

Original Article

Open Access

젊은 성인에서 몰입형 가상현실 균형 훈련에 따른 정적 균형 변화

서정표 · 여상석†

단국대학교 보건복지대학 물리치료학과

Changes in Young Adults' Static Balance Ability Following Immersive Virtual Reality Balance Training

Jeong-Pyo Seo, P.T., Ph.D. · Sang-Seok Yeo, P.T., Ph.D.†

Department of Physical Therapy, College of Health and Welfare, Dankook University

Received: May 14, 2020 / Revised: June 1, 2020 / Accepted: June 2, 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: The purpose of the study was to investigate the effects of HMD (head mounted display)-based virtual reality balance training on static balance in young adults, and whether appropriate balance training can help healthy adults to improve balance ability in daily living.

Methods: The study subjects were 14 healthy adults. Subjects received 20 minutes of HMD-based virtual reality balance training 3 times per week for 4 weeks. Static balance was measured before, during, and after training and after one month. Static balance was measured in a total of 8 conditions, and the results were classified as visual (F1), somatosensory (F5-6), vestibular (F2-4), and central nervous system (F7-8).

Results: The test results showed no significant difference in pre-training, post-training, and follow-up results under all conditions at Fourier index F1, F5-6, and F7-8 frequencies. For the F2-4 frequency, there was a significant difference before and after training under NC (neutral head position, eyes closed, firm surface) and PC (neutral head position, eyes closed, elastic surface) conditions. The NC condition returned a significant decrease of F2-4 frequency in post-training testing as compared to pre-training, and the PC condition showed a significant decrease of F2-4 frequency between the pre-training and mid-training tests, and between the pre-training and post-training tests.

Conclusion: These results indicate that HMD-based balance training can improve balance ability, even in normal adults, and seems especially effective for vestibular function training.

Key Words: Virtual reality, Head mounted display, Static balance, Vestibular system

†Corresponding Author : Sang-Seok Yeo (yeopt@dankook.ac.kr)

I. 서론

가상 현실은(virtual reality)은 특정 작업의 수행에 있어서 주변 환경과 상호 작용하며 가상 환경을 실제 공간으로 인식할 수 있도록 만들어주는 3차원적 정보 처리 방법을 의미한다(Liu et al., 2019; Moreno et al., 2019; Triegaardt et al., 2020). 기본적인 가상현실 프로그램은 영상 출력을 위한 모니터 혹은 다중 프로젝트 환경을 사용하여 사실적인 영상과 소리 등의 복합적 감각을 가상으로 생성하여 대상자에게 제공한다(Liu et al., 2019; Moreno et al., 2019; Triegaardt et al., 2020). 시뮬레이션 기반 가상 현실은 대상자에게 특정 과제에 대한 이해와 함께 움직임 혹은 물체의 조작 등에 대하여 예측하도록 하며 시뮬레이션 프로그램은 대상자에게 시각, 청각 혹은 움직임 감각 등을 제공하여 실제 환경과 같은 느낌을 받도록 할 수 있다. 가상 현실에서 사용되는 영상 장치의 종류에는 head mounted display (HMD), 다중 디스플레이 장치(multiple display device) 그리고 증강 현실(augmented reality) 기반 스마트 글래스(smart glass) 등이 대표적이다(Mubin et al., 2019; Saredakis et al., 2020). 초기 가상 현실 기반 뇌 손상 환자의 재활 프로그램에서는 대형 디스플레이 장치 혹은 프로젝터를 활용하여 영상 정보에 대한 몰입감을 만들고자 하였다. 최근에는 HMD 장비를 활용한 가상현실 프로그램이 다양하게 개발되고 있으며 뇌 손상 환자뿐만 아니라 다양한 질병의 환자들에게 임상적 치료의 목적으로 사용되고 있다.

HMD는 헬멧 형태의 장치를 머리에 착용하는 장치이며 전면에 단일(monocular HMD) 혹은 두 쌍(binocular HMD)의 광학 영상 장치가 사용된다(Munsamy et al., 2020; Saredakis et al., 2020). 일반적으로 HMD 장비에는 관성 측정장비(inertial measurement unit)가 결합되어 있으며 이를 통해 머리의 움직임을 동시에 측정할 수 있다(Lee et al., 2018). VR 전용 컨트롤러와 베이스 스테이션은 대상자의 움직임을 측정하며 가상 현실에서의 공간 영역을 설정하는데 사용된다. HMD 시스템을 활용한 가상 재활 훈련의 장점

은 대상자에게 넓은 시야각을 제공하고 움직임에 대한 추적 및 시각화를 통해 높은 몰입감을 만들어 특정 작업 수행에 대한 집중력을 높일 수 있다는 것이다(Lee et al., 2018; Munsamy et al., 2020; Saredakis et al., 2020).

최근 뇌졸중 환자를 대상으로 한 연구에서 HMD 기반 상지의 가상 재활훈련을 적용한 결과 대상자의 기능적 회복과 더불어 치료에 대한 참여도와 회복에 대한 동기부여가 증가되는 결과를 보였다(Guilcher et al., 2019). 다른 연구에서는 HMD 기반 증강현실 프로그램을 사용하여 대상자의 균형 능력을 평가할 수 있는 방법을 보고하였다. 균형 평가 과제 수행 시 HMD에 부착된 IMU 센서를 사용하여 머리의 움직임을 측정하였고, 동시에 체중의 압력중심점(center of pressure)을 추적하여 두 결과의 유의한 상관관계를 제시하였다(Lee et al., 2019). 척수 손상 환자를 대상으로 HMD와 일반 모니터를 사용한 운전 가상 훈련 효과 비교 연구에 따르면 두 조건 모두 운전 능력 향상에 유의한 도움이 되는 것으로 보고 하였다(Carlozzi et al., 2013). 운전 환경에서 주의 집중과 관련된 부분에서는 HMD 조건이 조금 더 유리한 것으로 나타났다(Carlozzi et al., 2013). HMD 기반 가상 재활 훈련은 고유수용성 감각을 통한 내적 되먹임(intrinsic feedback) 뿐만 아니라 시각 정보를 통한 움직임 정보의 증강 되먹임(augmented feedback)이 가능하다. 이러한 즉각적이고 직관적인 되먹임 정보는 균형 기능에 환자들의 머리와 자세 조절 능력 향상에 도움이 되는 것으로 알려져 있다. 반면, 또다른 연구에서는 정상 성인을 대상으로 HMD와 일반 모니터 기반 길 찾기 가상 훈련을 실시한 결과 모니터를 사용한 가상 훈련이 길을 찾는데 더욱 직관적이고 자연스러웠다는 결과를 보고하였다(Santos et al., 2008). 이렇듯 HMD 기반 가상 재활 훈련의 효과는 다양하게 보고되고 있으며, 이전의 HMD 기반 가상 재활 프로그램의 연구는 상지 기능 회복에 대한 연구가 주로 이루어졌으며 균형 훈련의 효과 혹은 하지 기능 회복에 대한 연구는 상대적으로 많이 보고되지 않았다.

본 연구의 목적은 HMD기반 가상현실 균형 훈련이 젊은 성인의 정적 균형에 미치는 영향을 확인하고, 건강한 성인에서도 적합한 균형 훈련의 적용이 일상 생활에서의 균형 능력 향상에 도움이 될 수 있다는 재할 방법론을 제고하는 것이다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

연구 대상자는 건강한 20대 성인 남녀 14명으로 구성되었다. 모든 대상자는 연구의 목적에 대한 상세한 설명을 들은 뒤, 연구에 참여하고자 하는 사람에 한하여 참가 동의서에 서명을 한 후에 진행하였다. 또한 모든 대상자는 기존의 균형 능력과 관련 없이 무작위로 선정되었으며, 다음의 조건을 충족하였다.

- 1) 가상현실 프로그램으로 인한 시각 차단 상태에서 양 발을 지면에 대고 균형을 유지할 수 있는 자
- 2) 발목 뻘이나 부상으로 인하여 발목 관절에 불안정성이 없는 자
- 3) 정형 외과적 질환 및 수술 병력이 없는 자
- 4) 무릎을 약간 굽힌 상태에서 체중을 지탱하는데 어려움이 없는 자
- 5) 중재 동안 통증의 증가가 없고 일상생활에 불편함이 없는 자
- 6) 현재 다른 훈련 또는 운동 프로그램에 참여하고 있지 않은 자

2. 연구 설계

본 연구의 가상현실 프로그램은 Fancy skiing VR on Steam (Hash Technology Co., Ltd, Beijing, China)을 이용하였고, 컴퓨터와 실험자가 인터페이스 할 수 있도록 실험자의 측면에 캠을 설치하였다.

Fancy skiing 프로그램은 엉덩관절과 무릎관절을 약

간 굽힌 상태에서 HMD system (HTC Corporation, Xindian City, Taipei)와 스키 폴대 역할을 하는 Tracked Motion Controllers를 이용하여 실제 스키를 타는 환경을 조성하도록 하였다. 실험자에게 예상치 못하는 상황과 그 상황에 맞는 생생한 소리가 나타나면 머리와 체간의 움직임을 통해 장애물을 피함으로써 균형 조절을 하게 하였다. 방향의 전환은 HMD에 부착된 관성 센서를 통해 이루어 졌으며, 머리를 왼쪽으로 기울이면 스키의 방향이 왼쪽으로 향하고, 오른쪽으로 기울이면 오른쪽으로 향하도록 하였다. 하지만 어지럼증을 최소화하기 위해서 머리 움직임에 따른 시각 추적 효과는 적용하였고 화면의 기울임 효과는 삭제하였다. 스키의 속도는 Tracked Motion Controllers을 통해 이루어졌고 스키를 타는 듯한 동작을 빠르게 하면 속도가 빨라지고, 느리게 하면 속도가 느려 지도록 하였다. 또한 체성감각의 교란을 유도하기 위하여 두 발을 지면이 아닌 필로우 위에 위치하도록 하였다.

점점 난이도가 높아지면서 점수를 획득하는 목표 달성위주의 게임을 통해 동기부여가 잘 되도록 도왔다. 실험자의 어지럼증과 신체의 피로감을 최소화하기 위해 10분 중재 후 5분의 휴식 시간을 가지고 다시 10분 중재를 하였다.

3. 측정 방법

본 연구에서는 정적 균형을 평가하기 위해 Tetrax (Sunlight Medical Ltd., Israel)TM를 사용하였다. Tetrax Biofeedback Program (이하 Tetrax)은 4개의 점(2 heel, 2 toe)에 실리는 체중의 변화로 체중 분포와 자세적 흔들림을 평가하기 때문에 전·후·좌·우의 움직임 뿐만 아니라 대각선 방향의 움직임까지도 동시에 평가가 가능하다(Yoon, 2015).

1) 체중분포 측정

A%, B%, C%, D%의 독립적인 4개의 지면 반력판에서 정적인 서있는 자세 측정 시 중심점(0)에서 얼마나

신체중심이 떨어져 있는지 거리를 알아보기 위해 기준을 25%로 정하였다(Jang, 2012).

2) 측정 방법

Tetrax™의 지침서에 따라 피험자는 신발을 벗고지면 반력판에 올라선 후 다음과 같은 8가지 항목을 순서대로 측정하였다(Jang, 2012).

NO: 플랫폼 위에서 눈을 뜨고 정면을 바라본 상태

NC: 플랫폼 위에서 눈을 감고 정면을 바라본 상태

PO: 필로우가 놓여진 플랫폼 위에서 눈을 뜨고 정면을 바라본 상태

PC: 필로우가 놓여진 플랫폼 위에서 눈을 감고 정면을 바라본 상태

HR: 플랫폼 위에서 눈을 감고 45° 오른쪽을 바라본 상태

HL: 플랫폼 위에서 눈을 감고 45° 왼쪽을 바라본 상태

HB: 플랫폼 위에서 눈을 감고 머리를 30° 뒤로 젖힌 상태

HF: 플랫폼 위에서 눈을 감고 머리를 30° 앞으로 숙인 상태

NO와 PC 조건의 차이는 시각 정보의 유무로 구분하며 두 조건의 비교를 통해 시각 차단 영향 평가하였다. PO와 PC 조건은 체성 감각 교란 상태에서 시각 차단 영향을 평가하였다. HR, HL, HB 그리고 HF 조건은 시각 차단 상태에서 머리 위치 변화(전정 감각)의 영향을 평가하였다. 푸리에 지수(Fourier index, FI)는 각 자세에 대한 균형 시험 동안 측정되었다. 푸리에 지수는 상승 주파수 대역의 규모에서 자세 흔들림에 대한 분석 방법으로 4 개의 주파수 대역으로 분류된다(Lee et al., 2010; Nichols et al., 1995; Wade & Jones, 1997). 푸리에 변환(Fourier transformation)은 모든 유형의 파동 신호를 수학적으로 처리하는 과정이다. 표준 파동 신호의 크기는 주파수와 강도이며, y축에는 강도가 표시되고, 단위의 시간은 x 축에는 표시된다. 자세 동요는 저주파수이며 자세 동요 스펙

트럼은 0.01~3Hz 범위이다. F1(0.01~0.1Hz의 낮은 주파수)은 시각적 조절과 연관되며, 전형적으로 정상적이고 흔들리지 않는 자세에서 우세하다. F2-F4(0.1~0.5Hz의 낮은-중간 주파수)는 전정감각에 장애 상태에 따라 나타난다. F5-F6(0.5~1.0Hz의 중간-높은 주파수)은 하지의 체성감각 기능과 관련하여 나타난다. F7-F8(1.0Hz 또는 그 이상의 높은 주파수)은 중추신경계의 기능 장애에 의해 유발된다(Lee et al., 2010; Nichols et al., 1995; Wade & Jones, 1997).

4. 자료 분석

연구의 실험결과 처리는 IBM SPSS Version 21.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계 package를 사용하였다. 각 연구 대상자들의 가상현실 프로그램 훈련 전, 중, 후 그리고 추적 균형 능력의 비교 분석을 위해 비모수 일원 반복측정 분산분석(non-parametric one-way repeated measure analysis of variance)를 이용하였으며 사후 검증을 위해 Friedman test를 사용하였다. 통계학적 유의 수준 α 는 0.05로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

본 연구 대상자의 일반적인 특성은 다음과 같다. 총 14명(남자: 3명, 여자: 11명)을 대상으로 하여 실험 전, 중, 후 그리고 한달 뒤의 정적 균형 능력을 측정하였다. 대상자의 평균연령은 23.50±0.94세, 평균 체중은 57.64±8.88kg, 평균 신장은 165.00±7.39cm이었다.

2. 연구 결과

검사 결과 푸리에 지수 F1, F5-6, F7-8 주파수에서는 모든 조건에서 훈련 전, 훈련 후, 추적 결과에 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$)(Table 1, 2)(Fig. 1). 반면,

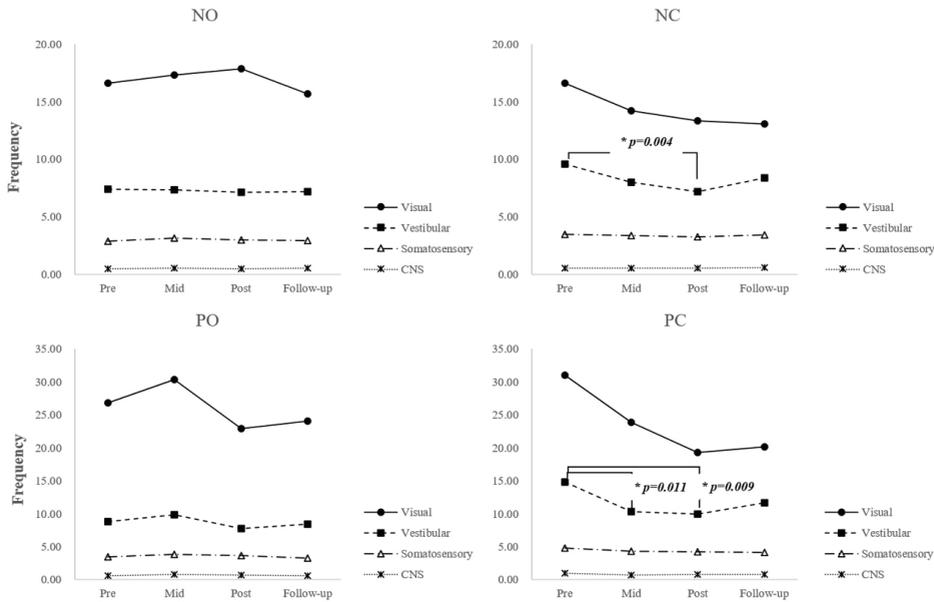


Fig. 1. Changes of Fourier index for four condition in NO, NC, PO and PC between pre training, mid training, post training and follow up test.

Table 1. Changes of Fourier index for F1 and F2-4 between pre training, mid training, post training and follow up according to the virtual reality balance training

Condition	Visual (F1)				x2	p	Vestibular (F2-F4)				x2	p
	Pre	Mid	Post	Follow-up			Pre	Mid	Post	Follow-up		
NO	16.60 (10.52)	17.32 (8.27)	17.87 (7.52)	15.71 (4.38)	1.63	0.65	7.37 (2.97)	7.34 (2.08)	7.10 (1.22)	7.18 (1.43)	0.51	0.92
NC	16.63 (9.84)	14.21 (7.91)	13.35 (4.55)	13.09 (7.32)	2.31	0.51	9.57 (3.47)	7.98 (2.65)	7.19 (1.45)	8.40 (2.29)	7.97	0.05*
PO	26.83 (12.50)	30.39 (19.79)	22.92 (8.56)	24.04 (11.71)	1.71	0.63	8.80 (3.42)	9.89 (3.11)	7.77 (1.46)	8.38 (1.90)	3.99	0.26
PC	31.00 (21.48)	23.89 (14.18)	19.33 (6.48)	20.19 (6.86)	3.17	0.37	14.77 (6.66)	10.31 (2.63)	9.92 (1.69)	11.70 (3.44)	8.31	0.04*
HR	12.80 (3.87)	12.22 (6.74)	13.98 (5.91)	12.73 (5.83)	1.11	0.77	7.44 (1.90)	8.15 (2.27)	7.88 (1.43)	8.07 (2.51)	1.29	0.73
HL	13.08 (6.49)	16.48 (7.84)	15.77 (5.04)	13.65 (6.67)	3.17	0.37	8.12 (3.11)	8.07 (2.31)	7.67 (1.86)	8.26 (2.72)	0.60	0.90
HB	17.26 (13.86)	16.73 (10.97)	13.06 (5.67)	17.79 (10.15)	0.60	0.90	9.55 (2.99)	8.93 (2.43)	8.14 (1.89)	8.66 (2.12)	1.29	0.73
HF	14.67 (6.23)	20.42 (9.88)	16.05 (11.47)	13.17 (7.79)	6.60	0.090	8.32 (2.30)	8.97 (2.04)	8.03 (2.46)	8.44 (1.92)	5.40	0.15

NO: eye open, NC: eye closed, PO: foam-rubber pillow with eye open, PC: foam-rubber pillow with eye closed, HR: head turned right and eyes closed, HL: head turned left and eyes closed, HB: head raised backward and eyes closed, HF: head bended forward and eyes closed

*p < 0.05

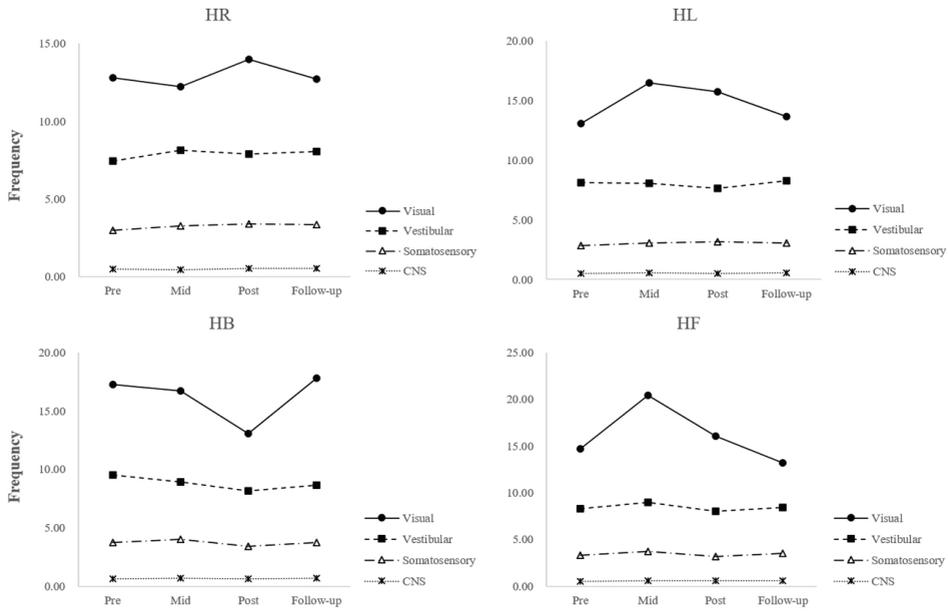


Fig. 2. Changes of Fourier index for four condition in HR, HL, HB and HF between pre training, mid training, post training and follow up test.

Table 2. Changes of Fourier index for F5-6 and F7-8 between pre training, mid training, post training and follow up according to the virtual reality balance training

Condition	Somatosensory (F5-F6)				x2	p	CNS (F7-F8)				x2	p
	Pre	Mid	Post	Follow-up			Pre	Mid	Post	Follow-up		
NO	2.87 (1.09)	3.12 (0.96)	2.99 (0.80)	2.92 (1.09)	1.11	0.77	0.49 (0.21)	0.55 (0.20)	0.50 (0.16)	0.51 (0.20)	2.61	0.46
NC	3.46 (0.93)	3.35 (1.36)	3.24 (0.92)	3.43 (1.24)	1.11	0.77	0.53 (0.13)	0.54 (0.26)	0.54 (0.13)	0.59 (0.24)	1.97	0.58
PO	3.44 (1.04)	3.80 (0.95)	3.67 (1.23)	3.22 (0.84)	3.86	0.28	0.57 (0.13)	0.77 (0.29)	0.66 (0.25)	0.60 (0.18)	3.02	0.39
PC	4.83 (1.60)	4.34 (1.46)	4.18 (1.15)	4.12 (1.23)	1.29	0.73	0.95 (0.45)	0.73 (0.27)	0.75 (0.24)	0.74 (0.27)	5.54	0.14
HR	2.99 (1.05)	3.29 (1.07)	3.42 (1.01)	3.36 (1.01)	2.31	0.51	0.49 (0.21)	0.48 (0.17)	0.54 (0.15)	0.53 (0.16)	5.09	0.17
HL	2.84 (0.77)	3.08 (0.72)	3.16 (0.78)	3.06 (1.31)	4.04	0.26	0.52 (0.20)	0.54 (0.19)	0.53 (0.16)	0.55 (0.26)	0.86	0.84
HB	3.75 (1.16)	4.00 (1.61)	3.40 (1.36)	3.76 (1.10)	1.63	0.65	0.65 (0.23)	0.70 (0.36)	0.62 (0.22)	0.71 (0.26)	1.27	0.74
HF	3.34 (0.62)	3.73 (1.03)	3.21 (1.06)	3.54 (1.16)	1.63	0.65	0.56 (0.14)	0.61 (0.17)	0.59 (0.17)	0.59 (0.18)	4.02	0.26

NO: eye open, NC: eye closed, PO: foam-rubber pillow with eye open, PC: foam-rubber pillow with eye closed, HR: head turned right and eyes closed, HL: head turned left and eyes closed, HB: head raised backward and eyes closed, HF: head bended forward and eyes closed

*p < 0.05

F24 주파수에서는 NC 조건과 PC 조건에서 실험 전과 후 유의한 차이를 보였다. 사후 검증 결과 NC 조건에서 훈련 전과 훈련 후의 비교 조건에서 유의한 감소 양상을 보였으며($p < 0.05$), 훈련 전과 중간, 훈련 전과 추적 결과 비교에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. PC 조건에서는 훈련 전과 훈련 중, 훈련 전과 훈련 후 조건 비교에서 유의한 감소 양상을 보였고($p < 0.05$), 훈련 전과 추적 결과 비교에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$)(Table 2)(Fig. 2).

IV. 고찰

본 연구는 건강한 성인에서 HMD 기반 가상현실 균형 훈련에 따른 균형 능력의 변화를 알아보려 하였다. 실험 대상자에 대한 균형 평가 결과, 전정 감각과 관련된 조건에서 균형을 유지하기 위한 신체 동요 정도가 훈련 전과 비교하여 훈련 후 유의한 감소를 보였다. 주요한 실험 결과는 NC 조건에서 훈련 전과 훈련 후에 전정감각 푸리에 지수의 유의한 감소 양상을 보였고, PC 조건에서 훈련 전과 훈련 중 그리고 훈련전과 훈련 후에 사이에 전정감각 푸리에 지수의 유의한 감소 양상을 보였다. 실험결과를 종합하여 볼 때 HMD 기반 가상현실 균형 훈련 후 눈을 감고 안정 지면과 불안정 지면에서 정적인 자세로 서있을 때 전정감각과 관련된 주파수 대역에서 신체 중심의 흔들림이 감소된 것으로 나타났다.

인체의 균형은 시각, 전정감각, 고유수용감각을 중추 신경계에서 통합하여 조절함으로써 유지된다(Chandler et al., 1990; Horak et al., 2009; Nichols et al., 1995; Wade & Jones, 1997). 이중 전정감각은 공간 내에서 중력과 관련된 수직 정보를 측정하고 이를 통해 신체의 수직 자세와 균형 조절에 사용된다(Lee et al., 2010). 뇌로 전달된 전정 감각은 시각 집중에도 사용되어 물체의 추적과 안구의 움직임 조절에도 관여하는 것으로 알려져 있다(Frank et al., 2016; Wibble et al., 2020). 본 연구에서 사용된 가상현실 균형 훈련은

대상자에게 HMD를 통해 가상의 시각 정보를 제공하였고, 불안정 지지면을 통해 체성감각의 수용에도 어려움이 발생하도록 하였다. 따라서 가상현실 균형 훈련 동안 대상자들은 외부 환경 변수에서 유일하게 전정감각만을 통해 정확한 정보를 제공받았으며 이에 대한 의존도가 높았을 것으로 생각된다.

일반적으로 정적 균형의 조절에서 있어 세 감각의 우선 순위는 체성감각이 가장 높은 것으로 알려져 있으며, 두번째로 전정 감각이 주요하게 사용된다고 알려져 있다. 이는 체성감각 중 고유수용감각, 촉각 정보의 신경전달 속도와 관련된다(Horak et al., 1988; Jeka, 1997). Jeka (1997)의 연구에서 체중 지지면이 극도로 감소된 선 자세에서 지지대에 대한 가벼운 접촉 만으로도 최대한 접촉 조건과 비교하여 비슷한 수준으로 몸통의 흔들림을 감소시킬 수 있다고 보고하였다(Jeka, 1997). Horak 등(1988)의 연구에서는 6가지의 감각 조건을 통해 각 감각의 제한 상황에서 정적 자세의 유지기능 변화를 연구하였다. 연구 결과 체성감각의 교란 상태에서 시각정보의 차단 혹은 교란이 발생할 경우 몸통의 흔들림이 가장 크게 증가되는 것으로 나타났다(Horak et al., 1988). 결과적으로 건강한 성인의 정적 균형의 유지에서 체성감각의 의존도가 매우 높은 것으로 판단된다. 하지만 본 연구 결과 HMD 기반 가상현실 훈련에서는 체성감각의 의존도 보다는 전정감각에 대한 의존도가 더욱 높게 작용한 것으로 생각되며, 이러한 효과로 인해 전정기능 관련된 F2-F4 주파수 대역의 감소가 나타난 것으로 사료된다.

이전 연구 들에서 HMD 기반 훈련 프로그램이 전정 기능 및 균형 능력의 개선 효과가 있다고 보고하였다. You 등(2010) 뇌졸중 환자에서 HMD 기반 체감형 게임 운동군이 기존 모니터를 활용한 대조군 보다 균형 능력 증진에 더욱 효과적이었다고 보고하였다 (You et al., 2011). Micarelli 등(2019)은 단측 전정기능 저하증만을 가진 11명의 환자와 경도 인지장애를 동반한 12명의 환자를 대상으로 HMD기반 시각훈련이 균형 능력 및 어지럼증의 개선 효과를 연구하였다(Micarelli et al., 2019). 연구 결과 두 환자군 모두 자세 조절 능력

과 어지럼증이 개선된 것으로 나타났으나, 전정안구 반사(vestibulo-ocular reflex)의 개선에는 효과가 없는 것으로 보고되었다. Aharoni 등(2019)은 지속적 체위 지각 어지럼증(persistent postural perceptual dizziness)를 환자들을 대상으로 HMD를 사용하여 가상현실 기반 four-square step test (FSST-VR)를 사용에 따른 균형 능력 및 공포감, 어지럼증 등을 평가하였다. 실험 결과 PPPD가 있는 환자들은 FSST VR을 사용한 평가 이후 공포감이나 가상현실에 의한 어지럼증 등이 대조군과 비교하여 뚜렷하게 증가하지 않았다. 반면, FSST VR 평가 PPPD 환자들은 대조군 비해서 질량 중심점(center of mass)의 이동이 적었고 부드럽지 못하였다(Aharoni et al., 2019). 이전의 연구결과들을 종합하여 볼 때 몰입형 가상현실 훈련이 가능한 HMD 기반 재활 프로그램이 기존의 가상현실 프로그램 보다 더욱 효과적이었던 것으로 사료된다.

V. 결론

결론적으로 젊은 성인을 대상으로 HMD 기반 균형 훈련을 적용한 결과 전정 기능과 관련된 F2-4 주파수 조건이 NC, PC 조건에서 유의하게 감소하였다. 이러한 결과로 보았을 때 HMD 기반 균형 훈련이 정상 성인에서도 균형 능력의 향상을 이끌어낼 수 있는 것으로 생각되며, 특히 전정 기능의 훈련에 효과적일 것이라 사료된다. 또한 낙상 예방 및 균형 능력의 치료적 중재를 위한 운동 프로그램의 다양성에 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 적은 수의 젊은 20대 성인을 대상으로 연구를 진행하였기 때문에 연구 결과를 균형기능이 떨어지는 다양한 연령대의 환자에게 일반화하는데 한계가 있다. 둘째, 대조군이 없어 균형능력의 향상 정도를 정량적으로 비교하는 데 어려움이 있었다. 셋째, 가상현실 훈련 후 다양한 평가 방법을 적용하지 못하여 정확한 균형 능력 측정에 한계가 있었을 것으로 생각된다. 따라서, 향후 연구에서는 건강한 성인 뿐만 아니

라 뇌손상이나 전정 기능 손상 환자를 대상으로 하여 HMD기반 가상 현실 훈련이 균형 능력 개선에 미치는 연구가 필요할 것이다. 또한, 다양한 평가 방법을 통하여 정적 균형과 나아가 동적 균형 능력에 대한 측정도 진행되어야 할 것이다.

References

- Aharoni MMH, Lubetzky AV, Wang Z, et al. A virtual reality four-square step test for quantifying dynamic balance performance in people with persistent postural perceptual dizziness. *2019 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)*. 2019;1(1):1-6.
- Carlozzi N, Gade V, Rizzo SK, et al. Using virtual reality driving simulators in persons with spinal cord injury: three screen display versus head mounted display. *Disability and Rehabilitation Assistive Technology*. 2013;8(2):176-180.
- Chandler JM, Duncan PW, Studenski SA. Balance performance on the postural stress test: comparison of young adults, healthy elderly, and fallers. *Physical therapy*. 1990;70(7):410-415.
- Frank SM, Sun L, Forster L, et al. Cross-modal attention effects in the vestibular cortex during attentive tracking of moving objects. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*. 2016;36(50):12720-12728.
- Guilcher S, Everall A, Wodchis W, et al. Understanding transitions of care in older adults with hip fractures: a qualitative multiple-case study in Ontario. *International Journal of Integrated Care*. 2019;19(4):1-8.
- Horak F, Shumway-Cook A, Black FO. Are vestibular deficits responsible for developmental disorders in children? *Insights Otolaryngology*. 1988;3(2):2-6.
- Horak FB, Wisley DM, Frank J. The balance evaluation systems test (BESTest) to differentiate balance deficits.

- Physical therapy*. 2009;89(5):484-498.
- Jang YB. Effects of core exercise program on body composition, physical fitness, balance ability and cognitive function of elderly women. Hanshin University. Dissertation of Master's Degree. 2012.
- Jeka JJ. Light touch contact as a balance aid. *Physical therapy*. 1997;77(5):476-487.
- Lee EY, Tran VT, Kim DH. A novel head mounted display based methodology for balance evaluation and rehabilitation. *Sustainability*. 2019;11(22):1-16.
- Lee HJ, Song CH, Lee KJ, et al. The effects of complex exercise training for lower legs muscle strength, muscle endurance, balance ability and gait ability in the elderly. *Journal of Sport and Leisure Studies*. 2010;41(2):935-947.
- Liu Y, Tan W, Chen C, et al. A review of the application of virtual reality technology in the diagnosis and treatment of cognitive impairment. *Frontiers in aging neuroscience*. 2019;11(1):1-5.
- Lee J, Ahn SC, Hwang JI. A walking-in-place method for virtual reality using position and orientation tracking. *Sensors*. 2018;18(9):1-19.
- Micarelli A, Viziano A, Micarelli B, et al. Vestibular rehabilitation in older adults with and without mild cognitive impairment: effects of virtual reality using a head-mounted display. *Archives of gerontology and geriatrics*. 2019;83(1):246-256.
- Moreno A, Wall KJ, Thangavelu K, et al. A systematic review of the use of virtual reality and its effects on cognition in individuals with neurocognitive disorders. *Alzheimers Dement (NY)*. 2019;5(1):834-850.
- Mubin O, Alnajjar F, Jishtu N, et al. Exoskeletons with virtual reality, augmented reality, and gamification for stroke patients' rehabilitation: systematic review. *JMIR rehabilitation and assistive technologies*. 2019;6(2):1-11.
- Munsamy AJ, Paruk H, Gopichunder B, et al. The effect of gaming on accommodative and vergence facilities after exposure to virtual reality head-mounted display. *Journal of optometry*. 2020;13(3):163-170.
- Nichols DS, Glenn TM, Hutchinson KJ. Changes in the mean center of balance during balance testing in young adults. *Physical therapy*. 1995;75(8):699-706.
- Santos B, Dias P, Pimentel A, et al. Head-mounted display versus desktop for 3d navigation in virtual reality: a user study. *Multimedia Tools and Applications*. 2008;41(1):161-181.
- Saredakis D, Szpak A, Birkhead B, et al. Factors associated with virtual reality sickness in head-mounted displays: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in human neuroscience*. 2020;14(1):1-17.
- Triegaardt J, Han TS, Sada C, et al. The role of virtual reality on outcomes in rehabilitation of Parkinson's disease: meta-analysis and systematic review in 1031 participants. *Neurological sciences: official journal of the Italian Neurological Society and of the Italian Society of Clinical Neurophysiology*. 2020;41(3):529-536.
- Wade MG, Jones G. The role of vision and spatial orientation in the maintenance of posture. *Physical therapy*. 1997;77(6):619-628.
- Wibble T, Engstrom J, Pansell T. Visual and vestibular integration express summative eye movement responses and reveal higher visual acceleration sensitivity than previously described. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2020;61(5):1-9.
- Yoon SC. The effect of visual feedback training and trunk stabilization exercise on balance ability and spasticity for stroke patients. Namseoul University. Dissertation of Master's Degree. 2015.
- You YY, Lee BH, Kim SH, et al. The effect of stroke patients balance and visual perception for interactive games of using visual concentration. *Journal of Rehabilitation Research*. 2011;15(1):1-17.