

Original Article

Open Access

VR-HMD를 활용한 불안정 지지면 운동이 기능적 발목 불안정성에 미치는 영향

백종수 · 김용준 · 김형주 · 박주환 · 이누리 · 이보라 · 임보배 · 정다송 · 최지예 · 김민희†
을지대학교 물리치료학과

The Effect of Unstable Supporting Exercise in Young Adults with Functional Ankle Instability when Training with a Virtual Reality-Head Mounted Display System

Jong-Soo Baek · Yong-Joon Kim · Hyung-Joo Kim · Joo-Hwan Park · Noo-Ri Lee · Bo-Ra Lee ·
Bo-Bae Lim · Da-Song Jung · Ji-Ye Choi · Min-Hee Kim†

The Department of Physical Therapy, Eulji university

Received: January 9, 2019 / Revised: February 15, 2019 / Accepted: February 15, 2019

© 2019 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: This study was an investigation of the effect of unstable supporting exercise in young adults with functional ankle instability. The study tested the use of a jumper and virtual reality (VR) training via a VR-head mounted display (HMD) system to provide functional improvement in proprioception, range of motion (ROM), ankle muscle strength, agility, and balance.

Methods: The subjects comprised 61 young adults (in their twenties) with functional ankle instability to decide as less than 24 points using Cumberland ankle instability tool. The subjects were divided into three groups: VUS (VR-HMD and unstable supporting exercise, n = 20), VSS (VR-HMD and stable supporting exercise, n = 19), and NUS (non-VR-HMD and unstable supporting exercise, n = 22). The exercise program was conducted three times per week for three weeks. VR training via a VR-HMD system and a VR application on a smart mobile device were used with the VUS and VSS groups, and unstable supporting exercise was used in the VUS and NUS groups for 30 minutes. Proprioception, ROM, ankle muscle strength, agility, and balance were measured before and after training.

Results: The VUS group showed significant differences in most results, including proprioception, ROM, ankle muscle strength, agility, and balance to compare before and after, and the VSS and NUS groups partially. Moreover, the VUS group had significant differences in most results when compared with the other groups.

Conclusion: Unstable supporting exercise and VR training via a VR-HMD system improved functional ankle instability in terms of proprioception, ROM, ankle muscle strength, agility, and balance.

Key Words: Virtual reality program training, Functional ankle instability, Unstable supporting exercise

†Corresponding Author : Min-Hee Kim (kmh12@eulji.ac.kr)

I. 서론

발목관절은 일상생활과 스포츠 활동에서 가장 흔하게 손상 받을 수 있는 신체 부위 중 하나이며 발목 손상은 일상생활과 스포츠 활동에서 지속적인 제한을 발생시키고(Fong et al., 2007), 불안정성 보행과 불안감을 초래한다(Yeung et al., 1994). 특히, 발목의 가쪽 인대가 반복적으로 손상되고 재손상 비율은 80%에 달한다(Hertel, 2000). 이는 만성 발목 불안정성(chronic ankle instability)에 이르게 되고(Hertel, 2002) 고유 수용성 감각의 저하, 정강중아리뼈 뻐뻐, 정강뼈의 약화 및 자세 조절의 결함 등이 나타나게 된다(Gauffin et al., 1988). 만성 발목 불안정성은 크게 기계적(mechanical) 발목 불안정성과 기능적(functional) 발목 불안정성으로 나눌 수 있다(Hiller et al., 2011). 특히, Freeman (1964)은 반복적인 발목 뻐뻐의 결과로 일상생활 동안에 발목이 휘청거리는 주관적인 느낌을 기능적 발목 불안정성으로 정의하였다.

이러한 기능적 발목 불안정성은 환자에게 통증과 발목이 빠지는 듯한 느낌이나 반복적인 손상이 나타나는 등의 만성적인 문제를 발생시킨다. 또한, 발목의 고유 수용 감각 정확성이 감소됨에 따라 발목 뻐뻐 재발하게 되며(Hertel, 2000) 환측 엉덩관절 별림근의 근력 약화(Friel et al., 2006)와 발목관절의 안정근 약화로 인해 자세 조절 동요의 증가로 이어지게 된다(Yaggie & McGregor, 2002). 이러한 기능적 발목 불안정성은 위에서 언급한 발목 뻐뻐의 재발(Hadadi et al., 2014), 자세 조절 및 기능적인 문제들과 직접적인 연관이 있기 때문에 이를 해결하기 위해 여러 치료 방법들이 국내외에서 개발되었다. 밸런스 보드를 이용한 고유 수용 감각 훈련(Hupperets et al., 2008), 체중 부하 운동 및 탄성 밴드 운동(Choi & Han, 2014), 외발 수행(single leg performance)을 통한 자세 안정성(Moussa et al., 2009) 등의 치료가 보고되었다.

그 중 불안정한 지지면에서의 운동은 근력, 균형능력의 증가 효과적이며(Verhagen et al., 2014), 인체의 심부 안정성을 향상시켜 기능적 발목 불안정성 감소

에 효과적이다(Verhagen et al., 2014). 이러한 불안정 지지면 운동은 ‘심부 근육’의 움직임에 중점을 두고 있어 신체의 균형을 잡는 동작들을 통해 근육의 활성화도가 높아지고 자세 안정성을 향상시킨다. 이 운동 프로그램은 균형능력과 고유 감각을 증진시켜 기능적 발목 안정성에 효과적이지만 대부분의 운동 프로그램은 지루하며 동기유발을 시키지 못한다는 단점이 있다(Vernadakis et al., 2012). 이러한 문제를 해결하기 위해 가상현실을 활용한 운동 프로그램이 제안되었으며 대상자의 운동 수용기제와 동기유발에 효과적인 것으로 보고되었다(Kim, 2005).

가상현실(virtual reality, VR)프로그램이란, 대상자가 컴퓨터 스마트폰 등과 같은 기기를 통해 만들어진 특정한 공간 및 상황에서 상호작용을 하는 것을 말한다. 또한, 가상현실에서 사용되는 시각적 피드백은 물체의 운동에 관한 정보와 자신의 운동에 대한 정보를 제공받아 환경의 요구에 맞도록 행동을 조절한다(Ma, 1996). 이는 자세동요를 감소시켜 자세균형에 중요한 역할을 한다(Loughlin & Redfem, 2001).

이러한 가상현실 프로그램은 여러 가지 방법으로 대상자에게 제공될 수 있는데 그중에서도 4차 산업혁명의 핵심 기술인 VR-Head Mount Display (HMD)를 통해서 효과적으로 제공될 수 있다(Lee, 2007). VR-HMD는 머리에 착용하는 디스플레이 장치로 기존의 디스플레이와 달리 대상자를 보다 가상현실에 몰입할 수 있다는 장점이 있다. 과거에는 VR-HMD가 고가의 장비로서 전문적인 제작을 요구하여 콘텐츠 제작에 비용 및 시간이 많이 들어 활용이 되지 않았다. 하지만 스마트폰의 대중화 및 저가형 VR-HMD의 보급으로 VR-HMD를 이용한 가상현실 프로그램이 다시 주목받기 시작하였다(Choi, 2016). 가상현실을 이용한 치료는 뇌졸중 환자의 상지기능, 균형능력, 보행능력을 향상시키기 위한 재활에 이용되고 있으며(Jang et al., 2013), 다양한 환경을 경험하기 힘든 발달장애 아동들의 치료에도 사용되는 등 의학 분야에서 다양하게 이용되고 있다(Yu et al., 2018).

따라서 VR-HMD를 이용한 시청각적 자극을 동반

한 불안정 지지면에서의 운동이 기능적 발목 불안정성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상은 S시 E대학교에 재학 중인 20대 성인 대학생 중 과거 병력, 문진, 이학적 검사, 설문조사를 통해 300여 명의 학생 중 기능적 발목관절 불안정성으로 판단되고 실험에 동의한 61명을 대상으로 탈락된 대상자 없이 연구가 시행되었다. 연구 대상자는 체중을 지탱하지 어려울 정도의 발목 뻘을 과거에 한번 이상 경험하였고, 발목 수술 병력이 없는 자, 발목관절에 휘청거림을 느끼는 자, Cumberland 발목 불안정성 설문지 점수가 24점 이하인 자, 중재나 일상생활을 통증 증가 없이 수행할 수 있는 자, 현재 재활 운동 프로그램에 참여하고 있지 않은 자로 선정하였고, 발목에 외과적 변형, 부종(edema)이나 혈관 등의 구조 이상이 있는 자, 실험에 영향을 미치는 시, 청각 장애 및 정신 또는 인지적 장애가 있는 자, 발목 뻘을 경험하지 못한 자, 발목 뻘 외에 다른 근골격계 손상이 있는 자는 연구 대상에서 제외하였다.

2. 연구 절차

모집된 연구 대상자 총 61명에게 사전평가로 한발 서기 검사, Y-balance 검사, 균형 감각 측정 검사, 발목 근력 측정 검사, 발목 고유 감각 측정 검사, 관절가동범위(range of movement, ROM) 검사를 실시하였다. 선정된 대상자들을 VR-HMD (VR box, Max, China)를 착용하고 불안정 지지면에서 운동하는 VR-HMD+unstable surface (VUS)군 20명, VR-HMD를 착용하고 안정 지지면에서 운동하는 VR-HMD+stable surface (VSS)군 19명, VR-HMD를 착용하지 않고 불안정지지면에서 운동하는 none VR-HMD+unstable surface (NUS)군 22명으로 각 집단에 무작위로 배정하였다. VUS군과 VSS

군, NUS군 모두 주 3회 3주간 총 9회에 걸쳐 운동 프로그램을 적용한 후 사전검사와 같은 방법으로 사후검사를 실시하여 전, 후 차이를 알아보았다. 3개의 군 모두 준비운동 5분, 본 운동 20분, 마무리 운동 5분으로 구성하였다. 준비운동과 마무리 운동은 간단한 스트레칭을 실시하였다.

3. 연구 중재

1) VR-HMD

기능적 발목 불안정성을 가진 환자의 균형능력을 향상시키기 위한 VR-HMD (VR box, Max, China)기기는 총 12대로 각각 바이온 회사 제품을 사용하였다. 실험에서 사용된 애플리케이션으로는 VR 줄타기(Yi Wang, China), VR 교통 자전거 경주(Babloo Games, United Arab Emirates), Subway Surf Race VR 2017 (Daisy Daisy, USA)을 사용하였다.

VR 줄타기는 VR에서 와이어 위킹의 경험을 제공하는 게임으로 구성됨으로써 균형 감각을 증진시킨다. VR 교통 자전거 경주는 VR 기반의 자전거 경주 게임으로써, 순발력과 균형 감각, 근력, 근지구력 등을 향상시켜준다. Subway Surf Race VR 2017은 가상현실에서 지하철 서핑 레이스를 즐길 수 있는 게임으로써, 균형 감각, 근력, 조정력 등을 향상시켜준다.

이 실험에서 사용된 핸드폰은 피실험자의 개인 핸드폰을 사용하였다.

2) 불안정 지지면 운동

불안정 지지면 운동은 점퍼(JUMPER, TOGU, Germany)를 이용하였다. 본 연구에 사용된 점퍼는 약 24cm 높이로 된 에어공간으로 구성되어 있고 공기가 들어있으며, 이러한 특성으로 인해 탄성이 있는 무른 지면을 제공할 수 있다. 이는 서서 균형을 이루는 노력 자체만으로도 초당, 단위 면적당 다양한 반작용력을 갖게 하며, 건, 인대, 관절 고유 수용기를 모두 활성화시킬 수 있는 장비이다. 적용방법은 점퍼 위에서 두

발로 균형을 잡고 서 있는 형태로 적용하였다.

4. 측정 방법

1) 발목 고유 감각 측정

발목의 고유수용성 감각을 측정하기 위해 실험자는 먼저 서 있는 상태에서 무릎관절과 발목관절을 중립자세로 유지하였다. 그 후 실험자는 측정자의 보조에 의해 천천히 발목관절을 수동적으로 움직여 30°에 이르도록 한 후 5초간 자세 위치를 인식하도록 하고 다시 시작 자세로 위치시켰다. 시각을 차단한 상태에서 측정자의 구령에 의해 실험자가 능동적으로 같은 각도를 재현하도록 실시하였으며, 실험자가 인지하던 관절의 위치에 도달했다고 하면, 그때의 각도를 측정하여 자극지점에서의 각도와와의 오차 각도를 측정하여 평균값을 측정하였다. 각각 3회 측정하여 평균값을 산출하여 자료화 하였다(Akbari & Ghiasi, 2007; Jan et al., 2009).

2) 근력 측정

발목의 등속성 근 기능의 측정을 위하여 Biodex 등속성 힘측정계(Biodex medical systems, shirley, USA)를 사용하였다.

(1) 발목관절의 발등 굽힘 및 발바닥 굽힘

대상자는 신발을 신은 상태에서 의자를 뒤로 30° 젖히고, 발은 측정판 위에 0°로 설정하였고 무릎 관절을 20°~30°로 굽힘을 한 위치에서 무릎뼈와 발목의 중심이 나란히 정렬될 수 있도록 자세를 취하게 하였다. 보상작용을 통한 오차의 범위를 최소화할 수 있도록 스트랩(strap)을 이용하여 몸통, 넓다리, 발목을 고정시켰다. 발바닥 굽힘 및 발등 굽힘의 측정은 40° 발바닥 굽힘 된 상태에서 시작하여 20° 발등 굽힘을 한 다음 발바닥 굽힘으로 되돌아오는 것으로 총 3회 측정하였다. 각속도는 60°로 설정하였으며, 각 각속도

사이에 10초의 휴식을 취하게 하였다(Kim, 2012).

(2) 발목관절의 안쪽 번짐 및 가쪽 번짐

안쪽 번짐 및 가쪽 번짐은 위와 같은 자세로 30° 안쪽 번짐 상태에서 시작하여 20° 가쪽 번짐 하였다가 안쪽 번짐 상태로 되돌아오는 것으로 3회 측정하였다. 각속도는 60°로 설정하였으며, 각 각속도 사이에 1분의 휴식을 취하게 하였다(Kim, 2012).

3) 균형

(1) Y-균형 테스트

Y-균형 테스트는 1.5inch 테이프를 이용하여 전방향의 선에 기준하여 양쪽으로 135° 지점에 뒤 안쪽과 뒤 바깥쪽 방향의 선을 표시하였으며, 중앙선에서 대상자가 다리를 뺀 지점까지의 거리를 cm 단위로 측정하였다(Plisky et al., 2009). 맨발로 측정하였으며, 두 번째 발가락을 기준으로 측정하였다. 학습효과를 최소화하기 위해 3회의 연습 후 측정하도록 하였으며(Hertel et al., 2000), 총 3회 측정하여 평균값을 기록하였다. 지지하는 발이 지면에서 떨어지거나, 균형을 잡기 위해 뺀 발이 바닥에 닿는 경우, 또는 발을 뺀 후 다시 시작 자세로 돌아오지 못할 경우에는 실패로 간주하고 다시 측정하였다. 다리 길이의 차이를 보상하기 위하여 표준화 공식을 이용하였다. 좌우측 다리를 각각 측정하여 표준화된 수치의 평균과 표준편차를 계산하였으며, 표준화된 수치는 백분율로 나타내었다(Plisky et al., 2006). 통계 분석에는 좌우를 구분하지 않고 수치를 계산하였다. Star Excursion Balance Test (SEBT)는 Hertel 등(2006)과 Plisky 등(2006)에 의해 0.78~0.92의 신뢰도를 가진다고 보고되었으며, 반복측정을 통한 숙달로 인해 측정에 오류가 생기는 것에 대하여 반복측정 신뢰도검사를 한 결과 0.84~0.92의 신뢰도를 가진다고 보고되었다(Munro et al., 2010).

(2) 균형 감각 측정

균형 감각 측정 도구로 Bio Rescue (Bio rescue, RM

INGENIERIE, France)를 사용하였다. Bio Rescue는 화면과 플랫폼(platform)으로 이루어져 있으며, 12개의 스트레인 게이지(strain gauges)를 가지고 있어서 플랫폼의 각도가 측정되어진다. 실험자가 눈을 뜬 상태로 지지판 정중앙 부분에 다리를 편 상태로 체중을 지지하고 반대측 무릎은 90° 굽힘하며, 프로그램 지시에 따라 발의 위치를 입력하여 측정을 실시하였다(Alonso et al., 2011). 지지판 안정도는 1-8단계이며, 전체(overall), 앞-뒤(anterior-posterior), 안쪽-가쪽(medial-lateral) 방향으로 측정이 가능하다. 균형 감각이 좋을수록 수치적으로 낮은 값을 보인다. 측정은 30초간 실시 후 10초 휴식하였고, 총 3번 측정하여 평균값을 산출하였다(Lee et al., 2006). 정적 균형 감각 측정 후 동적 균형 감각을 측정하였고, 동적 균형의 단계는 안정도가 낮은 수준(level 2)에서 실시되었다(Kim et al., 2013). 롬버그 검사는 플랫폼에 선 상태에서 두 발을 모으고 움직이지 않고 1분 동안 유지하게 한 뒤 이동거리를 측정하였다.

5. 자료 처리

본 연구를 통해 수집된 자료는 SPSS ver. 21.0 for win 프로그램(SPSS, SPSS Inc, USA)을 이용해서 분석하였다. 대상자의 일반적 특성은 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 이용하여 동질성을 확인하였다. 각 군 내에서의 전·후 비교는 대응표본 t 검정(paired t-test)을 이용하였고, 군 간에서의 전과 후의 변화 비율의 비교는 일원배치 분산분석을 이용하였다. 사후 검정은 Bonferroni 다중 비교 테스트를 사용하였다. 통계

학적 유의수준은 0.05로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. 대상자의 일반적 특성

본 연구에 참여한 대상자는 VUS군 20명, VSS군 19명, NUS군 22명인 전체 61명을 대상으로 실험을 하였다. 본 연구에 참여한 대상자의 일반적 특성은 아래의 표와 같으며, 세 군 간 비교한 결과 유의한 차이가 있지 않았다($p>0.05$)(Table 1).

2. 고유수용성 감각

VUS군의 운동 프로그램 적용 전·후 고유수용성 감각의 기록은 군 내 평균 비교에서 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). VSS군의 운동 프로그램 적용 전·후 고유수용성 감각의 기록은 군 내 평균 비교에서 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). VSS군의 운동 프로그램 적용 전·후 고유수용성 감각의 기록은 군 내 평균 비교에서 좌측 발에서만 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 또한, 세 군 간의 차이를 알아보기 위해 변화율을 비교한 결과 VUS군과 VSS군, VUS군과 NUS군은 통계적으로 유의한 차이가 있었지만($p<0.05$), VSS군과 NUS군은 유의한 차이가 있지 않았다($p>0.05$)(Table 2).

Table 1. General characteristics

	VUS(N=20)	VSS(N=19)	NUS(N=22)	<i>p</i>
Height (cm)	166.20±8.39 ^a	168.37±9.22	164.14±7.38	0.28
Weight (kg)	60.60±11.60	61.90±12.02	58.91±9.49	0.69
Right leg length (cm)	83.85±4.73	84.76±6.32	83.73±4.27	0.79
Left leg length (cm)	83.63±4.68	84.45±6.49	83.39±4.48	0.80

^aMean±Standard deviation * $p<0.05$

Table 2. Comparison of after and before group of Proprioceptive sense

		VUS	VSS	NUS	F	p
Lt.	Pre	5.87±3.29 ^α	4.81±2.76	5.33±3.29	4.20	0.02**
	Post	2.56±2.47	2.38±1.84	2.58±2.13		
	Ratio	80.33±63.03 ^{y, z}	36.21±28.91 ^x	40.05±28.34 ^x		
	t	-4.35	-3.74	-4.14		
	p	0.00*	0.05*	0.00*		
Rt.	Pre	4.76±3.61	6.94±3.59	4.83±3.41	4.70	0.01**
	Post	2.86±2.65	2.27±2.96	2.80±3.42		
	Ratio	96.95±92.21 ^{y, z}	41.19±36.16 ^x	46.70±37.94 ^x		
	t	-2.14	-4.10	-1.95		
	p	0.05*	0.00*	0.07		

^αMean±Standard deviation, *: paired t-test $p<0.05$, **: ANOVA $p<0.05$

3. 근력

Biodex 등속성 힘측정계를 사용하여 각 군의 근력을 비교한 결과 VUS군의 운동 프로그램 적용 전·후 결과는 군 내 평균 비교에서 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). VSS군의 운동 프로그램 적용 전·후 결과는 군 내 평균 비교에서 좌, 우측 발바닥 굽힘에서만 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). NUS군의 운동 프로그램 적용 전·후 결과는 군 내 평균 비교에서 우측 안쪽 변짐과 좌측 발바닥 굽힘에서만 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 또한, Biodex 등속성 힘측정계를 사용하여 각 군의 근력 변화율을 비교한 결과 VUS군의 운동 프로그램 적용 후 Biodex의 최대토크 비 값은 VUS군과 VSS군, VUS군과 NUS군은 군 간 평균의 비 값 비교에서 통계학적으로 유의하였으나 VSS군과 NUS군은 통계학적으로 유의한 차이가 있지 않았다($p>0.05$)(Table 3).

4. 균형능력

1) Y-균형 테스트

Y-균형 테스트를 통해 측정한 각 군의 운동 프로그

램 적용 전·후의 Y-균형 테스트 점수를 비교한 결과 VUS군의 Y-균형 테스트 점수의 변화는 좌, 우측 모두 통계학적으로 유의한 차이가 있었으나($p<0.05$), VSS군과 NUS군의 운동 프로그램 적용 전·후 Y-균형 테스트 점수의 변화는 좌, 우측 모두 통계학적으로 유의한 차이가 있지 않았다($p>0.05$). 세 군 간의 차이를 알아보기 위해 Y-균형 테스트 점수의 변화율을 비교한 결과 VUS군과 VSS군, VUS군과 NUS군은 통계학적으로 유의한 차이가 있었으나($p<0.05$), VSS군과 NUS군은 유의한 차이가 있지 않았다($p>0.05$)(Table 4).

2) 균형 감각

운동 프로그램 적용 전·후 BioRescue 결과의 변화 중 안정성 한계(limit of stability)는 VUS군과 VSS군 내 평균 비교에서 통계학적으로 유의한 차이가 있었으나($p<0.05$), NUS군 내 평균 비교에서 통계학적으로 유의한 차이가 있지 않았다($p>0.05$). 롬버그 검사는 VUS군 내 평균 비교에서 통계학적으로 유의한 차이가 있었고($p<0.05$), VSS군 내 평균 비교 중 눈을 뜬 상태(eyes open)에서는 통계학적으로 유의한 차이가 있었으나($p<0.05$), 눈을 감은 상태(eyes close)에서는 통계학적으로 유의한 차이가 있지 않았다($p>0.05$). NUS군

Table 3. Intra and intergroup comparisons of muscle strength

		VUS	VSS	NUS	F	p		
Inversion	Lt.	Pre	4.94±2.41 ^α	5.13±2.66	5.11±3.03	5.92	0.01**	
		Post	7.63±3.58	5.86±2.53	5.37±3.00			
	Ratio	166.27±70.60 ^{y,z}	114.88±38.99 ^x	108.57±57.51 ^x				
	t	-4.13	-1.62	-0.40				
	p	0.00*	0.12	0.70				
	Rt.	Pre	5.09±2.97	6.23±3.98	4.88±3.00			
		Post	8.57±4.60	7.09±3.91	7.52±4.38			
	Ratio	203.22±141.47 ^{y,z}	119.58±50.15 ^x	121.84±50.94 ^x	4.61			0.02**
	t	-3.36	-1.08	-3.60				
	p	0.00*	0.30	0.00*				
Eversion	Lt.	Pre	5.12±3.06	6.85±4.17	5.77±4.70	5.38	0.01**	
		Post	7.900±3.59	7.18±2.90	5.16±2.30			
	Ratio	174.68±87.08 ^{y,z}	106.04±57.23 ^x	107.96±69.10 ^x				
	t	-4.06	-0.33	0.56				
	p	0.00*	0.74	0.58				
	Rt.	Pre	5.31±4.14	6.94±5.92	4.98±2.72			
		Post	7.55±4.36	6.21±3.19	5.36±2.52			
	Ratio	158.67±67.83 ^{y,z}	106.03±46.85 ^x	111.34±39.74 ^x	6.00			0.00**
	t	-4.07	0.77	-1.32				
	p	0.00*	0.45	0.20				
Plantar flexion	Lt.	Pre	22.57±10.72	25.31±14.02	20.26±14.07	4.54	0.02**	
		Post	31.12±11.66	32.68±14.55	25.42±12.33			
	Ratio	175.00±93.30 ^{y,z}	120.11±35.39 ^x	118.74±34.48 ^x				
	t	-2.91	-2.36	-2.34				
	p	0.01*	0.03*	0.03*				
	Rt.	Pre	22.86±13.67	5.13±2.66	21.22±12.02			
		Post	34.48±15.26	34.84±17.76	24.83±12.46			
	Ratio	191.17±97.37 ^{y,z}	129.64±45.63 ^x	124.16±47.24 ^x	5.57			0.01**
	t	-3.22	-7.92	-1.81				
	p	0.01*	0.00*	0.09				
Dorsi flexion	Lt.	Pre	13.51±4.01	15.94±9.51	11.19±5.38	5.66	0.01**	
		Post	15.68±5.66	15.94±6.75	12.28±4.11			
	Ratio	131.53±21.23 ^{y,z}	100.02±29.45 ^x	107.82±27.84 ^x				
	t	-2.12	0.00	-1.28				
	p	0.05*	1.00	0.21				
	Rt.	Pre	13.80±3.80	18.00±11.28	12.68±6.31			
		Post	17.30±7.83	16.14±7.07	13.39±4.56			
	Ratio	129.91±43.33 ^{y,z}	88.06±29.83 ^x	101.43±22.75 ^x	6.72			0.00**
	t	-2.22	1.13	-0.99				
	p	0.04*	0.27	0.33				

^α Mean±Standard deviation, *: paired t-test $p < 0.05$, **: ANOVA $p < 0.05$

Table 4. Intra and intergroup comparisons of dynamic or static balance (Y-balance test)

		VUS	VSS	NUS	F	<i>p</i>
Lt	Pre	125.30±17.00 ^α	139.32±25.06	126.72±19.63	5.44	0.01**
	Post	141.00±16.61	148.85±29.72	130.41±17.59		
	Ratio	113.62±13.26 ^{y, z}	103.90±8.25 ^x	103.90±8.68 ^x		
	t	-4.07	-2.62	-1.72		
	<i>p</i>	0.00*	0.02*	0.10		
Rt	Pre	126.85±16.02	142.16±26.58	130.67±17.77	12.58	0.00**
	Post	141.73±18.25	149.13±25.32	135.75±16.55		
	Ratio	115.88±12.24 ^{y, z}	102.09±9.84 ^x	100.85±7.81 ^x		
	t	-3.67	-1.70	-1.60		
	<i>p</i>	0.00*	0.11	0.13		

^αMean±Standard deviation, *: paired t-test $p<0.05$, **: ANOVA $p<0.05$

Table 5. Intra and intergroup comparisons of dynamic or static balance (Romberg test)

		VUS	VSS	NUS	F	<i>p</i>
Eye open	Pre	57.15±8.35 ^α	75.14±13.14	58.84±15.12	5.36	0.01**
	Post	35.96±5.86	45.84±10.36	79.90±17.32		
	Ratio	147.31±30.44 ^{y, z}	68.45±12.24 ^x	67.78±13.29 ^x		
	t	2.77	3.56	-0.86		
	<i>p</i>	0.02*	0.00*	0.40		
Eye close	Pre	116.31±28.37	101.49±33.45	120.49±36.67	7.70	0.00**
	Post	51.90±16.24	66.25±10.89	112.27±48.91		
	Ratio	162.40±30.18 ^{y, z}	84.89±13.89 ^x	64.61±9.15 ^x		
	t	2.40	1.04	0.14		
	<i>p</i>	0.02*	0.31	0.89		

^αMean±Standard deviation, *: paired t-test $p<0.05$, **: ANOVA $p<0.05$

에서는 통계학적으로 유의한 차이가 있지 않았다 ($p<0.05$). 또한, BioRescue를 이용한 안정성의 한계, 롬버그 검사의 비 값의 결과는 군 간 비교에서 VUS군과 VSS군, VSS군과 NUS군 사이에서 통계학적으로 유의한 차이가 있었으나($p<0.05$) VSS군과 NUS군은 통계학적으로 유의한 차이가 있지 않았다($p>0.05$)(Table 5).

IV. 고찰

뻘뻘로 인한 발목관절의 급성 손상은 현대인들에게서 빈번하게 발견될 수 있는 손상 중 하나이다 (Kaminski & Morrison, 2007). 특히 남녀노소를 가리지 않고 누구에게나 닥칠 수 있는 손상이라는 점에서 중요하다. 발목관절의 손상은 신체활동 중의 작은 부주의로 쉽게 상해가 발생할 수 있음에도 불구하고, 통증의 정도가 심하지 않으며 적절한 치료 없이도 일상생활을 영위하는 데에 큰 어려움이 없기 때문에 그대로

방치하는 등 손상을 가볍게 보는 경향이 있다. 이러한 손상 후 적절한 치료적 처치의 부재는 증상을 만성적 발목 불안정성으로 확대시킬 위험이 있다(Chan et al., 2011). 만성적 발목 불안정성은 반복적인 발목 손상을 야기함으로써 발목 주변의 연부조직과 근골격을 약화시키며, 이로 인해 신체 전체의 안정감을 감소시키고, 고유수용성 감각을 저하시키는 등 기능적 장애에 노출시킨다. 따라서 본 연구에서는 불안정 지지면을 적용한 균형운동 시 VR-HMD를 활용한 과제 지향적 접근을 통해, 동기를 유발시키고 운동 집중력을 향상시켜 기능적 발목 불안정성을 개선시키고자 하였다.

발목 손상의 경우 고유수용성 감각의 결손이 발목 불안정성의 원인이 된다(Han et al., 2006; Willems et al., 2002). 이에 따라 본 연구에서는 불안정한 지지면 위에서 VR-HMD를 이용한 운동을 통한 고유수용감각 향상이 기능적 발목 불안정성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 각도계를 사용하여 관절 내 위치 감각을 측정하였다.

세 군 모두 전후 비교에서 유의한 차이가 있었으며, VUS군에서 관절 내 위치감각의 오차범위가 가장 크게 줄어든 것으로 나타났다. 군간 비교에서는 VUS군과 NUS군 사이에서 유의한 차이가 있었다. 시각적 자극이 자제동요를 유발하여 인체의 발목 전략을 많이 사용하게 한다는 선행연구의 결과로 보아(Horak & Nashner, 1986), VUS군에서는 VR-HMD에 의한 과제 지향적 시각적 자극으로 인해 더 많은 관절 내 위치 감각의 자극을 받게 된 것으로 보인다. 또한, VUS군과 VSS군 사이에서도 유의한 차이가 있었는데, 이는 VSS군에서 시각적 자극에 의해 유발되는 움직임들은 안정 지지면의 적용으로 신체균형 유지보다는 단순한 시각적 자극에 대응하는 움직임으로써 관절 내 위치 감각에 미치는 영향이 적었던 것으로 생각된다. 따라서 단일한 시각적 자극이나 불안정 지지면에서의 운동보다 불안정 지지면과 함께 VR-HMD를 이용하여 운동을 진행하는 것이 고유수용감각의 향상에 도움이 될 것이라 생각된다.

근력은 발목 불안정성과 관련이 있으며, 가쪽 변집

근육의 근력이 충분히 강하지 못하면 가쪽 인대의 신장력이 증가하여 상해를 입게 된다(Kwon & Park, 2016). 본 연구에서는 등속성 장비를 이용하여 최대근력을 측정하였으며, 근력을 가장 잘 측정할 수 있는 각속도 60°에서 최대근력을 측정하였다(Kim, 2012).

VR-HMD를 이용한 가상현실 프로그램과 더불어 불안정 지지면 운동을 이용하여 균형훈련을 실시한 결과 VUS군에서 운동 전후에 오른발과 왼발의 발바닥 굽힘, 발등 굽힘, 안쪽 변집, 가쪽 변집 모두의 최대 근력이 유의한 증가를 보였다. VSS군은 운동 전 후에 오른발과 왼발의 발바닥 굽힘에서만 유의한 증가를 보였고, NUS군은 운동 전후에 오른발의 안쪽 변집과 왼발의 발바닥 굽힘에서만 유의한 증가를 보였다. 이것은 시각적 자극이 없는 불안정 지지면에서의 훈련과 근력 훈련을 병행한 선행연구에서는 가쪽 변집의 최대 근력이 유의한 증가가 나타나지 않았으나(Kim, 2012), 본 연구에서는 불안정 지지면에서 VR-HMD를 통한 과제 지향적 시각적 자극을 적용하였기 때문에 가쪽 변집이 유발되어 가쪽 변집의 최대근력이 향상된 것으로 생각된다. 이는 발목불안정성의 원인 중 하나인 종아리근의 약화(Bernier & Perrin, 1998)를 보완해 주어 발목의 안정성 향상에 기여한다고 볼 수 있다. 또한 모든 군의 전후 비교에서 발바닥 굽힘의 최대 근력이 유의하게 증가하였고, 군 간 비교에서 VUS군의 발바닥 굽힘의 최대 근력은 다른 두 군에 비해 유의한 차이가 있었다. 이는 불안정 지지면 위에서 균형훈련과 VR-HMD를 활용한 다양한 시각적 자극이 모든 방향에서 힘줄, 인대, 관절, 고유수용기를 활성화 시켜 발목의 최대 근력을 향상시키고, 최대 근력의 향상이 신체를 더 안정적으로 지탱하게 할 것으로 생각된다.

균형 능력은 많은 활동에 기초적인 역할을 하고 성공적인 운동 수행과 신체적 활동을 위해서는 꼭 필요한 요소(Hrysomallis, 2011)이므로 발목 불안정성을 가진 사람들에게 발목 균형은 필수요소이다. 본 연구의 중재로 균형의 증진이 있는지 알아보기 위해 정적 균형과 동적 균형을 측정하였다.

동적 균형에서의 전후 결과는 모든 군에서 유의한 차이가 있다. 이는 기능적 발목 불안정성을 가진 대상 군에서 가상현실을 운동프로그램에 적용한 경우 균형 능력이 향상되었다는 연구(Kim & Heo, 2015)와 불안정 지지면에서의 훈련이 발목관절에서의 움직임에 통해 균형능력을 향상시켰다는 연구(Han, 2006)와 연구 결과가 유사하다. 군 간 비교에서도 VUS군은 나머지 두 군과 유의한 차이가 있다. 이로 인해 VR-HMD를 통한 목표지향적인 시각적 자극과 불안정 지지면을 함께 적용한 경우 다른 여러 기능과 밀접하게 연관되어 균형 증진에도 영향을 준 것으로 판단된다.

정적 균형에서 전후 결과는 VUS군과 VSS군에서는 유의하였지만 NUS군에서는 유의하지 않았다. 이는 시각적 인지과제를 병행한 훈련이 균형 변화에 있어서 유의한 차이가 있다는 연구결과(Goughidis et al., 2011)처럼 시각적 자극이 없었던 NUS군만 유의하지 않았던 것으로 생각된다. 따라서 시각적 자극을 동반한 불안정 지지면에서의 운동이 동적 및 정적 균형 증진에 효과가 있다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 불안정 지지면 위에서 VR-HMD를 이용한 가상현실의 시각적 자극을 제공함으로써 운동을 진행했을 때 발목 불안정성의 주요 원인이 되는 고유수용감각, 근력, 균형능력이 모두 유의하게 증가하였다. 이는 발목 불안정성으로 인한 신체기능을 향상시켜 기능적 발목 불안정성을 완화 시킬 것으로 생각된다.

이 실험이 3주간의 짧은 기간이었고 실험대상자가 모두 20대 학생이라는 점과 개인의 일상생활 속의 운동을 완전히 차단하지 못했다는 제한점이 있다. 차후에 중재기간을 늘리고, 다양한 연령대를 대상으로 한 연구가 필요할 것으로 본다. 또한 VR-HMD의 부작용인 가상멀미의 원인으로 알려진 디스플레이 구현 속도가 개인 스마트 폰의 성능에 따라 다르게 나타나는 점은 고려하지 못하였다. 본 연구결과를 통해, 다양한 환자를 치료할 때 단순한 동작으로 유발하는 훈련을 적용하기보다, 기존 치료에 가상현실 등을 복합적으로 활용하여 흥미와 동기를 유발시키고 과제 지향적

접근을 활용한 치료 프로그램을 활용하는 것이 보다 나은 치료 결과를 가져올 수 있을 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구는 2017년 8월 28일부터 9월 29일까지 성남 소재 E 대학교에서 기능적 발목 불안정성을 가진 대상자를 선별하여 VR-HMD를 착용하고 불안정 지지면에서 운동하는 20명, VR-HMD를 착용하고 안정 지지면에서 운동하는 19명, VR-HMD를 착용하지 않고 불안정 지지면에서 운동하는 22명으로 나누고 중재 전·후로 고유수용감각, 근력, 균형능력을 측정하였다. 본 연구의 내용을 종합해 볼 때, 가상현실의 시각적 자극을 제공한 운동은 고유수용감각, 근력, 균형능력을 보다 향상시켜 기능적 발목 불안정성에 긍정적 효과를 가지는 것으로 생각된다. 따라서 기존 치료에 가상현실 등을 활용한 치료 프로그램은 보다 나은 결과를 가져올 수 있을 것으로 생각된다.

References

- Akbari A, Ghiasi F. Comparison of the effects of open and closed kinematic chain and different target position on the knee joint position sense. *Journal of Medical Sciences*. 2007;7(6):969-976.
- Bernier JN, Perrin DH. Effect of coordination training on proprioception of the functionally unstable ankle. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 1998;27(4):264-275.
- Braham RA, Hale SA, Hertel J, et al. Simplifying the star excursion balance test: analyses of subjects with and without chronic ankle instability. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2006;36(3): 131-137.
- Butler RJ, Gorman PP, Plisky PJ, et al. The reliability of

- an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test. *North American Journal of Sports Physical Therapy*. 2009;4(2):92-96.
- Chan KM, So CH, Yeung MS, et al. An epidemiological survey on ankle sprain. *British Journal of Sports Medicine*. 1994;28:112-116.
- Chan KW, Ding BC, Mroczek KJ. Acute and chronic lateral ankle instability in the athlete. *Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases*. 2011;69(1):17-26.
- Choi MJ, Han GH. The effect of 12 Weeks elastic band and weight bearing exercise program on functional ankle instability in soccer club players. *Journal of Sports Science*. 2014;26:103-124.
- Choi SM, Kim JH, Kwon SC, et al. A study on technical elements for vision therapy based on VR HMD. *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*. 2016;53(12):161-168.
- Colby LA, Kisner C. Therapeutic exercise: foundations and techniques, 6th ed. Philadelphia. F. A. Davis company. 2013.
- Dziri C, Moussa AZB, Zouita S, et al. Single-leg assessment of postural stability and knee functional outcome two years after anterior cruciate ligament reconstruction. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2009;52(6):475-484.
- Fardipour S, Hadadi M, Mousavi ME. Effect of soft and semirigid ankle orthoses on star excursion balance test performance in patients with functional ankle instability. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2014;17(4):430-433.
- Fong DTP, Hong Y, Chan LK, et al. A systematic review on ankle injury and ankle sprain in sports. *Sports Medicine*. 2007;37(1):73-94.
- Freeman MAR. Instability of the foot after injuries to the lateral ligament of the ankle. *The Bone and Joint Journal*. 1965;47(4):669-677.
- Friel K, McLean N, Myers C. Ipsilateral hip abductor weakness after inversion ankle sprain. *Journal of Athletic Training*. 2006;41(1):74-78.
- Gauffin H, Odenrick P, Tropp H. Effect of ankle disk training on postural control in patients with functional instability of the ankle joint. *International Journal of Sports Medicine*. 1998;9(2):141-144.
- Gioftsidou A, Malliou P, Vernadakis N, et al. Typical balance exercises or exercises or exergames for balance improvement. *Journal of back and Musculoskeletal Rehabilitation*. 2013;26(3):299-305.
- Gouglidis V, Hatzitaki V, Nikodelis T, et al. Changes in the limits of stability induced by weight-shifting training in elderly women. *Experimental Aging Research*. 2011;37(1):46-62.
- Han SW, Jung JH, Lee HJ, et al. A change of balance ability and EMG analysis of ankle joint around muscle by balance training at an unstable footboard during 4 wks. *Journal of KSSPT*. 2006;2(1):11-19.
- Herrington LC, Munro AG. Between-session reliability of the star excursion balance test. *Physical Therapy in Sport*. 2010;11(4):128-132.
- Hertel J. Functional instability following lateral ankle sprain. *Sports Medicine*. 2000;20(5):361-37.
- Hertel J. Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *Journal of Athletic Training*. 2002;37(4):364-375.
- Hertel J. Functional instability following lateral ankle sprain. *Sports Medicine*. 2000;29:361-371.
- Hiller CE, Kilbreath SL, Refshauge KM. Chronic ankle instability: evolution of the model. *Journal Athletic Training*. 2011;46(2):133-141.
- Horak FB, Nashner LM. Central programming of postural movements. Adaptation to altered support-surface configurations. *Journal of Neurophysiology*. 1986;55(6):1369-1381.
- Hrysomallis C. Balance ability and athletic performance. *Sports Medicine*. 2011;41(3):221-232.

- Hupperets MD, Mechelen W, Verhagen EA. Is an unsupervised proprioceptive balance board training programme, given in addition to usual care, effective in preventing ankle sprain recurrences? Design of a randomized controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2008;9:71.
- Jang YS, Beak JY, Jung GW, et al. Clinical effectiveness of body function on virtual reality clinical effectiveness of body function on virtual reality. *Journal of Special Education & Rehabilitation science* 2013;52(3):419-436.
- Jegal H, Jeon HJ, Kim GJ, et al. The comparison of balance using cumberland ankle instability tool to stable and instability ankle. *Korean Society of Physical Medicine*. 2013;8(3):361-368.
- Kaminski TW, Morrison KE. Foot characteristics in association with inversion ankle injury. *Journal of athletic training*. 2007;42(1):135-142.
- Kim KO. Nintendo Wii sports adoption process in older population based on diffusion of innovation. *Korean Journal of Physical Education*. 2005;54(4):93-109.
- Kim KJ. The effect of strength and proprioception combined training on functional ankle instability. Dongshin University. Dissertation of Master's Degree. 2012.
- Kim KJ, Heo M. Effects of virtual reality programs on balance in functional ankle instability. *Journal of Physical Therapy Science*. 2015;27(10):3097-3101.
- Kwon JY, Park JS. The effects of exercising program for functional improvement of performance and stability on ballet dancer with chronic ankle instability. *The 7th Asia Conference on Kinesiology*. 2016;2016(11):80-80.
- Lee CS. A study on the usability evaluation in using virtual reality. *Digital Design Studies*. 2007;7(1):313-325.
- Loughlin PJ, Redfern MS. Spectral characteristics of visually induced postural sway in healthy elderly and healthy young subjects. *IEEE transactions on rehabilitation engineering*. 2001;9(1):24-30.
- Ma JS. The effects of the changes of movement speed and visual feedback on the movement accuracy in rotary locomotion. Dong-A University. Dissertation of Master's Degree. 1996.
- McGregor SJ, Yaggie JA. Effects of isokinetic ankle fatigue on the maintenance of balance and postural limits. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2002;83(2):224-228.
- Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, et al. Star excursion balance test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2006;36(12):911-919.
- 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. *The American journal of sports medicine*. 2004;32(6):1385-1393.
- Verstuyft J, Willems T, Witvrouw E, et al. Proprioception and muscle strength in subjects with a history of ankle sprains and chronic instability *Journal of athletic training*. 2002;37(4):487-493.
- Yu GH, Kim HJ, Kim HS, et al. Virtual home training-virtual reality small scale rehabilitation system. *Korea Computer Graphics Society*. 2018;24(3):93-100.