

Original Article

Open Access

가상현실과 전통적 균형훈련이 기능적 발목 불안정성 환자의 균형에 미치는 효과

김수현 · 박소희 · 김다정 · 곽유진 · 신연진 · 김수진†
전주대학교 의과대학 물리치료학과

The Effects of Virtual Reality Training and Traditional Balance Training on Balance in Patients with Functional Ankle Instability

Su-Hyeon Kim · Yu-Jin Gwak · Da-Jung Kim · So-Hee Park · Yeon-Jin Shin · Su-Jin Kim, P.T., Ph.D†
Department of Physical Therapy, Colleges of Medical Sciences, Jeonju University

Received: March 2, 2020 / Revised: April 6, 2020 / Accepted: April 19, 2020

© 2020 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: Functional ankle instability (FAI) causes tension in the joints, ligaments, and tendons, and the impact on visual and vestibular organs leads to imbalance. This study compared the effects of a traditional balance training program to virtual reality training to improve FAI.

Methods: Twenty-four participants with FAI (CAIT score < 24) were assigned to a virtual reality training group (n = 13) and a traditional balance training group (n = 11). Both groups pursued their respective training program for four weeks. After a ten-minute warm-up, participants completed a 30-minute training session, three times per week. The traditional balance training group underwent static and dynamic training using a balance board and a stability trainer pad while the virtual reality group underwent balance training using a virtual reality program. Biorescue was used to measure changes in the speed and length of center of pressure (COP) for single-leg stance pre- and post-training.

Results: The speed and length of COP improved significantly in both groups after training as compared to before ($p < 0.05$). However, there were no significant differences in these outcomes between the virtual reality training group and the traditional balance training group ($p > 0.05$).

Conclusion: The study findings confirm the effectiveness of both virtual reality training and traditional balance training in reducing ankle instability, with no difference in treatment effects.

Key Words: Balance, Functional ankle instability, Traditional exercise, Virtual reality

†Corresponding Author : Su-Jin Kin (sujink@jj.ac.kr)

I. 서론

발목 염좌는 운동 인구 내에서 가장 흔한 부상 중 하나이며 발병률은 80%에 이른다(Smith & Reischl, 1986). 발목 염좌로 인한 발목의 손상은 인대의 구조물 뿐만 아니라 관절, 인대, 힘줄에 압박과 긴장감을 줌으로써 관절 운동과 자세 감각에 도움이 되는 시각 및 전정기관에 영향을 미치고, 반복적인 염좌는 만성적인 기능적 발목 불안정성(functional ankle instability, FAI)으로 이어질 수 있다(Holmes & Delahunt, 2009). 발목이 불안정하게 되면 통증, 균형 저하 및 반복되는 발목 염좌로 인해 걷기, 계단 오르기, 방향 바꿔 걷기 등의 일상생활뿐만 아니라 축구, 농구 등 스포츠 활동에 어려움을 겪게 된다(Eng & Chu, 2002). 따라서 발목의 기능적 불안정성을 감소시키는 균형훈련이 반드시 필요하다.

한발 서기, 공 훈련, 워블보드를 이용한 훈련 등과 같이 다양한 전통적 균형훈련 방법이 기능적 발목 불안정성 환자의 재활에 흔히 사용되고 있다. 이러한 균형훈련들은 재발성 염좌 예방에 효과적이고(Verhagen et al., 2004), 발목 관절의 인대 부상을 예방하거나 재활에서 유용하다고 보고되고 있다(Freeman, 1965). Rozzi 등(1999)과 McKeon 등(2008)의 연구에 의하면 기능적 발목 불안정성을 가진 대상자에게 워블보드 훈련을 했을 때, 한 발 서기 능력이 향상되고 운동을 수행하기 위한 균형 능력이 개선된다고 하였다. 또한, 불안정한 발목을 가진 환자에게 균형훈련을 하였을 때, 염좌가 재발되는 것을 감소시켜 발목 기능이 정상적으로 작용하는데 도움이 된다고 하였다(Clark & Burden, 2005). 하지만 이러한 균형훈련은 균형 감각 향상의 효과가 입증되었음에도 불구하고 다소 지루하고 참가자들의 관심을 불러일으키지 못한다는 단점이 있다(Vernadakis et al., 2012). 이러한 점을 보완하고자 최근 가상현실을 이용한 훈련이 대두되고 있다.

가상현실 훈련은 컴퓨터를 포함한 IT 제품들을 통해 가상의 세계에서 신체를 움직이는 방법으로 게임

의 형태로 주로 운영된다. 가상현실 훈련은 접근하기 쉽고, 반복적인 운동 학습을 가능하게 하며 피드백을 주어 환자에게 적절한 동기를 제공한다(Cone et al., 2015). 가상현실 훈련은 뇌졸중, 뇌성마비, 심호흡계 질환을 가진 환자들의 재활을 위해 폭넓게 활용되고 있으며(Lohse et al., 2014; Metin Ökmen et al., 2019; Rutkowski et al., 2020), 기능적 발목 불안정성을 가진 환자의 균형훈련을 위해 활용되기도 한다(Kim & Heo, 2015). 특히, Kim과 Heo (2015)의 연구에 따르면 기능적 발목 불안정성 환자를 대상으로 가상현실을 사용한 근력 훈련과 균형 훈련을 하였을 때, 균형 훈련을 한 그룹의 정적 균형 능력이 더 향상된다고 하였다.

발목 염좌 및 만성 기능적 발목 불안정성은 다른 질병에 비해 상대적으로 젊은이들에게 많이 발생되며 재발 비율도 높은 만큼 지속적인 훈련과 관리가 필요하다(Pourkazemi et al., 2018). 하지만 만성 기능적 발목 불안정성의 일반적인 치료는 병원 또는 치료실에서 치료사의 지도하에 근력, 균형 및 관절 가동범위 훈련 등의 전통적인 방식을 통해 이뤄지고 있어(Burcal et al., 2017), 재발의 위험을 막기 위해 가상현실 훈련처럼 스스로 관리를 할 수 있는 프로그램이 필요한 실정이다. 앞선 연구들은 전통적 균형 훈련과 가상현실 균형 훈련이 각각 만성 발목 불안정성이 있는 사람의 균형 능력 증진에 효과가 있음을 입증하거나(Cone et al., 2015; McGuine & Keene, 2006), 가상현실 훈련을 통해 근력 및 균형 훈련을 진행하여, 전통적인 균형 훈련 및 가상 현실 균형 훈련의 차이를 알지 못하였다. 또한 Punt 등(2017)은 Wii를 활용한 훈련을 전통적 물리치료 훈련과 비교하였으나 급성 염좌를 가진 대상자들의 보행에 대해 연구하였고, Yang 등(2016)은 축구선수들을 대상으로 가상현실 훈련과 일반적인 트레드밀 훈련을 비교하였다. 따라서, 만성적 발목의 불안정성을 가진 대상자의 전통적 균형훈련과 가상현실을 활용한 균형훈련 효과를 비교한 연구는 미비한 상황이다. 따라서 본 연구의 목적은 동일한 훈련 빈도와 시간을 설정하였을 때, 가상현실과 균형훈련 프로그램 중 어떤 것이 만성적 발목의 불안정성을 가진 대상

자의 균형 능력 향상에 효과적인지 알아보려고 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

전북 소재 J대학에 재학생 중 Cumberland ankle instability tool (CAIT) 24점 미만인 사람을 만성 기능적 발목 불안정성(FAI)이 있는 대상으로 정의하고 30명을 모집하였다. 실험 참가 조건으로는 1) 현재 발목 통증이 없는 사람, 2) 과거에 외과적 수술이 없는 사람, 3) 신경계 문제가 없이 발목 움직임이 자유로운 사람 등으로 하였다(O'Driscoll et al., 2011). 총 30명의 대상자 중 발목 수술 및 통증, 또는 발목 강화 또는 운동프로그램에 참여한 경험이 있는 6명을 제외한 24명의 연구 대상자가 본 실험에 참여하였다. 대상자들은 무작위로 가상현실 균형훈련 그룹(virtual reality training, VRT) 13명, 전통적 균형훈련 그룹(traditional balance training, TBT) 11명으로 나뉘어 훈련을 받았다. 실험 시작 전 모든 대상자들에게 실험 과정과 방법에 대해 설명하였고, 실험동의서를 작성하고 실험을 진행하였다. 대상자의 우세측 다리는 축구공을 차는 발로 정의하였다.

2. 측정 방법 및 도구

1) 기능적 발목 불안정성 검사(Cumberland ankle instability tool, CAIT)

기능성 발목 불안정성 검사는 CAIT를 통해 측정하였다. CAIT는 설문지로서, 일상생활 동작(걷기, 한발 서기, 뒤돌아 걷기) 및 스포츠 동작(뛰기, 점프하기)을 포함한 총 9개의 항목에서 발목의 통증 및 불안정성을 대상자가 답하는 방법으로 측정된다. CAIT 검사는 높은 평가-재평가 신뢰도(intraclass correlation coefficient; ICC=0.96)을 보이며(Hiller et al., 2006), 간단하게 사용할 수 있으므로 임상적으로 발목의 기능적인 불안정성을 평가할 때 많이 쓰이고 있다. 총 30점 만점으로 28점 이상은 안정성을, 23점 이하는 기능성 발목 불안정성을 나타낸다(Hiller et al., 2011).

2) 균형 측정 도구

균형 측정을 위해서 Biorescue (Biorescue, RM Ingenierie, France) 장비를 사용하였다(Fig. 1). Biorescue는 1,600개의 압력을 측정할 수 있는 센서로 이뤄진 압력판(610mm×580mm×10mm), 소프트웨어 및 모니터로 구성된다(Fig. 1). Biorescue는 압력 중심(center of pressure, COP)의 이동 경로를 측정하여, 이동 경로

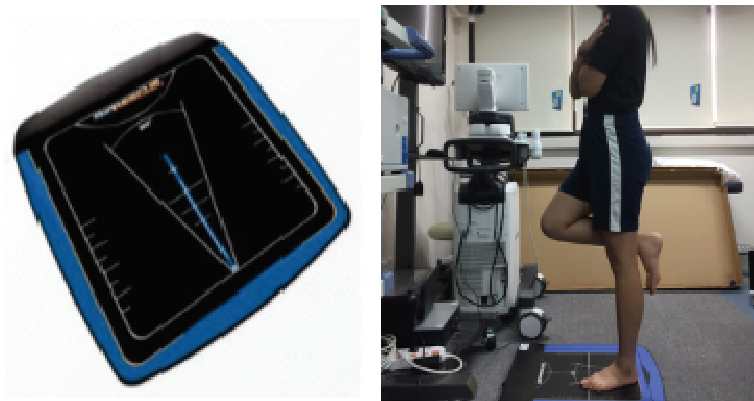


Fig. 1. Biorescue (left) and experimental position (right).

의 길이(cm)와 평균속도(cm/s)를 보여준다. 또한 바로 선 상태에서 오른쪽과 왼쪽 다리의 체중지지가 대칭/비대칭인지 측정할 때 사용된다. 본 실험에서는 한발 서기 시 압력 중심의 이동 길이 및 평균속도를 균형 훈련 전, 후로 측정하였고, 압력 중심 이동 길이가 길거나 이동 속도가 높을수록, 균형 능력이 떨어지는 것이라고 정의하였다(Hong et al., 2013). Biorescue는 균형 측정뿐만 아니라 운동선수, 뇌졸중 환자의 균형 훈련을 위해 사용되기도 하며(Hong et al., 2013; Kim & Uhm, 2016; Kim et al., 2016), 압력 이동 길이에 대한 측정자 내 신뢰도가 Good (ICC= 0.79)이므로 동일한 측정자 한 명이 모든 대상자들을 측정하였다(Kim & Choi, 2018).

3) 전통적 균형 훈련 도구

전통적 균형훈련을 위해 워블보드(Professional Balance Boards, Fitterfirst, Canada), 균형 패드(Stability Trainer Pad, Thera-band, United states)을 사용하였다(Fig. 2). 워블보드는 상판 지름 40cm, 하부 축 지름 15cm, 높이 8.75cm 크기로, 임상에서도 재활에 자주 쓰이는 도구 중 하나이다. Wester 등(1996)에 따르면 발목 염좌가 있는 대상자를 12주간 워블보드로 훈련할 경우 발목 염좌 재발 및 기능적 발목 불안정성 발생

을 줄이는 데 효과적이라고 하였다. 균형 패드는 가로 15cm 세로 30cm의 패드로 워블보드와 함께 전통적 균형 훈련 시 흔히 사용된다. 운동 선수의 근력 강화, 무릎 관절염 환자들의 균형 훈련 등에 쓰이기도 한다(Granacher et al., 2014; Rogers et al., 2011).

4) 가상 현실 균형 훈련 도구

가상 현실 균형 훈련은 헤드폰 통합형 가상현실 기기인 VR BOSS(스마트피아, 서울, 대한민국)를 이용하여 실시하였다. VR BOSS는 사이즈 222mm x 205mm x 99mm(가로 x 세로 x 높이), 무게 415g인 고글형 헤드셋으로 스마트폰을 고글 앞에 탈부착할 수 있다. 고글

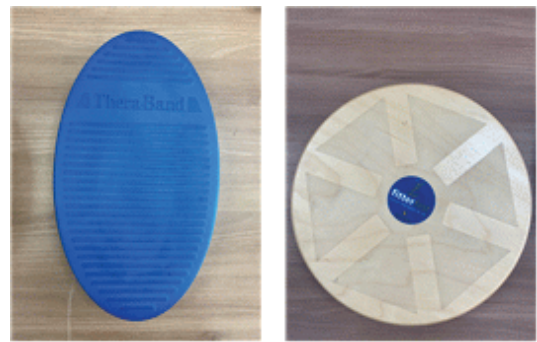


Fig. 2. Stability trainer pad and wobble board.

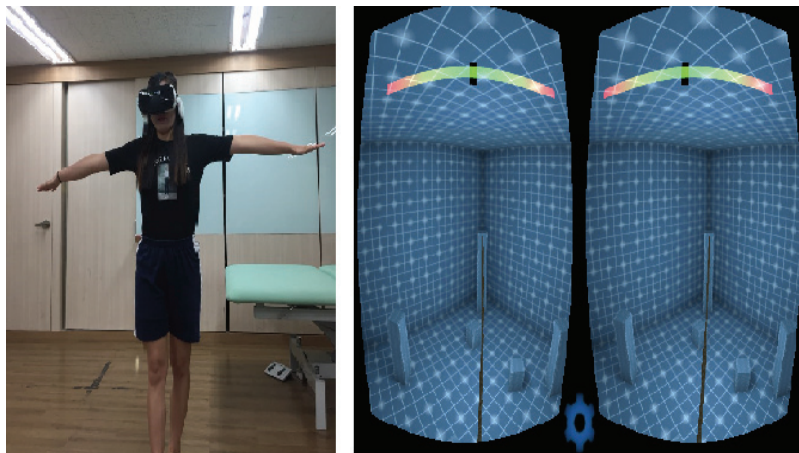


Fig. 3. Virtual reality program for balance.

안의 45mm 렌즈를 통하여 가상 현실 화면을 볼 수 있게 고안되었다. 가상 현실 화면들은 모바일 어플리케이션(Rope Crossing Adventure VR)을 다운 받아 사용하였다(Fig. 3).

3. 실험 방법

실험 대상자들은 실험실을 방문하여 설명을 들은 후, 실험 동의서를 작성하고 실험을 시작하였다. 복장의 통일성을 주기 위해 남녀 각각 통일된 편안한 옷(반바지)을 착용했다. Biorescue로 훈련 전 대상자의 균형 능력 측정을 하였고, 4주 동안 균형훈련을 시행하였다. 두 그룹 모두 주 3회 방문 30분간 균형운동을 하였다. 훈련이 끝난 후 다시 Biorescue로 훈련 후 측정을 완료하고 실험을 종료하였다.

1) 균형 훈련 전, 후 한발 서기 검사

균형 훈련 전, 후 Biorescue를 통해서 한발 서기 검사를 측정하였다. 측정 자세는 측정하는 발로 지지하며 반대 발은 90도로 구부린 자세로 양팔은 포개어 가슴 위로 놓는 것이었다(Fig. 1). 대상자들은 측정 자세에 대해 미리 교육을 받았으며, 측정자의 시작 신호와

함께 한발서기를 15초 동안 하였다. 대상자들은 오른쪽 또는 왼쪽 발 중 적어도 한 곳 이상에서 발목의 기능적 불안정성을 가지고 있었고, 정상 또는 발목 기능이 상대적으로 좋은 발로 먼저 측정 후, 발목 기능적 불안정성을 가지고 있는 발을 나중에 측정하였다. 한발 서기 평가를 학습하는 것을 방지하기 위해 먼저 측정한 발로 한발 서기 평가에 대한 이해를 한 후, 나중에 측정한 발의 압력중심의 이동길이과 속도를 측정하여 추후 분석에 사용하였다.

2) 전통적 균형훈련 그룹의 증재 방법

전통적 균형훈련은 Table 1에 정리된 일정에 따라 진행되었다. 1,2주차는 바닥 및 균형훈련패드위에서 훈련하였으며, 3,4주차는 워블보드 위에서 훈련하였다. 각 주마다 난이도를 높이기 위해, 눈을 뜨고 감기 및 한발서기, 한발서기와 함께 다리 들어올리기, 한발서기와 함께 스쿼트 하기를 적용하였다(Joshua et al., 2014; Sefton et al., 2011)(Table 1). 훈련방법이 바뀔 때 마다, 트레이너가 동작을 직접 보여준 후 질의 응답 시간을 가져 대상자들이 훈련방법을 충분히 이해하도록 하였다. 대상자들은 30분 동안 초반 및 후반 3분은 준비 및 마침 운동을 하였고, 나머지 시간 동안은 균형

Table 1. Traditional balance training program

Phase	Surface	Eyes	Exercise (30minutes)	
Week1	Day1	Floor	Open	Single-leg stance
	Day2	Floor	Open	Single-leg stance while swinging the raised leg
	Day3	Floor	Open	Single-leg squat
Week2	Day1	Stability Trainer Pad	Close	Single-leg stance
	Day2	Stability Trainer Pad	Close	Single-leg stance
	Day3	Stability Trainer Pad	Close	Single-leg squat
Week3	Day1	Board	Open	Double-leg standing
	Day2	Board	Open	Double-leg standing
	Day3	Board	Open	Double-leg squat
Week4	Day1	Board	Open	Double-leg standing
	Day2	Board	Open	Double-leg standing
	Day3	Board	Open	Double-leg squat

훈련을 자유롭게 하였다. 대상자가 힘들어하면 중간에 1분씩 휴식하였다.

3) 가상현실을 활용한 균형훈련 그룹의 중재 방법

대상자들은 가상현실 장비를 착용하기 전 게임 프로그램에 대한 설명을 들었다. 장비 착용 후, 양팔을 양 옆으로 뻗어 균형을 잘 잡을 수 있는 자세로 준비하고 가상현실 균형훈련을 시작하였다. 균형훈련은 화면에 보이는 외줄 위를 균형을 잡으며 걷는 것으로, Rope Crossing Adventure VR 어플리케이션(App Teeka VR Game by google play, USA)을 다운받아 사용하였다. 1,2주차는 그림 2와 같이 실내에서 외줄을 타는 Rope walker VR application 게임을 하였고, 3,4주차는 난이도 조절을 위해 고층 빌딩 사이의 외줄을 타는 Rope Crossing Adventure VR application 게임을 적용하였다(Table 2). 각 게임을 새롭게 훈련할 때, 10분간의 연습 시간을 보냈다. 올바른 자세유지와 벽과 같이 실험 장소에 부딪힐 위험이 있는 경우 트레이너가 옆에서 보조해 주었다(Fig. 3).

4. 자료 분석

통계 프로그램 R 소프트웨어(R statistical software, R Core Team, Austria)을 활용하여 본 연구의 자료분석을 진행하였다. 모든 종속변수는 Shapiro-Wilk 검사를 통하여 정규성 검정을 하였고, 정규 분포를 확인 후 다음의 통계를 진행하였다. 두 그룹의 나이, 키, 몸무게, CAIT 점수의 차이가 있는지 비교하기 위해, student t-test를 시행하였다. 한발 서기 시 압력중심의 길이 및 이동 속도가 균형훈련 전과 후로 차이가 있는지, 가상현실 균형훈련 그룹과 전통적 균형훈련 그룹과 차이가 있는지 알아보기 위해 혼합-효과 선형 회귀

모형(mixed-effect linear regression)을 사용하였다. 고정 요인(fixed factor)은 그룹(Group, 가상현실 및 전통적 균형훈련)과 검사시점(Test, 훈련 전, 후)이고 무작위 요인(random factor)은 대상자 개개인으로 지정하였다. 고정 요인은 범주형 변수(categorical variable)로 지정하였다. 더미 코드(dummy code)를 사용하여 그룹에 대해 전통적 균형훈련그룹은 0, 가상현실 균형훈련 그룹은 1로, 검사시점에 대해 훈련 전을 0, 훈련 후를 1로 지정하였다.

첫번째 모델은 그룹(Group) 또는 검사시점(Test)만 있는 모델, 다음으로는 그룹과 검사시점이 함께 있으나 상호작용이 없는 모델, 마지막으로 그룹과 검사시점의 상호작용 효과를 넣은 모델로 확장하였다. 모델 비교는 R에서 제공하는 anova()함수를 사용하여 log-likelihood ratio 검사로 진행하였다. 종속변수를 가장 잘 설명하는 모델은 log-likelihood ratio 검사에서 유의한 차이가 있으며, 가장 낮은 Bayesian Inclusion Criteria (BIC)를 가진 모델로 정의하였다. Full-model은 아래 공식과 같았다.

$$Y_j = (\beta_0 + \beta_0j) + \beta_1 (Group) + \beta_2 (Test) + \beta_3 (Group \times Test) + \epsilon \quad (1)$$

위 공식에서 Y는 종속변수(압력 중심의 이동길이 및 이동속도)이며 그룹과 검사시점, 그룹과 검사시점의 상호작용을 각각의 계수와 함께 표현하였다. 이때 j는 각각의 대상자를 나타내며, 각 대상자별로 절편(intercept)이 다르다는 것을 의미하였다. 통계학적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

Table 2. Virtual reality balance training program

Phase		Surface	Eyes	Exercise (30minutes)
Week 1,2	Day1~3	Floor	Open	Rope walker (Level 1~4)
Week 3,4	Day1~3	Floor	Open	Rope crossing adventure (Level 1~7)

Ⅲ. 연구 결과

1. 연구 대상자의 일반적인 특성

가상현실 균형훈련 그룹과 전통적 균형훈련 그룹은 나이, 키, 몸무게, CAIT 점수에 있어 통계학적으로 차이가 나지 않았다. 특히, CAIT 평균점수는 가상현실 균형훈련 그룹이 20.15±2.85 전통적 균형훈련 그룹이 19.64±2.80으로 두 그룹 모두 만성적인 기능적 발목 불안정성을 가지고 있었다(Table 3).

2. 훈련방법에 따른 압력 중심의 이동길이 및 이동 속도 변화

발목 불안정성이 있는 사람에게 가상현실과 균형 훈련 프로그램 적용에 따른 발의 압력 중심의 길이와 속도는 Fig. 4과 같다. 범주형 혼합모형 회귀분석 결과 검사 시점(Test, 훈련 전, 후)에 대한 고정 요인만 있는 모델이 압력중심의 이동길이 및 이동속도에 대한 최적의 모델임을 알아냈다(Table 4 and 5). 이는 두 그룹 모두 동일하게 훈련 전, 후로 통계적으로 유의미한 차이를 보인다는 것을 의미한다(mixed-effect model,

Table 3. Characteristic of participants at baseline (n=24)

Group	Virtual reality training (n=13)	Traditional balance training (n=11)
Age (year)	21.38±1.00 ^a	21.90±1.00
Height (cm)	158.84±4.69	163.64±8.14
Weight (kg)	57.61±14.64	58.90±13.79
Foot size (cm)	238.46±11.4	243.64±12.67
CAIT ^b (score)	20.15±2.85	19.64±2.80

^aMean±SD

^bCumberland ankle instability tool

Table 4. Results of mixed logistic-regression model for speed

Variables	Models for Speed			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Constant	1.62(0.12) ^{***}	1.69(0.09) ^{***}	1.70(0.12) ^{***}	1.70(0.13) ^{***}
Group	-0.01(0.16)		-0.01(0.16)	-0.02(0.18)
Session		-0.16 (0.07) [*]	-0.16(0.07) [*]	-0.16(0.10)
Group x Session				0.01(0.14)
Observations	46	46	46	46
Log Likelihood	-18.34	-15.67	-15.67	-15.67
AIC ^b	44.68	39.35	41.34	43.34
BIC ^c	52.00	46.66	50.48	54.31

^aCoefficient (standard error)

^bAIC: Akaike information criterion

^cBIC: Bayesian information criterion

*p<0.05

**p<0.01

***p<0.001

Best model is highlighted in bold.

$p < 0.05$) 이와 반대로, 가상현실과 균형훈련이 정적 균형에 있어 그룹간 유의한 차이는 나타나지 않았다 (mixed-effect model, $p > 0.05$). 속도에서 균형훈련 후 가상현실 그룹이 1.84 ± 0.73 에서 1.54 ± 0.40 로 0.3 ± 0.16 감소하였으며, 균형훈련 그룹이 1.70 ± 0.46 에서 1.54 ± 0.29 로 0.16 ± 1.10 만큼 감소하였다($p < 0.05$). 또한 압력중심의 길이는, 가상현실 그룹에서 27.36 ± 10.77 에서 22.09 ± 5.88 로 5.35 ± 2.34 만큼 줄었으며 균형훈련 그룹

은 24.26 ± 8.38 에서 22.09 ± 8.31 로 2.17 ± 1.43 만큼 줄어 들었다($p < 0.01$) (Fig. 4).

IV. 고찰

본 연구는 기능적 발목 불안정성을 가진 대상자 24명에게 가상현실과 전통적 방법의 균형훈련 방법을

Table 5. Results of mixed logistic-regression model for length

Variables	Models for length			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Constant	23.18(2.15) ^{***}	24.65(1.52) ^{***}	24.55(2.19) ^{***}	24.26(2.25) ^{***}
Group	0.21 (2.97)		0.21(2.97)	0.75(3.11)
Session		-2.74(0.88) ^{**}	-2.74 (0.89) ^{**}	-2.18(1.30)
Group x Session				-1.08(1.80)
Observations	46	46	46	46
Log Likelihood	-146.32	-142.19	-142.19	-142.00
AIC ^b	300.64	292.39	294.38	295.99
BIC ^c	307.95	299.70	303.52	306.96

^aCoefficient (standard error)

^bAIC: Akaike information criterion

^cBIC: Bayesian information criterion

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

*** $p < 0.001$

Best model is highlighted in bold.

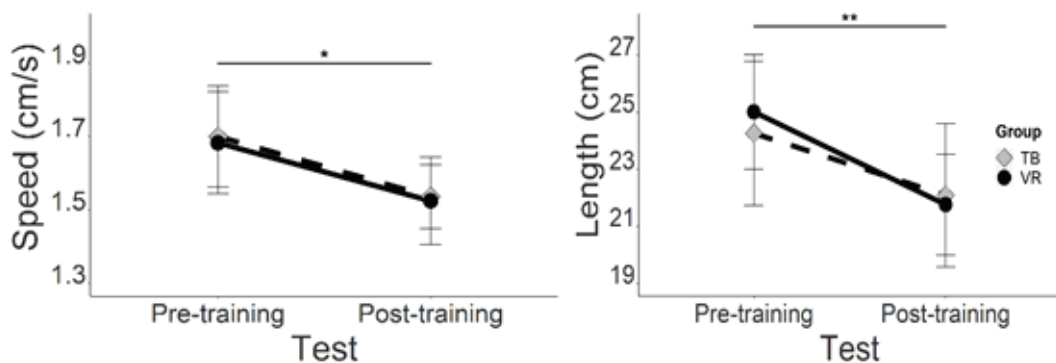


Fig. 4. Mean scores for speed and length of COP movements before and after 4 weeks of training in virtual reality (VR) and traditional balance (TB) training groups. Mixed-effect analysis performed for the statistical analysis. * and ** indicate $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.

4주간 적용했을 때, 균형능력 향상의 차이가 있는지 알아보려고 하였다. 연구결과, 기능적 발목 불안정성을 가진 대상자에게 균형훈련과 가상현실 프로그램을 적용하였을 때, 두 그룹 모두 압력중심의 이동길이와 이동속도에 있어 훈련 전과 후에 유의한 차이를 보였다. 하지만 압력중심의 이동길이와 이동속도의 그룹 간 차이는 발견되지 않았다.

본 실험에서 가상현실 그룹과 전통적 균형훈련 그룹에서 발의 압력중심의 길이와 속도가 훈련 전보다 후에서 감소된 것은 두 훈련이 균형능력 향상에 도움이 되는 것으로 해석될 수 있다. 이는 가상현실 또는 워블보드 등을 활용한 전통적 균형훈련이 균형능력 증진에 도움이 된다고 보고한 선행논문과도 일치한다. Kim 등(2015)은 닌텐도 Wii Fit을 활용하여 발목 기능적 불안정성을 가진 젊은이들을 4주간 근력 및 균형훈련을 한 결과, 가상현실 게임 중 균형훈련을 한 그룹이 근력 훈련을 한 그룹보다 전체적인 정적 및 동적 균형능력에 더 많은 향상을 보인다고 보고하였다. 양대중 등(2016)은 기능적 발목 불안정성을 가지고 있는 축구선수 15명에게 가상현실 기반 신경근 자세조절 융합 훈련을 1회 30분씩 총 8주 진행한 결과, 압력 중심의 이동길이가 중재 전, 후 유의하게 감소됨을 보고하였다. 본 연구 역시 압력 중심의 이동길이가 훈련 전, 후로 감소하는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 다른 연구와 비교하였을 때 다소 낮은 중심의 이동길이가 측정되었는데, 이는 15초 동안 Biorescue를 사용하여 압력 측정하여 60초동안 측정한 선행 연구와 차이가 있었기 때문으로 생각된다 (Yang et al., 2016). 또한 Wester 등(1996)은 워블보드를 이용한 균형훈련을 4주동안 발목 염좌를 당한 환자의 통증이 감소하고, 염좌가 재발하는 비율이 절반으로 감소했음을 연구하였다. 이처럼 가상현실 또는 전통적 균형훈련이 효과를 보이는 이유는 발목 주변을 감싸고 있는 근육들을 강화시키고, 발목 인대를 손상시키지 않는 범위 내에서 근육들의 협응 능력 증진 때문으로 생각된다 (Joshua et al., 2014; Wester et al., 1996). 또한 발목 근육을 지배하는 신경들의 효율적인 근육 조절성과 전정

기관과 같은 감각 기관의 감각 정보 처리 기능 향상과도 관련 지을 수 있다(Cone et al., 2015; Wester et al., 1996).

균형훈련이 효과가 있는 것과는 별개로 가상현실과 전통적 균형훈련 그룹 간 차이가 없었다. 이는 Punt 등(2017)의 급성 발목 염좌를 입은 환자들에게 가상현실과 일반적 물리치료 후 걸음걸이에 대한 효과 차이가 없다는 결과와 비슷한 부분이다. 이 연구에서 저자는 전통적 물리치료와 Wii를 이용한 훈련을 6주동안 하였을 때, 대조군을 포함한 모든 그룹에서 속도, 보폭, 스텝등의 보행변수들이 향상됨을 보고하였으나, 그룹 간 차이는 발견하지 못하였다. 하지만 훈련을 받지 않은 대조군도 보행 기능의 향상을 보였는데, 이는 급성시기 대상자들에게 자발적 회복(spontaneous recovery)이 일어났기 때문이라고 하였다. 본 연구는 선행연구와는 다르게 만성적인 발목 기능적 불안정성을 가진 젊은이들을 대상으로 하였고 훈련을 받지 않은 대조군이 없기에 자발적 회복이 일어난 것을 제외하고 결과를 신중하게 해석하였다. 본 연구에서 가상현실과 균형훈련이 선행연구와 비슷한 효과를 보인 이유는 다음과 같이 생각된다. 첫째, 두 그룹 간의 훈련 빈도 및 강도가 같았던 점, 둘째, 각 대상자의 상태에 맞춘 개별 훈련 프로그램 및 난이도 조절을 하지 않은 점, 셋째, 4주간의 다소 짧은 훈련기간을 든 점 등이다. 가상현실 프로그램의 장점은 대상자가 흥미를 가지고 훈련을 할 수 있고 대상자가 원하는 시간에 원하는 만큼 훈련시간을 늘일 수 있다는 것이므로(Bassett & Prapavessis, 2007; Karamians et al., 2020), 훈련 빈도 및 강도를 전통적 훈련보다 높이거나 장기간의 훈련 기간을 설정을 통하여 가상현실과 전통적 훈련 방법의 차이가 있는지 연구할 필요가 있다. 이 때 주의할 점은 실제 움직임과 가상세계의 캐릭터(또는 아바타) 움직임 사이의 지연(delay), 멀미 등의 가상현실 훈련의 부작용이다(Yu et al., 2019). 실제로 Horlings 등(2009)은 가상현실 장비를 착용하고 가만히 서 있을 경우, 정적 균형의 한 척도인 어깨의 흔들림(shoulder sway)가 장비 착용 전보다 더 심해짐을 보고하였다.

따라서 이런 부분을 보완하여 개개인별로 적절한 난이도를 선택하여 훈련할 필요가 있다.

본 연구의 제한점으로 연구 대상자가 남성보다 여성의 비율이 높았던 것과 발목의 불안정성이 없는 대상자와 비교하지 못한 점이다. 또한 두 그룹 모두 정적인 균형만을 평가하여 동적 균형 능력 증진이 있었는지 알지 못한 점이다. 실험의 중재에서 가상현실 프로그램 적용시킬 때 동적으로 사용하도록 하였으므로 동적균형 역시 측정할 필요가 있다. 이와 연계되어 전통적 균형훈련은 주로 정적인 훈련을 위주로, 가상현실 훈련은 외줄타기의 동적인 훈련을 위주로 진행하여 훈련의 성격이 달랐던 점 역시 본 연구의 제한점이다. 그럼에도 불구하고 두 그룹 간의 훈련 전후로 정적균형이 유의미하게 향상된 점을 미뤄볼 때, 적어도 정적균형에 있어 균형훈련의 방법과 상관없이 훈련의 효과가 있음을 증명한 것으로 생각된다. 마지막으로, 주관적인 평가(재미, 몰입감, 동기부여)등을 진행하지 않은 점이다. 가상현실 훈련과 전통적 균형훈련이 동일한 훈련 시간과 비슷한 훈련효과를 보인다면, 재미있고 훈련에 몰입을 더 잘 하게 하는 훈련방법이 환자들에게 더 훈련에 대한 동기를 부여할 수 있을 것이다. 주관적 평가가 훈련 기간에 따라 변화하는 양상을 보는 연구도 필요하다고 생각된다.

본 연구의 임상적 의의는 훈련 빈도와 기간이 동일한 환경에서 가상현실 프로그램 훈련과 전통적 균형훈련 모두 발목 기능적 불안정성이 있는 환자의 균형능력 증진에 효과가 있다는 것이다. 따라서 병원 및 일상생활 속에서 균형훈련 시, 개개인의 취향에 맞는 훈련 방법을 선택하여 훈련할 것을 제안한다.

V. 결론

본 연구는 기능적 발목 불안정이 있는 대상자들에게 가상현실 균형훈련과 전통적 균형훈련을 적용시킨 결과 한발 서기 할 때 압력중심의 이동거리와 이동속도를 변화를 알아보았다. 두 그룹 모두 훈련 전후로

압력중심의 이동거리와 이동속도가 유의하게 감소하였지만, 그룹 간 차이는 없었다. 본 연구결과는 가상현실과 전통적 균형훈련 모두 발목 불안정성을 감소시킨다는 선행 연구들의 연구를 뒷받침함과 동시에 동일한 훈련 기간 및 빈도 조건에선 어느 특정 훈련이 다른 훈련 방법보다 우월하지 않다는 것을 보여준다. 본 연구에서 적용한 균형훈련들은 기능적 발목 불안정성을 가진 젊은 남녀에게 일상생활 중 재발될 수 있는 발목 염좌 감소에 도움이 될 것이다. 본 연구 결과를 기초하여 추후 연구에서는 장기간 동안 다양한 연령을 대상으로 훈련을 적용하였을 때 어떠한 훈련방법이 기능적 발목 불안정성을 가진 대상자에게 더 효과적인지 알아보는 연구가 필요하다고 생각된다.

References

- Bassett SF, Prapavessis H. Home-based physical therapy intervention with adherence-enhancing strategies versus clinic-based management for patients with ankle sprains. *Physical Therapy*. 2007;87(9): 1132-1143.
- Burcal CJ, Trier AY, Wikstrom EA. Balance training versus balance training with STARS in patients with chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2017;26(5):347-35.
- Clark VM, Burden AM. A 4-week wobble board exercise programme improved muscle onset latency and perceived stability in individuals with a functionally unstable ankle. *Physical Therapy in Sport*. 2005;6(4): 181-187.
- Cone BL, Levy SS, Goble DJ. Wii Fit exer-game training improves sensory weighting and dynamic balance in healthy young adults. *Gait & Posture*. 2015;41(2):711-715.
- Eng JJ, Chu KS. Reliability and comparison of weight-bearing

- ability during standing tasks for individuals with chronic stroke. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2002;83(8):1138-1144.
- Freeman M. Instability of the foot after injuries to the lateral ligament of the ankle. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 1965;47(4):669-677.
- Granacher U, Schellbach J, Klein K, et al. Effects of core strength training using stable versus unstable surfaces on physical fitness in adolescents: a randomized controlled trial. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 2014;6(1):40.
- Hiller CE, Refshauge KM, Bundy AC, et al. The Cumberland ankle instability tool: a report of validity and reliability testing. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2006;87(9):1235-1241.
- Hiller CE, Kilbreath SL, Refshauge KM. Chronic ankle instability: evolution of the model. *Journal of Athletic Training*. 2011;46(2):133-141.
- Holmes A, Delahunt E. Treatment of common deficits associated with chronic ankle instability. *Sports Medicine*. 2009;39(3):207-224.
- Hong SH, Im S, Park GY. The effects of visual and haptic vertical stimulation on standing balance in stroke patients. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2013; 37(6):862-870.
- Horlings CG, Carpenter MG, Küng UM, et al. Influence of virtual reality on postural stability during movements of quiet stance. *Neuroscience Letters*. 2009;451(3): 227-231.
- Joshua AM, D'Souza V, Unnikrishnan B, et al. Effectiveness of progressive resistance strength training versus traditional balance exercise in improving balance among the elderly - a randomised controlled trial. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2014; 8(3):98-100.
- Karamians R, Proffitt R, Kline D, et al. Effectiveness of virtual reality- and gaming-based interventions for upper extremity rehabilitation poststroke: a meta-analysis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2020;101(5):885-896.
- Kim JH, Choi BR. Intra- and inter-rater reliability of BioRescue. *The Korea Contents Association*. 2018;18(11): 348-352.
- Kim JH, Uhm YH. Effect of ankle stabilization training using biofeedback on balance ability and lower limb muscle activity in football players with functional ankle instability. *The Journal of Korean Physical Therapy*. 2016;28(3):189-194.
- Kim KJ, Heo M. Effects of virtual reality programs on balance in functional ankle instability. *The Journal of Physical Therapy Science*. 2015;27(10):3097-3101.
- Kim YW, Kim EJ, Song YG, et al. The effects of functional instability of the ankle joint on balance. *Physiotherapy Practice and Research*. 2016;37(1):3-9.
- Lohse KR, Hilderman CG, Cheung KL, et al. Virtual reality therapy for adults post-stroke: a systematic review and meta-analysis exploring virtual environments and commercial games in therapy. *PLoS One*. 2014; 9(3):e93318.
- McGuire TA, Keene JS. The effect of a balance training program on the risk of ankle sprains in high school athletes. *The American Journal of Sports Medicine*. 2006; 34(7):1103-1111.
- McKeon PO, Ingersoll CD, Kerrigan DC, et al. Balance training improves function and postural control in those with chronic ankle instability. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2008;40(10):1810-1819.
- Metin Ökmen B, Doğan Aslan M, Nakipoğlu Yüzer GF, et al. Effect of virtual reality therapy on functional development in children with cerebral palsy: A single-blind, prospective, randomized-controlled study. *Turkish Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2019;65(4):371-378.
- O'Driscoll J, Kerin F, Delahunt E. Effect of a 6-week dynamic

- neuromuscular training programme on ankle joint function: a case report. *Sports Medicine Arthroscopy Rehabilitation Therapy & Technology*. 2011;3(1):13.
- Pourkazemi F, Hiller CE, Raymond J, et al. Predictors of recurrent sprains after an index lateral ankle sprain: a longitudinal study. *Physiotherapy*. 2018;104(4):430-437.
- Punt IM, Armand S, Ziltener JL, et al. Effect of Wii Fit™ exercise therapy on gait parameters in ankle sprain patients: a randomized controlled trial. *Gait & Posture*. 2017;58:52-58.
- Rogers MW, Tamulevicius N, Coetsee MF, et al. Knee osteoarthritis and the efficacy of kinesthesia, balance & agility exercise training: a pilot study. *International Journal of Exercise Science*. 2011;4(2):124-132.
- Rozzi SL, Lephart SM, Sterner R, et al. Balance training for persons with functionally unstable ankles. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 1999; 29(8):478-486.
- Rutkowski S, Rutkowska A, Kiper P, et al. Virtual reality rehabilitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized controlled trial. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*. 2020;15:117-124.
- Sefton JM, Yarrar C, Hicks-Little CA, et al. Six weeks of balance training improves sensorimotor function in individuals with chronic ankle instability. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2011;41(2):81-89.
- Smith RW, Reischl SF. Treatment of ankle sprains in young athletes. *American Journal of Sports Medicine*. 1986;14(6):465-471.
- Verhagen E, Van Der Beek A, Twisk J, et al. The effect of a proprioceptive balance board training program for the prevention of ankle sprains: a prospective controlled trial. *American Journal of Sports Medicine*. 2004;32(6):1385-1393.
- Vernadakis N, Gioftsidou A, Antoniou P, et al. The impact of Nintendo Wii to physical education students' balance compared to the traditional approaches. *Computers & Education*. 2012;59(2):196-205.
- Wester JU, Jespersen SM, Nielsen KD, et al. Wobble board training after partial sprains of the lateral ligaments of the ankle: a prospective randomized study. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 1996; 23(5):332-336.
- Yang DJ, Park SK, Uhm YH. Impact of virtual reality based neuromuscular postural control fusion training on balance ability and jump performance of soccer players with functional ankle instability. *Journal of Digital Convergence*. 2016;14(11):357-367.
- Yu M, Zhou R, Wang H, et al. An evaluation for VR glasses system user experience: the influence factors of interactive operation and motion sickness. *Applied Ergonomics*. 2019;74:206-213.