

가상현실훈련과 위팔 기능적 전기자극이 만성 뇌졸중 환자의 위팔 근력, 능동관절운동과 기능에 미치는 효과

김동훈 · 김경훈[‡]

[‡]김천대학교 물리치료학과 교수

The Effects of Virtual Reality Training with Upper Limb Functional Electrical Stimulation to Improve on Muscle Strength, AROM, and Function of Upper Limb Joints in Patient with Chronic Stroke

Kim Donghoon, PT, MSc · Kim Kyunghun, PT, PhD[‡]

[‡]*Dept. of Physical Therapy, Gimcheon University, Professor*

Abstract

Purpose : The purpose of the present study is to examine the effects of VR training with FES on improving the muscle strength, AROM, and function of the upper limb joints in patients with chronic stroke.

Methods : The present study makes use of a pre-post control group design. Thirty patients with chronic stroke were randomly assigned to two groups according to treatment method – the VRFES group and the control group. The VRFES group received 15 minutes of VR training and 15 minutes of FES treatment. The control group received 15 minutes of conservative physical therapy and 15 minutes of VR training. All subjects received 30 minutes of treatment, three times a week, for eight weeks, which amounted to 24 sessions of training. The muscle strength, AROM, and function of the upper extremities were measured before the training and eight weeks after. Upper limb muscle strength was tested using the Digital Manual Muscle Tester while AROM was measured using the Digital Dual Inclinometer. The clinical assessment tools for upper extremity function included the use of the Manual Function Test and the Jebsen-Taylor Hand Function Test.

Results : Both groups exhibited great improvements in muscle strength and upper extremity function during the intervention period. The VRFES group exhibited a significant difference in muscle strength, AROM, and function of the upper extremities in comparison with the control group($p < .05$). Our results reveal that VRFES is more effective for the muscle strength, AROM, and function of the upper extremities in patients with chronic stroke.

Conclusion : VRFES treatment will be used as an important intervention for improving the muscle strength, AROM, and function of the upper extremities in patients with chronic stroke and achieving the functional recovery of the upper extremities.

Key Words : FES, stroke, upper extremity function, virtual reality

[‡]교신저자: 김경훈, huni040@naver.com

논문접수일 : 2020년 3월 20일 | 수정일 : 2020년 4월 6일 | 게재승인일 : 2020년 4월 17일

※ This paper was supported by the fund of Gimcheon University in 2018.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

뇌졸중은 뇌 영역의 혈류가 차단되어 발생하며, 이때 뇌세포는 산소 공급이 중단되어 죽기 시작하며, 이로 인한 세포의 죽음은 기억과 근육 조절같이 뇌 영역에서 통제되는 능력을 상실하게 만든다(American Stroke Association, 2020).

미국의 경우 뇌졸중 사망은 사망원인의 5번째이며, 매년 800,000명 정도가 보고되고 있으며(Benjamin 등, 2017), 뇌졸중 환자 중 약 70 %는 상지기능 손상으로 인해 독립적인 일상생활활동의 제한과 삶의 질 또한 저하를 경험한다(Meadmore 등, 2014). 편마비 환자의 위팔 기능의 저하는 일상생활활동에 독립적인 참여를 방해하는 주요 요인으로 나타나고 있다(Joo 등, 2014).

위팔 움직임은 먹기, 씻기, 쓰기, 옷입기 등과 같은 다양한 과제 수행을 위해 소단위 운동기술(fine motor skill)와 기기, 걷기, 균형유지하기 등의 대단위 운동기술(Gross motor skill)을 분류하며 상지의 움직임에서 중요한 역할을 말한다(Shumway-Cook & Woollacott, 2007). 현재 뇌졸중 환자의 편마비 위팔 움직임 조절과 기능을 회복하기 위해 다양한 방법이 제시되고 있는데, 치료법으로는 감각자극을 이용한 훈련(Kiper 등, 2015), 기능적 전기자극을 이용한 훈련(Ring과 Rosenthal, 2005), 가상현실 훈련(Kim 등, 2019), 동작관찰(action observation), 상상훈련(imagery training)(Braun 등, 2006; Saito 등, 2013) 등이 있다. 그 중 적절하게 난이도를 사용하여 가상현실 기반 재활을 적용하면 뇌졸중 환자의 상지기능 및 일상생활 활동이 긍정적인 효과로 나타났다(Nanji 등, 2015). 가상현실을 통해 실제 상황과 비슷한 환경 속에서 환자는 다양한 경험을 획득할 수 있으며 가상현실 화면을 통해 다양한 상호작용과 내적인·외적인 피드백이 이루어지면서 운동재활, 인지재활등과 같이 다양한 분야에서 재활훈련으로 사용되고 있으며(Maggio 등, 2019; Tieri 등 2018). 가상현실을 기반으로 한 로봇 중재방법이 대두되고 있다.

가상현실훈련(virtual reality training)이란 컴퓨터를 통

하여 ‘특정한 환경, 상황을 만들어서 그것을 사용하는 사람이 실제 상황·환경과 상호작용을 하고 있는 것처럼 만들어 주는 인간-컴퓨터 사이의 인터페이스’라고 정의할 수 있다(Holden & Dyar, 2002). 가상현실훈련의 신경학적인 배경으로 거울뉴런(mirror neuron)을 사용하는데, 이는 원숭이가 행동을 관찰했을 때, 실제수행을 했을 때와 비슷하게 앞운동겉질(premotor cortex)에서 활성화가 된다고 하였다(Rizzolatti 등, 1999). 가상현실은 뇌졸중, 외상성 뇌손상(TBI), 척수손상(SCI), 파킨슨 질환(PD), 다발성경화증(MS), 인지저하 환자 등 다양한 질병을 개선시킬 목적으로 기능훈련 분야에 도입되어 환자 치료에 대한 연구가 진행 되었으며(Broeren 등, 2004; Christiansen 등, 1998), 현재 재활영역에서 치료적인 목적으로 가상현실시스템을 이용한 의료용 프로그램이 다양하게 개발되어 실제 임상에 적용되고 있다(Carregosa 등, 2018; Perez-Marcos 등, 2017).

기능적 전기자극(functional electrical stimulation; FES)은 환자에게 근육의 근 재교육을 통해 훈련을 진행하여 운동 재학습을 최대한 올릴 수 있도록 제공하는 치료법으로(Chae와 Yu, 2000), 뇌졸중 환자의 기능 회복을 위해 많이 적용되고 있으며, 마비 혹은 약화된 근육에 대해 전기자극을 통해 근 수축을 유발시켜 근위축의 방지, 근육 내성 유지, 근력강화, 기능적 움직임의 재교육을 시킬 수 있다(Kapadia 등, 2014). 또한 손상 부분 이후의 잔여 신경전도로를 통하여 중추 신경계의 침해를 받은 환자들에게 해당 부분의 기능 회복을 도와준다(Thompson 등, 2005).

기능적 전기적 자극과 가상현실훈련의 최근 연구들을 살펴보면, 뇌졸중 환자를 대상으로 감각자극 훈련과 가상현실 훈련이 위팔의 기능과 인지기능에 증진을 보였다(Kim 등, 2019), Kim과 Lee(2015)의 연구에서는 거울치료와 기능적 전기자극을 병행한 훈련을 뇌졸중 환자에게 적용한 결과, 경직 변화에 유의한 차이가 없었다. 그러나 Kojima 등(2014)은 뇌졸중 환자의 비마비측의 근전도 바이오피드백 훈련을 통한 마비측 기능적 전기자극과 거울치료 훈련이 위팔 기능에 유의한 차이가 나타난다고 하였다.

그러나 이와 같이 뇌졸중 환자의 위팔 기능 증진을 위해 가상현실훈련, 그리고 기능적 전기자극 치료의 효과

성에 대해 보고하는 연구들이 있지만, 현재 뇌졸중 환자의 위팔 치료에 있어 가상현실훈련을 통한 연구는 아직 부족한 실정이며, 또한 단순 수동적 반복의 기능적 전기 자극의 치료는 뇌졸중 환자의 위팔 재활에서 중요하게 생각되는 운동 재학습 효과가 저하된다는 보고가 있다 (Cauraugh 등, 2000). 이를 보완하기 위해 가상현실훈련과 기능적 전기자극의 병행을 통한 중재방법이 중요하다고 생각된다. 또한 뇌졸중 환자를 대상으로 가상현실과 기능적 전기자극 치료를 적용한 중재방법은 부족한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 가상현실훈련과 기능적 전기 자극치료가 만성 뇌졸중 환자의 위팔 근력, 능동관절운동과 기능에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 경기도 성남시에 위치한 N 재활병원에 뇌졸중 환자 30명을 대상으로 실험을 진행하였다. 대상자들은 본 연구에 자발적으로 참여하였으며 연구진행에 대해 충분히 설명을 실시한 후 연구 참여 동의서에 서명을 받았다. 선정조건은 연구 목적에 대하여 충족되는 대상자 30명을 선정하여 실시하였다(Yang 등, 2019). 선정 조건은 처음으로 뇌졸중으로 진단받고 6개월 이상 경과된 환자, 한국판 간이정신상태검사(Mini-Mental Status Examination Korean version, MMES-K)의 24점 보다 높은 점수로 인지적 손상이 없는 자(Yang 등, 2019), 위팔에 정형외과적 손상이 없는 자, 기타 신경학적 손상이 없는 자, 마비측 위팔의 도수근력검사(manual muscle test, MMT)에서 grade II 이상이며, 마비 측 손목관절의 관절 가동범위가 최소 20° 펴, 손허리손가락관절(Metacarpophalangeal joint, MP joint)과 손목뼈사이관절(carpal joint)을 최소 10° 이상 펴시킬 수 있는 자로 선정하였다. 제외 조건은 편측 무시와 반맹증이 있는 환자, 시각과 청각, 전정감각에 문제가 있는 자, 고혈압과 심혈관계의 문제가 있는 자, 발작의 약물을 먹고 있는 자, 파킨슨병 또는 말초신경장애와 같이 신경 병변이 있는 환

자, 위팔의 감각소실 및 감각 과민증이 있는 자는 제외하였다. 연구 대상자의 수 산정은 G-power software를 사용하여 effects $d=0.8$, alpha 레벨은 0.60~0.50으로 설정하여 30명을 대상으로 선정하였다.

2. 연구 설계

본 연구 대상자는 제비뽑기를 이용하여 가상현실 훈련을 병행한 기능적 전기자극군 15명, 보존적 물리치료 훈련군 15명으로 나누어 두 그룹으로 배정하였다. 모든 대상자들은 주어진 훈련을 하루 60분, 주 3회, 8주간 훈련을 실시하였다. 연구 시작 전에 서면을 통해 연구의 목적, 연구내용, 연구방법, 그리고 비밀유지에 대해 충분히 설명하였다. 대상자들은 원한다면 원하는 시기에 언제든지 중도 포기를 할 수 있다고 안내하였다.

3. 실험방법

1) 가상현실훈련과 기능적 전기자극군

VRFS군은 15분간 가상현실훈련 시행 한 후 15분간 기능적 전기자극을 각각 시행하였다. 가상현실훈련은 몰입형 가상현실프로그램으로 RAPAEL Smart Glove™ (Neofect, Korea)를 장비를 사용하여 훈련을 하였다. 이 장비는 위운동신경세포병변 환자의 위팔 재활훈련의 목적으로 사용되고 있다. 장갑 모양의 센서가 부착된 장비와 소프트웨어 어플리케이션으로 이루어졌으며 바이오 피드백 장비이다. 센서 장비는 환자의 아래팔의 옆침/뒤침, 손목관절의 굽힘/펴, 노측/자측 치우침, 손가락 굽힘/펴와 같이 먼쪽 지절에 대한 움직임에 추적한다. 5개의 굽힘에 대한 센서는 손가락의 굽힘에 대해 측정이 가능하며 장갑 내 관성 측정 장치는 먼쪽 손가락관절의 3차원 방향을 측정하였다. 측정된 데이터는 블루투스 기능을 통해 시스템에 수신된다. 움직임은 PC의 모니터를 통하여 대상자에게 시·청각적 피드백을 제공하였으며, 소프트웨어 어플리케이션은 수신되는 데이터를 따라 가상 의 손, 물체를 조작하여 훈련하게 된다. 그리고 기능적 움직임에서 능동관절가동범위, 수동관절가동범위의 움직임에 대해 측정할 수 있다.

Smart Glove의 훈련 게임은 Jung 등(2017)의 연구를 바탕으로 수정 보완하였으며, 위팔의 다양한 움직임에 포함하는데 움직임에 요소로는 아래팔의 옆침/뒤침, 수직면 손목관절의 굽힘/펴, 수평면(중력을 제거한 상태) 손목관절의 굽힘/펴, 수직면 손목관절의 노측/자측 치우침, 수평면(중력을 제거한 상태) 손목관절 노측/자측 치우침, 손가락 굽힘/펴 그리고 그 외에 복합적 움직임 등이 있다(Jung 등, 2017)(Fig 1). 대상자들은 다양한 프로그램을 적용하여 실험하였다. 책장 넘기기, 오렌지 짜기, 페인트, 나비나 공 잡기, 와인 따르기, 바닥 청소하기, 낚시, 요리하기 등과 같이 일상생활동과 관련된 항목들을 통해 대상자의 동기부여와 프로그램 적응할 수 있도록 구성하였다.

기능적 전기자극은 기능적 전기자극 치료기 Microstim (Medel GmbH, Germany)을 사용하여 위팔의 펴근에 실시하였다. 주파수는 40 Hz, 펄스폭은 250 μ s로 적용하였다. 대상자는 팔걸이가 없는 의자에 똑바른 앉은 자세를 취하였다. 손목관절 펴근, 팔꿈관절 펴근에 부착하여 기능적 전기자극을 주었다. 자극의 강도는 근수축이 일어나도록 하면서 통증은 유발되지 않는 범위 내에서 조절하였다(Kesar 등, 2009).

2) 보존적 물리치료 훈련군

보존적 물리치료 훈련군은 15분간 보존적 물리치료를 시행 후 15분간 가상현실훈련요소(앞팔의 옆침/뒤침, 손목관절의 굽힘/펴, 노측/자측 치우침 손가락 굽힘/펴)와 동일한 방향으로 치료사와 함께 말초관절의 관절 움직임을 시행하여 두 군 간에 관절 움직임 요소를 일관되게 하였다. 중재 과정에서 움직임 어려움이 있으면 치료사에 의해 조절하였다(Kim 등, 2019).



Fig 1. Smart glove training

Table 1. Smart glove training

Smart glove various movement component	
Forearm	Pronation/supination
Wrist	Flexion/extension, ulnar deviation, radial deviation
Finger	Flexion/extension, other complex movements
Perform various tasks	Turning page a book over, squeezing an orange, painting, catching a butterfly or balls, pouring wine, cleaning the floor, fishing, cooking

4. 측정 방법 및 도구

1) 위팔 근력

대상자의 위팔 능동적 근력의 변화를 측정하기 위해 도수 근력계(The Commander Muscle Tester, Jtech-Medical, USA)를 이용하였다. 팔꿈관절의 굽힘근에 대한 측정 시

대상자의 아래팔을 뒤침으로 유지시킨 다음 아래팔의 먼 쪽에 센서를 위치하여 팔꿈관절 굽힘을 시행하는 동안 근력을 측정하였고, 팔꿈관절의 펴근 측정 시에는 대상자를 매트에 엎드린 자세에서 아래팔을 침대 밖으로 나오게 한 후, 측정 센서를 아래팔의 먼 쪽으로 위치하여 펴 움직임을 하는 동안 근력을 측정하였다. 손목관절

굽힘근과 펴기근 측정 시 대상자의 두 팔을 책상 위에 올리고, 도수 근력계의 센서를 대상자의 손허리뼈에 위치하여 손목을 굽힘, 펴는 동안 나타나는 근력을 측정하였다. 모든 측정은 3회 반복 측정하여 평균값을 사용하였다. 측정자 내 신뢰도 $r=0.90\sim 0.96$, 측정자간 신뢰도는 $r=0.76\sim 0.97$ 이다(Koblbauer 등, 2011).

2) 능동관절가동범위

팔꿈관절과 손목관절의 굽힘과 펴는 능동적 관절가동범위 측정을 위해 듀얼 경사계(Dualer IQ Inclinator, Jtech-Medical, USA)를 사용하였다. 팔꿈관절의 굽힘과 펴는 가동범위 측정 시 한 쪽 센서는 아래팔에 부착하고 다른 쪽 센서는 벨크로를 이용하여 위팔에 부착하였다. 팔꿈관절의 굽힘 측정 시 의자에 대상자는 앉고, 어깨관절을 90°로 굽힘 상태에서, 팔꿈관절은 중립상태에 위치한 후 측정하였고, 팔꿈관절 펴 측정 시 매트에 대상자는 엎드린 자세로 팔꿈치가 밖으로 나온 상태로 측정하였다. 손목관절의 굽힘과 펴 측정을 위해 의자에 대상자는 앉은 상태로 한 쪽의 센서는 손목의 배측에 부착하고, 다른 쪽 센서는 아래팔에 부착하여 치료사의 지시를 통해 굽힘, 펴는 측정을 하였다. 모든 측정은 3회 반복 측정하고 평균값을 사용하였다(Scibek & Carcia, 2014).

3) Manual function test (MFT)

MFT는 일본 동북대학의 리하연구명자원에서 개발되었으며(Sakai Rehabilitation Instrument, Japan), 뇌졸중 환자의 위팔기능과 위팔 동작능력을 측정하기 위한 검사 도구이다. 위팔의 운동(4항목), 파악(2항목), 손가락 조작(2항목)으로 구성되며 검사마다 수행 시 1점, 불가능 시는 0점으로 총 점수는 32점 만점으로 구성되었으며, 평가-재평가 신뢰도와 평가자간 신뢰도는 모두 $r=0.95$ 이다(Miyamoto 등, 2009). 이 평가도구의 검사-재검사(test-retest reliability), 검사자 간 신뢰도(interrater reliability)는 $r=0.95$ 이며 Cronbach's α 계수는 0.95이다(Miyamoto 등, 2009).

4) Jebsen-taylor hand function test (JTT)

시각에 불편함이 없는 밝은 곳에서 대상자는 측정자

와 책상을 두고 의자에 편안히 앉는다. 대상자에게 각 측정 과제에 대해 충분히 설명한 후 검사를 시작하였다. 측정은 디지털 초시계를 사용하여 7개 항목에 대해 검사를 실시하였다. 우세손(비마비측)을 통해 방법을 인지시키고 비우세(마비측)를 측정하였다. 각 항목마다 10회의 훈련을 거쳐 3회 측정값의 평균값을 결과값으로 사용하였다(Boggio 등, 2006). 평가도구의 내적 일치도는 0.98이며, 검사자간 신뢰도는 $r=0.90\sim 0.99$ 이다(Artalheiro 등, 2018).

5. 자료처리

본 연구의 모든 통계적 분석은 소프트웨어 프로그램 PASW statistics 21.0을 사용하였다. 참여 대상자의 일반적 특성 중 마비 측, 성별, 뇌졸중 유형은 카이제곱 검정을 나이, 두 집단의 훈련 이전의 종속변수의 동질성은 독립표본 t-검정을 통해 검정하였다. 집단 내 치료 전·후의 차이를 비교하기 위해서 대응표본 t-검정을 시행하였으며, 집단 간 차이의 변화량을 알기 위해서 독립표본 t-검정으로 분석하였다. 모든 통계학적 유의수준 $\alpha = 0.05$ 로 하였다.

III. 결 과

본 연구에 참여한 30명의 대상자를 VRFES군, CON군으로 무작위로 나누어 진행하였다. 대상자의 일반적 특성에서 집단별 유의한 차이가 나타나지 않았다. 성별, 뇌졸중의 유형, 마비 측에 집단별 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 1). 중재에 따른 종속변수에 대한 결과는 Table 2와 같다. VRFES군과 CON군 모두 실험 전·후 집단 내에서 유의한 차이를 보였다. 위팔 근력, 위팔 관절가동범위, MFT, 그리고 JTT에서 두 군간 변화량 비교에서 모두 유의한 차이를 보였다.

Table 1. General characteristics of subjects (n=30)

	VRFES	CON	F	p
Age (years)	57.8±13.30	57.6±9.38	1.82	NS
Height (cm)	166.07±6.07	164.07±6.32	.37	NS
Weight (kg)	60.8±7.78	62.07±7.1	.35	NS
MMSE-K (score)	27.2±1.90	28.07±1.22	2.19	NS
Gender				
Male (%)	9 (60)	8 (53.3)	1.000	NS
Female (%)	6 (40)	7 (46.7)		
Diagnosis				
Infarction (%)	7 (46.7)	9 (60)	.715	NS
Hemorrhage (%)	8 (53.3)	6 (40)		
Affected side				
Left (%)	7 (46.7)	6 (40)	1.000	NS
Right (%)	8 (53.3)	9 (60)		

data are presented as number (%) or mean±standard deviation, VRFES; virtual reality training and FES group, CON; control group, NS; not significant

Table 2. Comparison of the upper extremity Strength, ROM, and function between the two groups (n=30)

Variables	VRFES		CON		p
	Pre	Post	Pre	Post	
EFMT (kg)	1.71±0.39	2.26±0.48*	1.67±0.46	1.92±0.49*	.001 [†]
EEMT (kg)	1.74±0.34	2.15±0.45*	1.69±0.39	1.90±0.38*	.001 [†]
WFMT (kg)	0.97±0.35	1.37±0.44*	0.95±0.35	1.22±0.30*	.008 [†]
WEMT (kg)	0.89±0.39	1.28±0.60*	0.91±0.32	1.10±0.31*	.014 [†]
EFROM (°)	107.6±6.42	113.67±6.75*	105.33±4.69	108.8±4.80*	.003 [†]
EEROM (°)	-32.07±8.56	-27.07±7.78*	-32.07±5.93	-28.82±5.27*	.003 [†]
WFROM (°)	24.6±4.22	29.4±5.08*	24.87±4.34	27.53±4.34*	.012 [†]
WEROM (°)	22.07±3.71	27.73±4.03*	21.53±4.12	24.4±4.42*	.001 [†]
MFT (Score)	14.07±2.55	17.47±2.45*	13.07±3.69	15.33±3.89*	.013 [†]
JTT (Score)	14.2±2.78	17.67±2.85*	12.93±3.43	14.8±3.86*	.003 [†]

*p<.001. [†]Significant difference compared with CON group. EFMT; elbow flexion muscle test, EEMT; elbow extension muscle test, WFMT; wrist flexion muscle test, WEMT; wrist extension muscle test, EFROM; elbow flexion ROM, EEROM; elbow extension ROM, WFROM; wrist flexion ROM, WEROM; wrist extension ROM, MFT; manual function test, JTT: Jebsen-Taylor hand function test.

IV. 고 찰

본 연구는 만성 뇌졸중 환자에게 가상현실 훈련을 통해 위팔 가상현실 훈련과 기능적 전기자극을 병행한 군(15명)과 보존적 치료와 유사 관절 운동을 시행한 대조군(15명)을 통해 위팔의 근력, 능동 관절 각도, 기능에 미치는 영향을 알아보았다. 연구결과를 바탕으로 VRFES 군이 위팔 근력, 능동관절운동과 기능에서 효과적임을 알 수 있었다.

악력검사의 선행 연구에서 Hara 등(2013)은 뇌졸중 환자에게 다양한 기능적 과제들을 수행 후 시행한 악력 검사에서 유의한 증가가 나타났으며, Yun 등(2011)은 기능적 전기자극을 시행한 거울치료가 뇌졸중 환자의 손가락 편근의 근력변화에 유의한 효과가 있다고 보고하였다. 그리고 Powell 등(1999)은 손목관절 편근에 전기자극을 적용하여 근력변화의 유의성을 보고하였다. 본 연구에서도 위팔 근력의 변화는 두 군 모두 유의하게 증가하였고, 군간 비교에서는 VRFES군에서 더 유의한 증진을 보였다. 이는 본 연구에서의 가상현실 프로그램의 훈련 방법이 다양한 과제 지향적인 운동프로그램으로 운동감각 피드백을 강화시킨 것(Teasell 등, 2008)으로 사료되며, 헤비안 연결(hebbian synapse)은 위운동신경세포와 아래운동신경세포가 연결을 이루는 부분으로 척수 수준의 역행성 신경 전도성 증가, 겔질 재조직화와 함께 FES의 효과를 뒷받침할 수 있는 활동 의존적인 겔질 재조직화의 요소라고 할 수 있는데(Liepert 등, 2000; Thomas 등, 2002), 본 연구의 기능적 전기자극은 말초신경 활동을 증가시킴과 동시에 헤비안 수준의 가소성 변화를 증진시켰을 것으로 생각된다. 또한 기능적 전기자극이 감각운동피드백 회로를 향해 강한 편심성 자극으로 들어와 재 활성화에 긍정적인 영향을 주게 되는데 이것이 뇌졸중 환자에 위팔 근력에 유의한 차이를 발생시킨 것으로 생각된다(Thieme 등, 2013).

위팔 능동관절가동범위는 관절의 해당 가동범위에 따라 위팔 기능과 밀접한 관련이 있다고 보고하였다. Yun 등(2011)의 연구에서 뇌졸중 환자들의 위팔에 중재 효과를 보기 위해 능동관절가동범위를 측정하였다. Massimiliano 등(2017)은 로봇 보조장치를 통한 손의 수

동적 움직임 훈련에서 손의 경직이 감소하였다고 하였으며, Summers 등(2007)은 뇌졸중 환자에게 나무 블록 옮기기 위팔 훈련을 한 결과 팔꿈관절의 가동범위가 유의한 차이를 나타내었다. 본 연구에서 팔꿈관절 및 손목관절의 능동관절가동범위의 변화는 두 군 모두 훈련 전후 유의한 차이가 나타났으며, 군간 비교에서 VRFES군이 더 유의한 증진을 보였다. 이는 가상현실 기기와 함께 반복된 움직임과 말초 관절의 순환에 증진이 관절 각도에 변화를 준 것으로 생각되며, 전기자극이 근육에 가해지면서 고유수용성 되먹임 작용으로 인해 체성감각질에 전달되어 감각운동회로가 증진되며 이러한 기전으로 능동 관절가동범위가 증가되었다고 생각된다.

뇌졸중 환자의 위팔기능 평가에 높은 신뢰도를 가지는 MFT는 위팔 운동 및 파악, 손가락 조작 등의 항목을 평가할 수 있다(Miyamoto 등, 2009). 본 연구의 가상현실 훈련과 기능적 전기자극의 위팔 기능을 알아보기 위한 MFT와 JTT의 변화에서 두 군 모두 증진이 있었으며, 그중 VRFES군이 더 향상이 있었다. Dos 등(2013)은 뇌졸중 환자를 대상으로 한 말초신경 자극 훈련을 한 결과, JTT의 유의한 차이를 나타낸 논문과 일치한다. 또한 가상현실을 중재한 Combs 등(2012)은 만성 뇌졸중환자를 대상으로 가상현실 프로그램을 활용하여 위팔 기능에 효과가 있었다고 하였으며, Carr와 Shepherd(2003)는 능동적 운동과 과제지향적 훈련의 강조는 기능적 수행력을 최대화 시킨다고 하였다. 본 연구에서도 선행 연구와 같이 뇌졸중 환자들에게 가상현실훈련과 기능적 전기자극을 통해 팔의 반복적 사용을 강조하였으며 가상현실 프로그램의 다양한 과제를 제공한 과제지향적 접근법으로 뇌졸중 환자의 위팔 기능의 증진을 이끌어낸 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 연구대상자를 선정기준을 사용하여 기준을 충족한 대상자를 통해 연구를 실시하여 본 연구의 결과를 모든 만성 뇌졸중 환자에게 일반화하여 해석하는 것은 제한점이 있으며, 가상현실 과제의 다양성 및 대상자에게 부착하는 전기자극의 개인적 적응성에 대한 고려가 적었고, 대상자들의 일상생활에 대해 완벽하게 통제할 수 없어 중재 이외에 외부 요인이 대상자의 위팔 기능에 미치는 영향을 완전히 배제할 수 없다는 것이다. 앞으로는 보다 다양한 가상현실 과제훈련 방

식, 대상자의 기능에 따른 난이도의 차이, 개인의 전기자극에 따른 적응성, 위팔 평가의 다양성 등을 고려하는 등의 다양한 연구가 필요하다고 사료된다.

V. 결론

본 연구에서 만성 뇌졸중 환자의 위팔 근력, 능동관절 범위, 기능 회복에 미치는 효과에 대해 알아보기 위해 가상현실훈련을 병행한 기능적 전기자극을 실시하였으며, 그 결과 만성 뇌졸중 환자의 위팔에 긍정적 영향을 확인하였다. 만성 뇌졸중 환자에게 위팔 기능의 회복은 독립적 일상생활에서 매우 중요한 요소이다. 하지만 임상에서 실제 재활과정에서 회복하는 것은 많은 장애가 있는 실정이다. 뇌졸중 환자에게 가상현실훈련을 병행한 기능적 전기자극을 통해 뇌졸중 환자가 보다 쉽고 안정적이며, 뇌 가소성에 자극을 줄 수 있도록 하였다. 본 연구는 만성 뇌졸중 환자의 위팔 기능 증진을 위한 하나의 중재 방법을 제시하여, 장기간의 치료가 요구될 수밖에 없는 뇌졸중 환자에게 적용할 수 있다는 것에 의의가 있다.

참고문헌

Artilheiro MC, Fávero FM, Caromano FA, et al(2018). Reliability, validity and description of timed performance of the Jebsen-Taylor Test in patients with muscular dystrophies. *Braz J Phys Ther*, 22(3), 190-197. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2017.09.010>.

Benjamin EJ, Blaha MJ, Chiuve SE, et al(2017). Heart disease and stroke statistics—2017 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*, 135(10), 146-603. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000485>.

Boggio PS, Castro LO, Savagim EA, et al(2006). Enhancement of non-dominant hand motor function by anodal transcranial direct current stimulation. *Neurosci Lett*, 404(1-2), 232-236. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.05.051>.

Braun SM, Beurskens AJ, Borm PJ, et al(2006). The effects of mental practice in stroke rehabilitation: a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil*, 87(6), 842-852. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2006.02.034>.

Broeren J, Rydmark M, Sunnerhagen KS(2004). Virtual reality and haptics as a training device for movement rehabilitation after stroke: a single-case study. *Arch Phys Med Rehabil*, 85(8), 1247-1250. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.09.020>.

Cauraugh J, Light K, Kim S, et al(2000). Chronic motor dysfunction after stroke: recovering wrist and finger extension by electromyography-triggered neuromuscular stimulation. *Stroke*, 31(6), 1360-1364. <https://doi.org/10.1161/01.str.31.6.1360>.

Carr JH, Shepherd RB(2003). *Stroke rehabilitation: guidelines for exercise and training to optimize motor skill*. 1st ed, New York, Butterworth-Heinemann, pp.426.

Carregosa AA, Aguiar Dos Santos LR, Masruha MR, et al(2018) Virtual Rehabilitation through Nintendo Wii in Poststroke Patients: Follow-Up. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 27(2), 494-498. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.09.029>.

Chae J, Yu D(2000). A critical review of neuromuscular electrical stimulation for treatment of motor dysfunction in hemiplegia. *Assist Technol*, 12(1), 33-49. <https://doi.org/10.1080/10400435.2000.10132008>.

Christiansen C, Abreu B, Ottenbacher K, et al(1998). Task performance in virtual environments used for cognitive rehabilitation after traumatic injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 79(8), 888-892. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(98\)90083-1](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(98)90083-1).

Combs SA, Finley MA, Henss M, et al(2012). Effects of a repetitive gaming intervention on upper extremity impairments and function in persons with chronic stroke: a preliminary study. *Disabil Rehabil*, 34(15), 1291-1298. <https://doi.org/10.3109/09638288.2011.641660>.

Dos Santos-Fontes RL, Ferreiro de Andrade KN, Andrade

- S, et al(2013). Home-based nerve stimulation to enhance effects of motor training in patients in the chronic phase after stroke: a proof-of-principle study. *Neurorehabil Neural Repair*, 27(6), 483-490. <https://doi.org/10.1177/1545968313478488>.
- Hara Y, Obayashi S, Tsujiuchi K, et al(2013). The effect of electromyography- controlled functional electrical stimulation on upper extremity function and cortical perfusion in stroke patients. *Clin Neurophysiol*, 124(10), 2008-2015. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.03.030>.
- Holden MK, Dyar T(2002). Virtual environment training: a new tool for neurorehabilitation?. *Neurology Report*, 26(2), 62-71.
- Jung HT, Kim H, Jeong JY, et al(2017). Feasibility of using the RAPAEL Smart Glove in upper limb physical therapy for patients after stroke: A randomized controlled trial. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2017, 3856-3859. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2017.8037698>.
- Joo MC, Park HI, Noh SE, et al(2014). Effects of robot-assisted arm training in patients with subacute stroke. *Brain NeuroRehabil*, 7(2), 111-117. <https://doi.org/10.12786/bn.2014.7.2.111>.
- Kapadia NM, Nagai MK, Ziavanovic V, et al(2014). Functional electrical stimulation therapy for recovery of reaching and grasping in severe chronic pediatric stroke patient. *J Child Neurol*, 29(4), 493-499. <https://doi.org/10.1177/0883073813484088>.
- Kesar TM, Perumal R, Reisman DS, et al(2009). Functional electrical stimulation of ankle plantar flexor and dorsiflexor muscles: effects on post stroke gait. *Stroke*, 40(12), 3821-3827. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.109.560375>.
- Kim DH, Kim KH, Lee SM(2019). The effects of virtual reality training with upper limb sensory exercise stimulation on the arm of upper limb joints, function, and concentration on chronic stroke patients. *Phys Med Rehab Kuror*, 30(2), 86-94. <https://doi.org/10.1055/a-0917-4604>.
- Kim JH, Lee BH(2015). Mirror therapy combined with biofeedback functional electrical stimulation for motor recovery of upper extremities after stroke: a pilot randomized controlled trial. *Occup Ther Int*, 22(2), 51-60. <https://doi.org/10.1002/oti.1384>.
- Kiper P, Baba A, Aqostini M, et al(2015). Proprioceptive based training for stroke recovery. Proposal of new treatment modality for rehabilitation of upper limb in neurological diseases. *Arch Physiother*, 5(1), Printed Online. <https://doi.org/10.1186/s40945-015-0007-8>.
- Koblbauer IF, Lambrecht Y, van der Hulst ML, et al(2011). Reliability of maximal isometric knee strength testing with modified hand-held dynamometry in patients awaiting total knee arthroplasty: useful in research and individual patient settings? A reliability study. *BMC Musculoskeletal Disord*, 12, Printed Online. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-12-249>.
- Kojima K, Ikuno K, Morii Y, et al(2014). Feasibility study of a combined treatment of electromyography-triggered neuromuscular stimulation and mirror therapy in stroke patients: a randomized crossover trial. *NeuroRehabil*, 34(2), 235-244. <https://doi.org/10.3233/NRE-131038>.
- Liepert J, Bauder H, Wolfgang HR, et al(2000). Treatment-induced cortical reorganization after stroke in humans. *Stroke*, 31(6), 1210-1216. <https://doi.org/10.1161/01.STR.31.6.1210>.
- Maggio MG, Latella D, Maresca G, et al(2019). Virtual Reality and Cognitive Rehabilitation in People With Stroke: An Overview. *J Neurosci Nure*, 51(2), 101-105. <https://doi.org/10.1097/JNN.0000000000000423>.
- Massimiliano G, Paolo G, Laura V, et al(2017). Hand passive mobilization performed with robotic assistance: acute effects on upper limb perfusion and spasticity in stroke survivors. *BioMed Res Int*, 2017, Printed Online. <https://doi.org/10.1155/2017/2796815>.
- Meadmore KL, Exell TA, Hallewell E, et al(2014). The application of precisely controlled functional electrical stimulation to the shoulder, elbow and wrist for upper limb stroke rehabilitation: a feasibility study. *J Neuroeng Rehabil*, 11(1), Printed Online. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-105>.

- Miyamoto S, Kondo T, Suzukamo Y, et al(2009). Reliability and validity of the Manual Function Test in patients with stroke. *Am J Phys Med Rehabil*, 88(3), 247-255. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e3181951133>.
- Nanji LS, Cardoso AT, Costa J, et al(2015). Analysis of the cochrane review: Interventions for improving upper limb function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev. Acta Medica Portuguesa*, 28(5), 551-553. <https://doi.org/10.20344/amp.7049>.
- Perez-Marcos, D, Chevalley O, Schmidlin T, et al(2017) Increasing upper limb training intensity in chronic stroke using embodied virtual reality: a pilot study. *J Neuroeng Rehabil*, 14(1), Printed Online. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0328-9>.
- Powell J, Pandyan AD, Granat M, et al(1999). Electrical stimulation of wrist extensors in post stroke hemiplegia. *Stroke*. 30(7), 1384-1389. <https://doi.org/10.1161/01.STR.30.7.1384>.
- Ring H, Rosenthal N(2005). Contralled study of neuroprosthetic functional electrical stimulation in sub-acute post-stroke rehabilitation. *J Rehabil Med*, 37(1), 32-36. <https://doi.org/10.1080/16501970410035387>.
- Rizzolatti G, Fadiga L, Foqassi L, et al(1999). Resonance behaviors and mirror neurons. *Arch Ital Biol*, 137(2-3), 85-100. <https://doi.org/10.4449/aib.v137i2.575>.
- Saito K, Yamaguchi T, Yoshida N, et al(2013). Combined effect of motor imagery and peripheral nerve electrical stimulation on the motor cortex. *Exp Brain Res*, 227(3), 333-342. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3513-5>.
- Scibek JS, Carcia CR(2014). Validation of a new method for assessing scapular anterior-posterior tilt. *Int J Sports Phys Ther*, 9(5), 644-656.
- Shumway-Cook A, Woollacott MH(2007). Motor control. 3rd ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins. pp.612.
- Summers JJ, Kaqerer FA, Garry MI, et al(2007). Bilateral an unilateral movement training on upper limb function in chronic stroke patients: a TMS study. *J Neurol Sci*, 252(1), 76-82. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2006.10.011>.
- Tieri G, Morone G, Paolucci S, et al(2018). Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies. *Expert Rev Med Devices*, 15(2), 107-117. <https://doi.org/10.1080/17434440.2018.1425613>.
- Teasell RW, Foley NC, Salter KL, et al(2008). A blueprint for transforming stroke rehabilitation care in canada: the case for change. *Arch Phys Med Rehabil*, 89(3), 575-578. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.08.164>.
- Thieme H, Mehrholz J, Pohl M, et al(2013). Mirror therapy for improving motor function after stroke. *Stroke*, 44(1), 1-2. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.112.673087>.
- Thomas CK, Johansson RS, Bigland-Ritchie B(2002). Incidence of F waves in single human thenar motor units. *Muscle Nerve*, 25(1), 77-82. <https://doi.org/10.1002/mus.10005>.
- Thompson AJ, Jarrett L, Lockley L, et al(2005). Clinical management of spasticity. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 76(4), 459-463. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2004.035972>.
- Yang JE, Ma SR, Choi JB(2019). The effect of hand movement training based on virtual reality on upper extremity and hand function in stroke patients. *Neurotherapy*, 23(2), 45-50. <https://doi.org/10.17817/2019.06.04.111417>.
- Yun GJ, Chun MH, Park JY, et al(2011). The synergic effect of mirror therapy and neuromuscular electrical stimulation for hand function in stroke patient. *Ann Rehabil Med*, 35(3), 316-321. <https://doi.org/10.5535/arm.2011.35.3.316>.
- American Stroke Association. Understand stroke. What is stroke, 2017. Available at <https://www.stroke.org/en/about-stroke/> Accessed February 25, 2020.