연구에서는 기능적 불안정성이 있는 성인을 대상으로 불안정지지면에서의 균형훈련과 안정지지면에서의 균형훈련을 시행 한 후 그 효과를 비교하고자 하였다.

무작위로 안정지지면 훈련군(안정군)과 불안정지지면 훈련군(불안정군)에 각각 15명씩 배정하였다. 안정지지면 연구대상자 중 1명이 훈련 중에 통증을 호소하여 연구대상에서 제외하였다.

2. 훈련방법

연구대상자 중에서 안정군은 평평한 지면에서, 불안정군은 에어로스텝(Fig 1) 위에 선 자세에서 본 연구자가 고안한 운동을 시행하였다.

운동은 난이도에 따라 10단계로 구성하였다. 1~5단계는 눈을 뜨고 시행하고 5~10단계는 눈을 감고 시행하는 운동이다. 1단계: 두 발로 서기, 2단계: 한 발로 서기, 3단계: 한 발로 선 자세에서 물건 옮기기, 4단계: 한 발로 선 자세에서 제자리에 앉았다 일어서기, 5단계: 4단계와 같은 동작을 양 팔을 가슴으로 모은 상태에서 시행하기, 6, 7, 9, 10단계: 1, 2, 4, 5단계의 운동을 각각 눈을 감고 시행하기, 8단계: 7단계와 같은 동작을 양 손을 가슴으로 모은 상태에서 시행하기.

한 가지 운동은 1분간 시행 후 30초 휴식을 반복하였으며 각 단계의 운동을 완전히 수행할 능력이 있다고 판단되면 다음 단계로 진행하였다. 1일 운동시간은 20분으로 하였고 주 3회, 4주간 시행하였다.



Fig 1. Airostep

II. 연구방법

1. 연구대상자

본 연구의 대상자는 2013년 충북지역에 소재하는 C 대학에 재학 중이며 발목의 염좌를 한번 이상 경험하였고 발목의 불안정을 느끼는 학생으로 본 연구의 목적에 동의한 자 중에서 선정하였다. 대상자는 모두 마지막 염좌가 발생한 후 3개월 이상 경과되었고, 골절이나 수술 병력이 있거나, 최초 평가 시 부종이 있는 대상자는 제외하였다.

위의 선정기준에 해당되는 대상자 30명을 선정한 후

3. 측정도구 및 측정방법

균형능력은 Good Balance System(Metitur Ltd, Jyvaskyla, Finland)을 사용하여 측정하였다. 이 장비는 정적, 동적 균형능력의 평가와 훈련이 가능한 장비이다(Fig 2). 대상자는 삼각형(800×800×800mm) 모양의 힌판 위에 그려진 발모양 위에 환측 다리만으로 올라서서 20초 동안 자세를 유지하도록 하고 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태에서 좌우동요속도(X-Speed)와 전후동요속도(Y-Speed)를 측정하였다. 1회 시행 후 10초간 휴식시간을 가지고, 3회를 측정하여 평균값으로 하였다.

4. 분석방법

연구대상자의 일반적인 특성과 각 변수의 사전 동질성 검정, 그리고 각 변수의 증가량의 그룹별 비교는 독립표본 t검정을 시행하였으며, 각 변수의 중재 전 후 비교는 대응표본 t검정을 시행하였다. 통계처리는 SPSS 18.0 프로그램을 사용하여 분석하였으며 유의수준은 .05로 하였다.

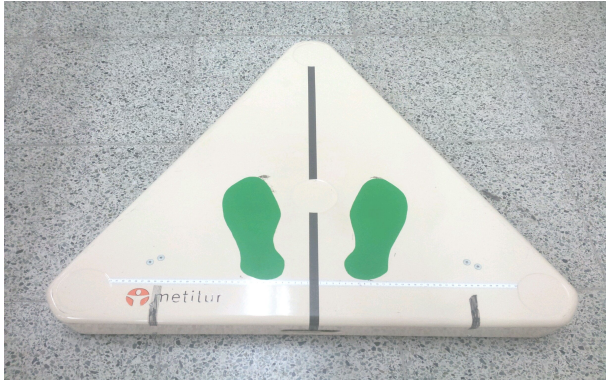


Fig 2. Good Balance System

III. 결 과

1. 연구대상자의 일반적 특성

연구대상자는 안정군 14명 중 남자 3명, 여자 11명, 불안정군 15명 중 남자 5명, 여자 10명으로 구성되었으며, 전체 대상자의 평균연령은 19~23세로 안정군의 평균연령은 19.43±5.14세, 불안정군은 19.80±1.42세였다. 대상자의 신장은 안정군 164.43±6.68cm, 불안정군 162.20±7.82cm이었다. 체중은 안정군 59.86±8.50kg, 불안정군 55.07±8.45kg이었으며, 체질량지수(body mass index; BMI)는 안정군 22.17±3.24, 불안정군 20.87±2.44이었다. 일반적 특성의 모든 항목에서 안정군과 불안정군간에 통계적인 차이가 없었다(p>.05)(Table 1).

Table 1. General characteristic of subjects

	SG ^b (n=14)	UG ^c (n=15)	t	p
Age(yr)	19.43±5.14 ^a	19.80±1.42	-.921	.365
H(cm)	164.43±6.68	162.20±7.82	.822	.418
W(kg)	59.86±8.50	55.07±8.45	1.521	.140
BMI ^d (kg/m ²)	22.17±3.24	20.87±2.44	1.229	.230

^aMean±SD, ^bSG: stable group, ^cUG: unstable group, ^dBMI^d:body mass index

2. 사전 동질성 검정

중재 전 균형능력을 비교하였을 때 눈 뜬 상태에서의 좌우동요속도는 안정군의 경우 33.63±10.75인 반면 불안정군은 35.26±11.79이었고, 전후동요속도는 안정군 33.12±10.98, 불안정군 31.20±7.09 으로 두 군 간에 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(p>.05). 눈을 감은 상태에서도 좌우동요속도가 안정군이 79.43±25.80이고 불안정군이 90.52±65.57이었고, 전후동요속도는 안정군이 80.87±32.04, 83.31±55.64로 안정군과 불안정군간 통계학적으로 유의한 차이는 없었다(p>.05)(Table 2)

Table 2. Comparison of the X and Y speed before training between the groups

	SG* (n=14)	UG* (n=15)	t	p
XO ^a	33.63±10.75 ^a	35.26±11.79	-.389	.700
YO ^a	33.12±10.98	31.20± 7.09	.564	.577
XC ^a	79.43±25.80	90.52±65.57	-.591	.560
YC ^a	80.87±32.04	83.31±55.64	-.143	.887

^aMean±SD, *SG: stable group, *UG: unstable group

^bXO: X-speed in eye opened, ^cYO: Y-speed in eye opened

^dXC: X-speed in eye closed, ^eYC: Y-speed in eye closed

3. 중재전후 균형능력 비교

중재 전과 중재 후의 균형능력을 비교해 보면 안정군의 경우 눈을 뜬 상태에서 좌우동요속도가 중재 전 33.63±10.75에서 중재 후 18.37±5.42로 감소하였으며, 전후동요속도도 33.12±10.98에서 17.16±4.44로 감소하여 모두 통계학적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<.01). 눈을 감은 상태에서의 좌우동요속도는 79.43±25.80에서 40.22±11.33로 감소하였고, 전후동요속도는 80.87±32.04에서 37.32±14.64로 감소하여 모두 통계학적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<.01)(Table 3).

Table 3. Pre-post comparison of the X and Y speed in the stable groups

	Pre (n=14)	Post (n=14)	t	p
XO ^b	33.63±10.75 ^a	18.37±5.42	6.772	.000
YO ^c	33.12±10.98	17.16±4.44	6.240	.000
XC ^d	79.43±25.80	40.22±11.33	6.182	.000
YC ^e	80.87±32.04	37.32±14.64	5.158	.000

^aMean±SD, ^bXO: X-speed in eye opened,

^cYO: Y-speed in eye opened, ^dXC: X-speed in eye closed,

^eYC: Y-speed in eye closed

불안정군의 경우 눈을 뜬 상태에서 좌우동요속도가 중재 전 35.26±11.79에서 중재 후 19.28±4.06로 감소하였

으며, 전후동요속도도 31.20±7.09에서 19.63±4.20으로 감소하여 모두 통계학적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<.01). 눈을 감은 상태에서의 좌우동요속도는 90.52±65.57에서 41.78±12.68로 감소하였고, 전후동요속도는 83.31±55.64에서 40.70±14.38으로 감소하여 모두 통계학적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<.01)(Table 4).

Table 4. Pre-post comparison of the X and Y speed in the unstable group

	Pre (n=15)	Post (n=15)	t	p
XO ^b	35.26±11.79 ^a	19.28±4.06	4.828	.000
YO ^c	31.20±7.09	19.63±4.20	7.078	.000
XC ^d	90.52±65.57	41.78±12.68	3.004	.009
YC ^e	83.31±55.64	40.70±14.38	3.468	.004

^aMean±SD,

^bXO: X-speed in eye opened, ^cYO: Y-speed in eye opened,

^dXC: X-speed in eye closed, ^eYC: Y-speed in eye closed.

4. 그룹별 균형능력 변화량 비교

중재 전과 후의 균형능력의 변화량을 그룹별로 비교하면 눈을 뜬 상태에서 좌우동요속도의 변화량이 안정군이 15.26±8.43, 불안정군이 15.98±12.82이었으며, 전후동요속도는 안정군이 15.96±9.57, 불안정군이 11.57±6.33로 모두 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(p>.05). 눈을 감은 상태에서도 좌우동요속도의 변화량이 안정군 39.22±23.74, 불안정군 48.74±62.83이고, 전후동요속도는 안정군 43.54±31.59, 불안정군 42.61±47.59로 모두 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(p>.05)(Table 5).

Table 5. Comparison of the X and Y speed change between the groups

	SG* (n=14)	UG* (n=15)	t	p
XCO ^b	15.26±8.43 ^a	15.98±12.82	-.177	.861
YCO ^c	15.96±9.57	11.57±6.33	1.469	.154
XCC ^d	39.22±23.74	48.74±62.83	-.532	.599
YCC ^e	43.54±31.59	42.61±47.59	.062	.951

^aMean±SD, *SG: stable group, *UG: unstable group,

^bXCO: X-speed change in eye opened,

^cYCO: Y-speed change in eye opened,

^dXCC: X-speed change in eye closed,

^eYCC: Y-speed change in eye closed.

IV. 고찰

고유수용감각을 담당하는 감각수용기는 근육, 건, 그리고 관절 구조에 위치한다. 이들 감각 수용기들은 신체적인 변위의 변화와 신체내의 긴장과 힘의 변화를 탐지한다. 위치감각은 주로 일차적으로 근육 내에 위치한 근방추에 의해 신호를 받으며 피부와 관절수용기는 보조적인 역할을 수행한다(Proske, 2006).

Kiers 등(2012)은 100명의 건강한 성인을 대상으로 안정지지면과 불안정지지면 위에 선 자세에서 종아리세갈래근과 척추주위근의 근방추에서의 고유감각 작용을 보기 위하여 진동자극에 대한 반응을 비교한 결과 종아리세갈래근의 경우 안정지지면에서, 그리고 척추주위근의 경우 불안정지지면에서 더 활성화 되었다고 하였다. 즉, 고유수용감각 훈련은 척추의 경우 불안정지지면에서가 더 효과적이나 발목의 경우에는 안정지지면에서의 훈련이 더 효과적이라는 결론을 제시하였다.

근방추는 고유수용감각에서 중요한 역할을 수행하며(Cordo 등, 1995; Goodwin 등, 1972; Roll과 Vedel, 1982). 바로선 자세에서 균형을 유지하기 위하여 입력되는 정보의 일차적인 감각원천이다(Fitzpatrick와 McCloskey, 1994). 그러나 중추신경계는 발목 주변의 근방추 외에도 안뜰기관 등 다른 감각의 입력정보를 종합하여 자세를 판단하고 조절한다.

안정지지면 위에 선 자세에서는 발목의 근방추로부터의 정보와 다른 입력 기관으로 부터의 정보가 일치하나 불안정한 지면 위에 서있는 경우에는 신체방위의 변화가 없이도 지면의 움직임으로 인하여 발목관절의 변화에 따른 근육의 길이 변화가 일어날 수 있으며, 또한 그 반대로 신체방위의 변화가 있어도 지면의 움직임으로 대치되어 발목 근육의 길이 변화가 일어나지 않는 상황도 발생할 수 있게 됨으로써 근방추로부터의 신호는 더 이상 중력장과 관련한 신체의 방위를 반영하지 못하게 된다. 이런 상황에서 중추신경계는 다른 곳으로부터 입력되는 감각정보와 일치하지 않은 발목으로부터의 고유수용감각신호의 정보를 정보의 원천으로서의 비중을 줄이는 것으로 추측된다.

선 자세에서 자세동요에 따르는 균형의 회복에는 발목관절 전략이나 엉덩관절 전략, 또는 두 전략을 함께 사용하여 균형을 유지한다(Horak와 Nashner, 1986). 안정된 지면에서 균형을 유지하기 위해서는 발목관절 주위에서 발휘되는 모멘트가 발목 위 신체의 방위를 변화시켜 넘어짐을 방지하게 되나 불안정 지면에서는 발목관절 주위의 모멘트가 부드러운 지면의 변형으로 발휘됨으로

써 불안정지지면의 균형에서는 발목 주위 모멘트의 효과가 감소된다. 이러한 상황에서 신체는 지면반발력에 의한 위치의 조정을 기대할 수 없기 때문에 엉덩관절의 움직임을 통하여 균형을 유지하게 된다(Otten, 1999). 따라서 엉덩관절 주위의 움직임에 의해 허리와 엉덩관절로부터의 감각신호가 증가되고 이들 관절의 감각신호가 자세 반응을 결정하는데 더 높은 비중을 둘 수 있다.

Kiers 등(2012)은 불안정지지면보다는 안정지지면에서의 훈련이 발목의 고유수용감각 훈련 프로그램으로 더 효과적이라고 하였고 Brumagne 등(2008)과 Ivanenko 등(1999)은 발목의 고유수용감각 훈련에서 종아리세갈래근의 근방추 출력에 대한 자극이 안정지지면에서보다 불안정지지면에서 효과가 적다고 하였다. Brumagne(2008)는 또한 발목의 고유수용감각 훈련에서 종아리세갈래근의 근방추 출력에 대한 자극이 안정지지면에서보다 불안정지지면에서 효과가 적으나 척추에서는 그 반대라고 하였다. Kim 등(2014)은 교각운동을 불안정 표면에서 시행하였을 때 안정면에서 시행하였을 때보다 가쪽빛근, 척추세움근, 그리고 넙다리두갈래근에서 근활성도가 높았다고 하였다. Saliba 등(2010)도 51명의 성인을 대상으로 슬링을 이용한 불안정지지면과 안정지지면에서의 교각운동을 시행하고 가로배근의 활성도를 비교한 결과 불안정 지지 교각운동이 가로배근의 활성도가 높았다고 하였다. 즉 지면에서 멀리 떨어져 있는 관절의 경우 불안정지지면에서 시행한 고유수용감각 훈련의 효과가 입증되고 있으나 지면에 가까운 발목의 경우에는 그렇지 않다.

이와 같은 근거로 본 연구에서는 발목의 고유수용감각 기능이 감소된 대상자에게 균형능력 향상을 위하여 일반적으로 시행되는 불안정지지면에서의 균형훈련이 안정지지면에서 시행하는 균형훈련보다 더 효과적이지 확인해보고자 하였다. 이를 위해 발목염좌를 경험하고 불안정을 느끼는 성인을 대상으로 안정지지면과 불안정지지면에서 균형훈련을 시행한 후 훈련전 후 환측다리의 균형능력의 변화를 측정하였다. 그 결과 안정지지면에서의 균형능력은 눈을 뜬 상태($p < .01$)와 감은 상태($p < .01$)에서 향상됨으로써 안정지지면에서의 훈련은 모두 통계학적으로 유의한 효과를 나타냈다. 불안정지지면에서도 눈을 뜬 상태($p < .01$)와 감은 상태($p < .01$)에서 향상됨으로써 불안정지지면에서의 훈련도 모두 통계학적으로 유의한 효과를 나타냈다. 즉 두 집단 모두 통계학적으로 유의한 수준으로 균형능력이 향상됨으로써 훈련의 효과가 입증되었다. 그러나 두 집단 간에 균형능력의 변화량을 비교해보면 눈을 뜬 상태($p > .05$)와 눈을 감은 상태($p > .05$)에서 모두 두 집단간에 통계학적인 차

이가 없었다.

Lee 등(2013)은 정상 성인을 대상으로 평평한 면에서 운동프로그램군(7명), 에어로스텝 운동프로그램군(7명), 그리고 대조군(7명)으로 나누어 운동프로그램군은 주당 4회 2주 동안 운동프로그램을 시행한 결과, 에어로스텝 운동군이 전체안정성과 전후안정성에서, 그리고 평평한 면에서의 운동군에서 좌우안정성에서 차이를 나타냈다고 하였다. 즉, 정상성인을 대상으로 시행한 연구에서도 불안정지지면에서의 훈련이 안정지지면에서의 훈련보다 우세하다는 증거를 제시하지 못하였다.

본 연구를 통하여 어떤 지지면에서의 균형훈련도 균형능력의 향상은 기대할 수 있으나 두 집단 간에 훈련 효과의 차이가 발생하지 않음으로써 일반적으로 행해지고 있는 불안정지지면에서의 훈련이 안정지지면에서의 훈련보다 더 효과적이지 않다는 것을 알 수 있었다.

그러나 불안정지지면에서의 균형훈련은 발목관절 보다는 엉덩관절 전략을 더 많이 사용하기 때문에 안정지지면에서의 훈련과 같은 수준의 균형능력 향상이 되었을 경우 안정지지면에서의 훈련보다는 발목관절의 고유수용감각의 활용이 적었을 것으로 추측할 수 있다.

따라서 불안정지지면에서의 균형훈련과 안정지지면에서의 균형훈련에 따른 균형능력 향상에 차이가 없다면 발목의 고유수용감각의 감소로 균형능력이 떨어지는 대상자의 균형을 회복하기 위한 균형훈련은 엉덩관절 전략 보다는 발목관절전략을 더 많이 사용할 것으로 기대되는 안정지지면에서의 훈련이 훈련의 목적에 더 부합할 것이라고 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 발목의 고유수용감각을 향상시키기 위하여 일반적으로 시행하고 있는 불안정지지면에서의 균형훈련이 안정지지면에서의 훈련보다 균형능력향상에 더 효과적인지를 확인하기 위하여 발목의 염좌를 경험하고 불안정성을 느끼는 29명을 대상으로 14명은 안정지지면에서, 15명은 불안정지지면에서 4주간 균형훈련을 시행하고 훈련전후 균형능력의 변화를 비교하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 안정지지면에서의 균형훈련은 눈을 뜬 상태($p < .01$)와 눈을 감은 상태에서($p < .01$) 모두 통계학적으로 유의한 균형능력의 향상을 나타냈다.
2. 불안정지지면에서의 균형훈련은 눈을 뜬 상태($p < .01$)와 눈을 감은 상태에서($p < .01$) 모두 통계학적으로 유의한 균형능력의 향상을 나타냈다.

3. 균형능력의 향상은 안정지지면에서와 불안정지지면에서의 균형훈련 간에 통계학적으로 유의한 차이가 없었다($p < .05$).

이상의 연구 결과로 보았을 때 불안정지지면에서의 균형훈련은 안정지지면에서의 균형훈련보다 더 효과적이라는 증거가 없으며, 발목의 고유수용감각기능의 향상을 위한 균형훈련이 목적이라면 안정지지면에서의 훈련이 더 효과적일 것으로 제한한다.

참고문헌

- 고다현. 고유감각운동 프로그램이 아급성기 발목염좌 환자의 통증, 관절가동범위, 고유감각, 안정성에 미치는 영향. 삼육대학교대학원. 석사학위논문. 2008.
- 차승혜, 김종신. 밸런스 운동이 염좌 환자의 발목 관절 안정성에 미치는 영향. 운동학술지. 2009;11(2):73-83.
- Bernier JN, Perrin DH. Effect of coordination training on proprioception of the functionally unstable ankle. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;27(4):264-275.
- Brumagne S, Janssens L, Knapen S, et al. Persons with recurrent low back pain exhibit a rigid postural control strategy. *Eur Spine J.* 2008;17(9):1177-1184.
- Cordo P, Gurfinkel VS, Bevan L, et al. Proprioceptive consequences of tendon vibration during movement. *J Neurophysiol* 1995;74(4):1675-1688.
- Dayakidis MK, Boudolos K. Ground reaction force data in functional ankle instability during two cutting movements. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2006;21:405-411.
- Fitzpatrick R, McCloskey DI. Proprioceptive, visual and vestibular thresholds for the perception of sway during standing in humans. *J Physiol.* 1994;478(1):173-186.
- Freeman MA. Instability of the foot after injuries to the lateral ligament of the ankle. *J Bone Joint Surg Am.* 1965;47(4):669-677.
- Goodwin GM, McCloskey DI, Matthews PB. Proprioceptive illusions induced by muscle vibration: contribution by muscle spindles to perception? *Science.* 1972;175(4028):1382-1384.
- Hertel J. Functional instability following lateral ankle sprain. *Sports Med.* 2000;29(5):361-371.
- Horak FB, Nashner LM. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *J Neurophysiol.* 1986;55(6):1369-1381.
- Hupperets MD, Verhagen EA, van Mechelen W. Effect of unsupervised home based proprioceptive training on recurrences of ankle sprain: randomised controlled trial. *BMJ.* 2009;339:b2684.
- Ivanenko YP, Talis VL, Kazennikov OV. Support stability influences postural responses to muscle vibration in humans. *Eur J Neurosci.* 1999;11(2):647-654.
- Kiers H, Brumagne S, van Dieën J, et al. Ankle proprioception is not targeted by exercises on an unstable surface. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(4):1577-1585.
- Kim JH, Kim Y, Chung YJ. The influence of an unstable surface on trunk and lower extremity muscle activities during variable bridging exercises. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(4):521-523.
- Kynsburg A, Halasi T, Tallay A, et al. Changes in joint position sense after conservatively treated chronic lateral ankle instability *Knee Surg Sports. Traumatol Arthrosc.* 2006;14(12):1299-1306.
- Lee AJ, Lin WH. Twelve-week biomechanical ankle platform system training on postural stability and ankle proprioception in subjects with unilateral functional ankle instability. *Clin Biomech.* 2008;23(8):1065-1072.
- Lee SY, Park JS, Lee DH. Effects of an exercise program using aero-step equipment on the balance ability of normal adults. *J Phys Ther Sci.* 2013;25(8):937-940.

- Mohammadi F. Comparison of 3 preventive methods to reduce the recurrence of ankle inversion sprains in male soccer players. *Am J Sports Med.* 2007;35(6):922-926.
- 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(1):2-12.
- Otten E. Balancing on a narrow ridge: biomechanics and control. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 1999;354(1385):869-875.
- Proske U. Kinesthesia: The role of muscle receptors. *Muscle Nerve.* 2006;34(5):545-558.
- Roll JP, Vedel JP. Kinaesthetic role of muscle afferents in man, studied by tendon vibration and microneurography. *Exp Brain Res.* 1982;47(2):177-190.
- Saliva SA, Croy T, Guthrie R, et al. Differences in transverse abdominis activation with stable and unstable bridging exercises in individuals with low back pain. *N Am J Sports Phys Ther.* 2010;5(2):63-73.
- Van Deun S, Staes FF, Stappaerts KH, et al. Relationship of chronic ankle instability to muscle activation patterns during the transition from double-leg to single-leg stance. *Am J Sports Med.* 2007;35(2):274-281.
- Yeung MS, Chan KM, So CH, et al. An epidemiological survey on ankle sprain. *Br J Sports Med.* 1994;28:112-116.