

## 가상현실훈련과 로봇보행훈련이 만성 뇌졸중 환자의 균형과 보행능력에 미치는 영향

김동훈 · 김경훈<sup>†</sup>

김천대학교 물리치료학과, <sup>1</sup>대전보건대학교 물리치료학과

### Effects of Robot-Assisted, Gait-Training-Combined Virtual Reality Training on the Balance and Gait Ability of Chronic Stroke Patients

Dong-Hoon Kim, PT, PhD · Kyung-Hun Kim, PT, PhD<sup>†</sup>

Department of Physical Therapy, Gimcheon University

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Daejeon Health University

Received: January 14 2024 / Revised: January 19 2024 / Accepted: February 6 2024

© 2024 J Korean Soc Phys Med

#### | Abstract |

**PURPOSE:** This study evaluated the effects of robot-assisted gait training combined with virtual reality training on balance and gait ability in stroke patients.

**METHODS:** Thirty-one stroke patients were allocated randomly into one of two groups: robot-assisted gait training combined virtual reality training group (RGVR group; n = 16) and control group (n = 15). The RGVR group received 30 minutes of robot-assisted gait training combined with virtual reality training. Robot-assisted gait training was conducted in parallel using a virtual reality device. In the Control group, neurodevelopmental therapy was performed according to the function of chronic stroke patients. Both groups underwent

training for 30 minutes, three times per week for eight weeks. The balance assessment system (BioRescue, Marseille, France), BBS, and TUG were used to evaluate the balance ability. The OptoGait (Microgate Srl, Bolzano, Italy) and 10 mWT were measured to evaluate the gait ability. The measurements were performed before and after the eight-week intervention period.

**RESULTS:** Both groups showed significant improvement in their balance and gait ability during the intervention. RGVR showed significant differences in balance and gait ability compared to the control group groups ( $p < .05$ ). These results showed that RGVR was more effective on balance and gait ability in patients with chronic stroke.

**CONCLUSION:** RGVR can improve balance and gait ability, highlighting the benefits of RGVR. This study provides intervention data for recovering the balance and gait ability of chronic stroke patients.

<sup>†</sup>Corresponding Author : Kyung-Hun Kim  
huni040@naver.com, <http://orcid.org/0000-0002-5889-1948>

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.

**Key Words:** Balance, Gait, Robot, Stroke, Virtual reality

## I. 서론

뇌졸중은 뇌의 혈류가 차단되어 발생하고, 뇌세포는 산소가 공급 중단되면 죽기 시작하여, 세포의 죽음은 근육 조절 등의 뇌 영역에 통제 능력을 상실하게 되는 것을 말한다[1]. 현재 뇌졸중 환자의 5년 생존률은 상대적으로 높은것으로 나타나고 있으나, 장기적인 관리가 필요하다[2]. 또한 뇌졸중은 이러한 손상으로 인해 신경학적 결손을 보이게 되며, 신체의 운동능력, 감각, 지각, 언어 등의 장애를 유발시킨다[3].

뇌졸중환자와 같이 균형, 보행 및 호흡기능 장애를 보이는 환자에게 트레드밀에서 안전하게 정상 보행 패턴을 모방하는 반복적인 보행 훈련을 실시하기 위해서 여러 숙련된 치료사의 노력이 필요하며, 치료사의 보행 보조가 일정하지 않아서 환자는 계속해 운동 전략을 변경하는 제한점도 있다[4]. 뇌졸중 환자의 재활을 위하여 신경 가소성 변화를 주기 위해서 치료사는 반복되는 운동치료를 제공하여야 하고, 이를 위한 요구 증가는 현재 뇌졸중 재활에서 해결해야 하는 문제점으로 대두된다[5].

로봇보행훈련 장치는 치료사의 부상과 피로를 예방하면서 뇌졸중 환자에게 안전한 보행훈련 환경의 제공 [6], 보행단계의 정확한 반복동작과 관절운동범위를 제공하여 효과적인 보행 치료 등을 제공할 수 있다[4]. Hornby 등[7]에서 만성 뇌졸중 환자의 치료사 보행훈련은 로봇보행훈련과 비교하여 손상된 하지의 한다리 지지기와 보행속도가 크게 증가하였으며, 이 결과는 로봇보행훈련에서 보행 훈련 시 기계적 도움으로 정상 보행과 가깝게 움직여 주어 보행에 필요한 다리 관절 움직임을 학습하는데 효과는 있으나, 로봇에서 제공되는 수동적 움직임이 훈련 동안 뇌졸중 환자의 의지와 노력, 집중력을 떨어트리는 단점이 있다. 이러한 로봇보조보행훈련의 단점을 개선하기 위해 뇌졸중 환자의 의지, 집중력 등의 향상에 효과적일 수 있는 방법을 함께 접목하는 것이 중요하다고 생각되며, 로봇보조보행훈련에서 환자의 의지, 집중력을 높이기 위해 치료기기 정면에 스크린을 설치하여 가상현실 환경으로 다양한 보행과제를 시행할 수 있다.

여러 분야에 적용되어 오던 가상현실이 최근에 들어 과학의 빠른 발전과 함께 여러 장애를 가진 환자를 대상으로 한 기능향상을 위한 치료 기법으로서 도입되고 있으며, 가상현실이 환자들에 중재법으로서의 가능성과 효용성의 연구가 진행되고 있다[8]. 치료영역에서의 가상현실은 물체를 조작하고, 옮기고, 정해진 과제를 수행함으로써 실제상황과 동일한 반응을 이끌어 내야 하며, 이러한 치료방식은 흥미와 재미를 유발함으로써 과제를 수행함에 있어서 스스로의 동기부여가 높아지는 효과가 있다[9]. 가상현실 재활치료는 다양한 자극을 뇌졸중환자에게 제공하여 운동감각을 자극하므로 뇌졸중 환자의 재활훈련에 효과적인 도구로 제공된다[8].

지금까지의 로봇보행훈련은 보행과 관련한 대칭적 근육의 활성을 촉진하여 보행패턴 촉진을 가능하게 만들어 보행 시 비정상 패턴의 개선과 신체조직 능력 향상에 효과적이었으며[10], 그 결과로 균형능력과 일상생활능력 등 향상에 효과 있는 것으로 알려졌다[11]. 또한 가상현실훈련은 동적, 정적균형능력 증진[12]에 효과적이라고 하였다. 그러나 현재 재활환경에서 로봇보행과 가상현실의 각각에 대한 기능적 연구는 이루어지고 있으나, 가상현실을 접목한 로봇보행훈련과 관련한 연구는 많이 부족하고, 만성 뇌졸중 환자의 균형과 보행요소를 규명하는 연구들은 부족한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 가상현실훈련과 로봇보행훈련이 만성 뇌졸중 환자의 균형과 보행능력에 미치는 영향을 알아봄으로써 만성 뇌졸중 환자의 기능 증진에 대한 중재효과 참고자료로 제시하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

대한민국 S시 B병원에 입원 및 외래로 내원중인 만성 뇌졸중 환자 중 연구에 참여를 동의한 자 중, 선정조건을 만족하는 대상자 31명을 대상으로 실시하였다. 연구 참여자들은 연구 진행에 대하여 충분한 설명을 듣고 동의하였으며, 선정 조건은 뇌졸중으로 진단받고 6개월 이상 경과된 자, 한국판 간이정신상태검사(Korean

version of Mini-Mental Status Examination, K-MMSE) 24 점보다 높은 점수를 받은 자, 낙상과 관련하여 버그균형척도 40점 이상인 자[13], 기타 신경학적 손상이 없는 자로 하였으며, 제외 조건은 편측 무시 및 반맹증이 있는 자, 시각 및 안뜰감각에 문제가 있는 자, 운동결손이 나타나는 신경 병변 자로 하였다.

연구 대상자들은 가상현실 훈련을 접목한 로봇보행 훈련군(RGVR group) 16명, 보존적 물리치료 훈련군(Control group) 15명으로 컴퓨터 프로그램을 통하여 무작위로 두 군으로 나누어 배정하였으며, 두 군은 하루 30분, 주 3회, 총 8주간 훈련을 실시하였다(Fig. 1). 연구 전 참여자들이 원한다면 언제든지 연구 참여를 철회할 수 있다는 것을 충분히 설명한 이후 실험을 진행하였다 (Table 1).

## 2. 측정장비

### 1) 균형측정시스템(BioRescue)

연구 대상자의 균형능력 측정을 위해 균형측정시스템(BioRescue, Marseille, France)을 이용하여 측정하였으며, 균형 지표 중 압력중심점(center of pressure, COP)과 안정성 넓이(limited of stability, LOS)의 지표를 활용하였다. COP의 측정은 대상자가 바로 선 자세에서 30° 정도 양측 다리를 벌려 정면을 주시하게 한 후 측정자가 시범 측정을 보여 측정에 대해 설명한 이후 대상자가 정면을 주시한 자세에서 1분 동안 선 자세 균형을 유지하도록 하여 COP의 총 이동거리와 이동속도를 측정한다(mm, cm/s). LOS 측정은 측정기기 내 소프트웨어를 사용하여 앞뒤, 좌우, 대각선의 총 8개 방향으로 대상자가 COP를 이동

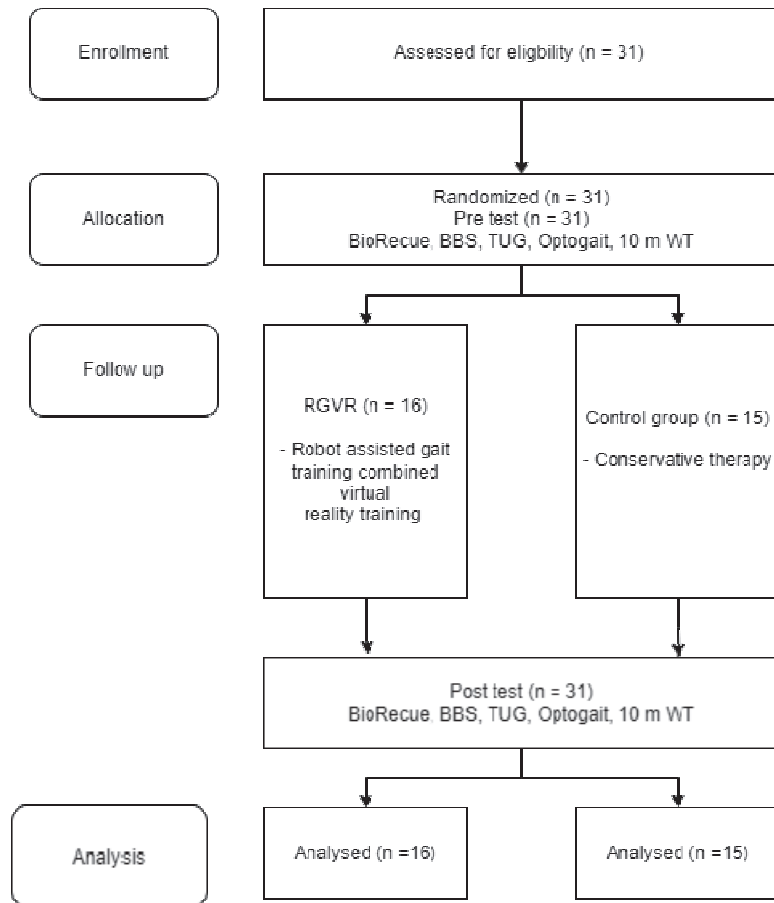


Fig. 1. Flow chart.

한 총 이동 면적을 측정한다(cm<sup>2</sup>). 이때 대상자의 양 발은 항상 바닥면에 위치하여야 하며 발을 떼는 경우에는 다시 측정을 하였다. 본 연구의 압력중심점은 선 자세에서 균형능력의 척도로 사용되며 압력중심의 측정은 지면반발력이 합성된 지점의 변화를 나타낸 것으로 지면과 접촉하는 압력 점의 힘의 평균을 의미한다[14].

#### 2) 버그균형척도(Berg balance scale, BBS)

버그균형척도는 모두 14개의 균형측정 항목으로 구성되며 앉기, 서기, 자세변화의 3개영역으로 되어있다. 측정 시 각 항목당 0점에서 4점을 적용하여 점수의 총합은 56점이다. 이 척도는 측정자 내 신뢰도와 측정자 간 신뢰도에서  $r = .99$ ,  $r = .98$ 로 균형능력 평가의 높은 신뢰도와 내적 타당도 높은 것으로 나타났다[13].

#### 3) 일어나 걸어가기 검사(Timed up and go test; TUG)

일어나 걸어가기 검사는 등받이 및 팔걸이가 없는 46cm 높이의 의자에 대상자가 앉은 자세에서 실시하였다. 측정자의 시작이라는 신호에 대상자는 독립적으로 의자에서 일어나 3 m 거리를 왕복하여 다시 앉는데 걸리는 시간을 3회 측정하여 평균값을 기록하였다. TUG검사의 평가자 간 신뢰도  $r = .87\sim.96$ , 평가자 내 신뢰도  $r = .85\sim.99$ 로 신뢰도와 타당도가 높은 것으로 나타났다[15].

#### 4) 보행 측정 장비(OptoGait)

보행 패턴에 대한 정량적 분석 데이터를 수집하기 위해 보행측정 장비인 OptoGait(Microgate Srl, Bolzano, Italy)를 사용되었다. 이 장비는 총 길이 4 m의 전송 및 수신을 하는 막대 2개와 웹캠(Logitech Webcam Pro 9000)으로 구성되며, 막대 안쪽에는 1 cm 크기의 LED가 설치되어 있고 적외선으로 통신한다. 측정대상자에게 편안한 속도로 7 m를 걷도록 지시하였으며 발의 센서는 피험자가 플랫폼에서 가속 단계의 초기 2 m와 감속 단계의 마지막 2 m를 제외하고 3 m 동안 걷는 동안 보행 변수에 대한 정보를 수집했다. 마비측 보폭(ASL), 마비측 단일 지지(ASS), 보행속도(GV) 및 분속수(Cadence)를 분석했으며 평가자 내 신뢰도는  $r = .99$ , 검사 및 재검사 신뢰도  $r = .98\sim.99$ 였다[16].

#### 5) 10 m 보행 검사 (10 m walk test, 10MWT)

10 m 보행 검사를 위해 두 지점 사이의 직선거리 14m를 경로로 구축하였다. 폭 10 cm의 테이프를 사용하여 연결이 이루어졌으며, 시작점과 끝점 2 m를 제외하고 총 10 m거리를 평가하였다 [16]. 10 m 거리의 걷기에 측정된 시간을 거리와 함께 계산하여 속도를 구한 후, 속도를 보행 측정변수로 사용하였다. 모든 대상자는 3번씩 측정하였고 그 결과로 평균 시간을 얻었다. 이 검사의 검사자 내 신뢰도와 검사자 간 신뢰도  $r = .91$ ,  $r = .86$ 이다[17].

### 3. 실험방법

#### 1) 가상현실 훈련을 접목한 로봇보행훈련군(RGVR group)

RGVR군은 Hong과 Lee[20], Kim 등[11]의 선행 연구를 보완하여 가상현실기기를 사용하는 상태에서 로봇보행훈련을 실시하였다.

가상현실 훈련은 가상현실기기(Oculus, Samsung, Korea)를 사전에 녹화된 공원 산책 환경 15분과 시내 걷기 환경 15분을 중재 환경으로 설정하고, 중재 전 가상현실기기를 적용하도록 시간을 주어 중재 시 문제가 일어나지 않도록 하였다. 가상현실기기는 몰입형 가상현실기기 로 대상자의 얼굴에 착용하면 기기에서 재생되는 가상현실화면과 오디오를 통하여 대상자에게 몰입감을 제공하는 장비이다. 이처럼 가상현실장비를 착용하고 로봇보행훈련을 통한 훈련을 실시하였다.

로봇보행훈련은 로봇보행훈련기기(WALKBOT, P&S Mechanics, Korea)을 이용하였다[18]. 로봇보행훈련기기는 보행훈련 시 다리의 올바른 움직임과 정렬을 잡아 주는 로봇골격장치와 트레드밀, 스크린, 체중지지장치, 컴퓨터시스템으로 구성되어 있다. 로봇보행훈련의 훈련과정은 대상자의 키, 몸무게, 다리길이를 측정하고, 측정값을 입력하면 입력된 값은 로봇골격장치에 전송되어 대상자의 신체에 맞게 로봇다리길이가 조정된다. 체중지지장치에 연결시킬 현수장치를 대상자에게 착용시키고, 체중지지장치에 부착된 추를 통하여 대상자에게 선 자세가 부담이 되지 않을 무게로 역하중을 설정한 후 대상자를 들어올린다. 대상자가

공중에 10cm 정도 뜬 상태에서 로봇골격장치를 결합시킨 후 트레드밀을 작동한다. 트레드밀 속도와 로봇보조 속도를 맞춘 이후 로봇보행치료를 실시한다. 대상자 체중의 30%를 체중지지로 지지하였고, 트레드밀의 속도는 대상자의 수행능력에 맞추어 로봇 보조 보행 훈련을 실시한다.

2) 보존적 물리치료 훈련군(Control group)

Control group은 기존 제공되는 보존적 물리치료에서 추가적 보존적치료를 실시하였다. 보존적 물리치료는 고유수용성 신경근 촉진법(위팔, 다리 등의 고유수용성 신경근 촉진 패턴과 테크닉 적용)과 보바스 신경발달치료(대상자의 균형과 보행기능의 문제해결 접근법) 등의 치료 접목이다. 이 치료기법들은 대상자 신체 능력에 맞추어 진행하였다. 그 외 보존적 물리치료는 대상자의 관절가동범위증진, 균형 및 각 신체 부위 근력 운동, 일상생활훈련 등으로 구성하였으며, 30분간 물리치료를 시행하였다.

4. 자료분석

본 연구의 자료분석은 PASW statistics 20.0 프로그램을 사용하였다. 정규성 검정은 Shapiro-Wilk를 이용하였으며, 대상자의 일반적 특성 중 성별, 손상측, 뇌졸중 유형은 카이제곱 검정을 사용하였다. 나이, 키, 몸무게,

발병년도, MMSE, 두 군의 훈련 전의 종속변수의 동질성은 독립표본 검정으로 검정하였다. 집단 내 중재 전·후 비교는 짝 비교 검정으로 시행하였으며, 집단 간 변화 비교를 위해 독립표본 검정을 시행하였다. 중재의 효과 크기를 알아보기 위하여 훈련 전 후 변화량의 차이를 확인하였다. 모든 통계학적 유의수준은  $\alpha$ 는 .05로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 연구 대상자의 일반적인 특성

본 연구 결과는 Table 1에 제시하였다. 정규성 검정은 Shapiro-Wilk검정으로 실시하였으며 두 그룹 모두 정규성을 만족하였다. 두 군간 나이, 키, 몸무게, 발병년도, MMSE, 성별, 손상측, 뇌졸중 종류 통계학적으로 유의한 차이가 없었다( $p < .05$ ). 그리고 종속변수의 사전값은 두 그룹간 동질한 것으로 나타났다( $p < .05$ ) (Table 1).

2. 중재 전·후 무게중심 이동면적 및 이동속도의 변화

REOSA의 변화량에서 두 그룹 모두 훈련전과 후의 유의차이를 보였고 두 그룹간 무게중심 이동면적의 변

Table 1. General characteristics of subjects (n = 31)

	RGVR group (n = 16)	Control group (n = 15)	$t/x^2$	p
Age (years)	49.06 ± 11.52 <sup>a</sup>	51.87 ± 12.75	-.643	.527 <sup>a</sup>
Height (cm)	166.15 ± 7.49	166.85 ± 5.54	-.299	.768 <sup>a</sup>
Weight (kg)	69.17 ± 11.94	70.62 ± 11.64	-.342	.734 <sup>a</sup>
Post-stroke duration (month)	10.31 ± 1.30	10.53 ± 1.77	-.394	.697 <sup>a</sup>
K-MMSE (score)	27.50 ± 1.75	27.13 ± 1.46	.635	.530 <sup>a</sup>
Gender (Male/ Female)	9/7	8/7	.027	.870 <sup>b</sup>
Affected side (Right/ Left)	10/6	7/8	.784	.376 <sup>b</sup>
Stroke type (ischemic/hemorrhage)	8/8	8/7	.034	.850 <sup>b</sup>

K-MMSE, Korean version of Mini-Mental Status Examination; Values are expressed as mean ± standard deviation (SD); <sup>a</sup>Independent t-test. <sup>b</sup>Chi-square test. RGVR group; robot assist gait combined virtual reality training group.

화량을 비교한 결과 RGVR군이 Control군 보다 유의한 차이를 보였다( $p > .05$ ) (Table 2).

REOAS의 변화량에서 두 그룹 모두 훈련전과 후의 유의차이를 보였고 두 그룹간 무게중심 이동속도의 변화량을 비교한 결과 RGVR군이 Control군 보다 유의한 차이를 보였다( $p > .05$ ) (Table 2).

LOS의 변화량에서 두 그룹 모두 훈련전과 후의 유의차이를 보였고 두 그룹간 무게중심 이동속도의 변화량을 비교한 결과 RGVR군이 Control군 보다 유의한 차이를 보였다( $p > .05$ ) (Table 2).

### 3. 중재 전·후 버그균형척도 검사의 변화

BBS에서 두 그룹 모두 훈련전과 후의 유의차이를 보였고, 두 그룹간 BBS의 변화량을 비교한 결과 RGVR군이 Control군 보다 유의한 차이를 보였다( $p > .05$ ) (Table 2).

### 4. 중재 전·후 일어나 걸어가기 검사의 변화

TUG에서 두 그룹 모두 훈련전과 후의 유의차이를 보였고 두 그룹간 TUG의 변화량을 비교한 결과 RGVR군이 Control군 보다 유의한 차이를 보였다( $p > .05$ ) (Table 2).

### 5. 중재 전·후 보행능력의 변화

보행능력의 변수에서 두 그룹 모두 훈련전과 후의 유의차이를 보였다. ASL의 변화량을 비교한 결과, RGVR군이 Control군 보다 유의한 차이를 보였다. ASS의 변화량을 비교한 결과, RGVR군이 Control군 보다 유의한 차이를 보였다. GV의 변화량을 비교한 결과, RGVR군이 Control군 보다 유의한 차이를 보였다. Candace의 변화량을 비교한 결과, RGVR군이 Control군 보다 유의한 차이를 보였다. 10MWT의 변화량을 비교한 결과, RGVR군이 Control군 보다 유의한 차이를 보였다( $p > .05$ ) (Table 3).

Table 2. Comparison of the balance ability between the two groups (n = 31)

		RGVR group (n = 16)	Control group (n = 15)	t	p
REOSA (mm <sup>2</sup> )	pre	135.56 ± 28.04	136.87 ± 26.22	-.134	.894
	post	109.25 ± 19.20	119.13 ± 22.57		
	change	-26.31 ± 14.66*	-17.73 ± 6.61 <sup>†</sup>	-2.121	.046*
REOAS (cm/s)	pre	1.02 ± .29	1.04 ± .27	-.221	.827
	post	.86 ± .20	.97 ± .24		
	change	-.17 ± .12*	-.07 ± .06 <sup>†</sup>	-2.679	.014*
LOS (m <sup>2</sup> )	pre	4099.11 ± 1048.06	3943.95 ± 1209.94	.382	.705
	post	4494.44 ± 1114.82	4150.99 ± 1163.34		
	change	395.33 ± 324.23*	207.05 ± 130.13 <sup>†</sup>	.095	.045*
BBS (score)	pre	44.69 ± 2.77	44.20 ± 2.70	.495	.624
	post	49.38 ± 1.59	46.46 ± 2.61		
	change	4.69 ± 2.06*	2.27 ± 1.62 <sup>†</sup>	3.649	.001**
TUG (sec)	pre	16.87 ± 2.30	16.11 ± 2.50	.890	.381
	post	13.04 ± 2.10	14.59 ± 2.53		
	change	-3.84 ± 1.26*	-1.52 ± .76*	-6.242	.000

REOSA: Romberg's eye open surface area. REOAS: Romberg's eye open average speed. LOS: limited of stability. BBS: berg balance scale. TUG: timed up-and-go test. <sup>†</sup>Significant differences between pre and post test ( $p < .05$ ). RGVR group; robot assist gait combined virtual reality training group.

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$

Table 3. Comparison of the gait ability between the two groups (n = 31)

		RGVR group (n = 16)	Control group (n = 15)	t	p
ASL (cm)	pre	38.83 ± 6.85	37.10 ± 8.79	.614	.544
	post	44.23 ± 6.55	40.34 ± 9.95		
	change	5.39 ± 2.83*	3.24 ± 2.75 <sup>†</sup>	2.147	.040*
ASS (%)	pre	21.78 ± 2.78	21.19 ± 2.59	.617	.542
	post	26.89 ± 2.05	24.22 ± 2.07		
	change	5.11 ± 2.69*	3.04 ± 1.97 <sup>†</sup>	2.455	.021*
GV (cm/s)	pre	42.09 ± 10.04	41.89 ± 8.59	.061	.951
	post	48.31 ± 9.98	44.56 ± 7.71		
	change	6.09 ± 4.46*	2.67 ± 4.66 <sup>†</sup>	2.083	.046*
Cadence (%)	pre	.70 ± .12	.67 ± .14	.435	.667
	post	.79 ± .11	.72 ± .11		
	change	.10 ± .07*	.05 ± .06 <sup>†</sup>	2.217	.035*
10MWT (m/s)	pre	.77 ± .21	.76 ± .21	.081	.936
	post	.95 ± .24	.85 ± .18		
	change	.18 ± .08*	.09 ± .06 <sup>†</sup>	3.344	.002*

ASL: affected step length. ASS: affected single support. GV: gait velocity. 10MWT: 10 meter walking test. <sup>†</sup>Significant differences between pre and post test ( $p < .05$ ). RGVR group; robot assist gait combined virtual reality training group.

\* $p < .05$

#### IV. 고찰

본 연구에서 가상현실훈련과 로봇보행훈련이 만성 뇌졸중 환자의 균형과 보행능력에 미치는 영향을 알아 보았으며, 31명의 만성 뇌졸중 환자를 가상현실을 접목한 로봇보행훈련군과 보존적물리치료 군으로 나누어 균형과 보행능력의 군내와 군간 변화를 비교하기 위해 측정하였다.

본 연구에서는 가상현실을 접목한 로봇보행훈련을 통해 뇌졸중 환자들이 보이는 비대칭적인 자세 조절능력을 향상시키려고 하였다. 가상현실을 접목한 로봇보행훈련을 시행한 전·후 균형능력을 비교하기 위하여 압력중심점(COP), 안정성한계(LOS), 버그균형척도(BBS), 일어나걸어가기 검사(TUG)를 이용하여 균형능력의 변화를 측정하였다. 발은 발바닥 압력 분산, 신체 지지, 충격흡수, 선 자세 유지를 위한 조절 등 기능을 하며, 인체의 수용기는 자세 조절에 중요한 역할을 수

행하고, 중추신경계는 발로부터 오는 정보를 받아들이는 오름신경로를 이용하게 된다[21].

본 연구의 가상현실을 접목한 로봇보행훈련의 균형의 변화에서 두 군 모두에서 증진이 나타났으며, 군간 비교 시 RGVR군이 대조군 보다 유의한 향상이 나타났다. 이것은 Srivastava 등[22]의 12명의 뇌졸중 환자를 대상으로 시각적 정보를 제공하는 로봇보행훈련과 체중 지지 트레드밀 훈련을 시행하여 시각적 피드백을 제공한 로봇보행훈련군의 균형능력에 유의한 차이가 있었다고 보고한 연구와 일치한다. 또한 Llorens 등[23]의 만성 뇌졸중 환자 30명을 대상으로 가상현실 스테핑 훈련이 버그균형척도 점수의 통계학적으로 유의한 차이를 보인 논문과 일치한다. 가상현실훈련의 Kiper 등[24]의 연구에서는 여러 감각(multi-sensory) 입력의 경험을 통해 감각통합(sensory integration)의 효과가 있었다고 하였다. 이러한 연구들은 가상현실훈련이 감각향상에 영향을 준다는 것을 지지하고, 본 연구의 로봇

보행훈련의 반복된 움직임과 가상현실 훈련이 균형과 관련한 감각 향상으로 균형능력의 증진을 이끌어 내었다고 생각된다.

본 연구에서는 가상현실을 접목한 로봇보행훈련을 통해 뇌졸중 환자의 보행능력 증진을 유도하려 하였다. 가상현실을 접목한 로봇보행훈련 전·후 보행능력을 비교하기 위해 보행 측정 장비(OptoGait), 10 m보행검사(10MWT)를 이용하여 보행능력을 측정하였다. 로봇 재활의 잠재적인 효과 중 가상현실을 접목한 로봇 보행훈련은 강한 동기부여 및 적응성을 증진시켰으며[22], 건측 제한 운동치료, 거울치료, 기능적전기자극 등은 치료환경이 단조롭고 참여도가 떨어지는 단점이 있지만 [23,24], 가상현실 훈련은 현실과 비슷하거나 증가된 현실감제공, 다양한 감각 피드백, 능력에 따른 가상현실 환경변경, 과제수행에 대한 집중력 및 흥미 제공 등의 운동학습을 촉진시킬 수 있는 환경의 제공이 가능하다고 하였다[28,29]. 따라서 가상현실을 접목한 로봇 보행훈련은 보행이 어려운 뇌졸중 환자에게 연습을 위한 하나의 과제지향적 접근법[27]으로 유용한 접근법이 될 수 있을 것으로 생각된다.

Walker 등[31]의 연구에서는 7명의 뇌졸중 환자를 대상으로 가상현실환경과 체중지지트레드밀을 병행하여 적용할 때 기능적 보행이 훈련 전 보다 훈련 이후 30% 증진되었다는 보고를 통해 본 연구와 유사한 결과를 확인할 수 있었다. 로봇재활에서는 뇌졸중 환자의 다리 제한 로봇보행훈련이 특히, 먼쪽 관절에서의 운동학적 변화를 유도[29] 및 발목관절의 가동범위가 더욱 크게 증가하였다[33]. 이는 본 연구의 가상현실과 로봇 보행훈련의 보행능력에서 두 군 모두 증진이 나타났으며, 군 간 비교에서 RGVR군이 대조군 보다 유의한 차이를 보였다. 본 연구에서도 선행연구와 동일하게 반복적인 로봇보행훈련을 적용한 결과 신체의 근력과 조절능력의 향상이 먼 쪽 관절의 운동학적 변화를 준 것으로 사료되며, 대상자의 일상생활과 연관한 시각적 정보를 통해 대상자들의 흥미 유발 및 강한 집중력으로 치료효과를 상승시켜 실험 전 보다 실험 후 높은 점수를 획득하였을 것으로 유추할 수 있다.

본 연구의 제한점은 선정기준을 통해 가상현실을

접목한 로봇보행훈련을 실시하여 모든 만성 뇌졸중 환자에게 일반화하여 해석하는 것에 어려운 점이 있다. 또한 보행과 관련한 가상현실 과제의 다양성이 부족하고 외부 요인이 대상자의 균형과 보행기능에 미치는 영향을 배제할 수 없었다. 그리고 추적검사를 실시하지 않아 가상현실을 접목한 로봇보행훈련 효과의 기간이 지속되었는지 알 수 없었다. 앞으로는 대상자의 기능에 따른 로봇보조의 차이, 가상현실 접근 방식 등의 다양성 등을 고려하여 후속연구가 진행되어야 할 것이다.

## V. 결론

본 연구에서는 만성 뇌졸중 환자의 균형과 보행능력에 미치는 효과에 대해 알아보기 위해 가상현실을 접목한 로봇보행훈련을 실시하였으며, 만성 뇌졸중 환자의 균형과 보행에 긍정적 영향을 확인하였다. 만성 뇌졸중 환자에게 균형과 보행능력의 개선은 일상생활활동에 중요한 요소이다. 본 연구를 통해 가상현실을 접목한 로봇보행훈련이 대조군에 비해 균형과 보행능력에 더욱 효과적일 것으로 사료되며 뇌졸중 환자의 기능 개선의 중재방법으로 사용될 수 있을 것이다.

## Acknowledgements

This work was supported by a National Research Foundation Korea (NRF) grant funded by the Korean government (MSIT) (NRF-2022R1G1A1012388).

## References

- [1] American Stroke Association. Understand stroke, What is stroke. 2017; <https://www.stroke.org/en/about-stroke>.
- [2] Sin SY, Jang WH, Kim DY et al. The Long-term survival and recurrence rate of stroke patients in Korea: The multicenter prospective cohort study. Public Health Weekly Report. 2022;15(43):2719-33.



- [3] Bang DH, Cho HS. Effect of body awareness training on balance and walking ability in chronic stroke patients: A randomized controlled trial. *J Phys Ther Sci.* 2016; 28(1):198-201.
- [4] Hidler J, Nichols D, Pelliccio M, et al. Advances in the understanding and treatment of stroke impairment using robotic devices. *Topics in Stroke Rehabilitation.* 2005;12(2):22-35.
- [5] Jung JH, Lee NG, You JH, et al. Validity and feasibility of intelligent walkbot system. *Electronics Letters.* 2009;45(20):1016-7.
- [6] Schwartz I, Sajin A, Fisher I, et al. The effectiveness of locomotor therapy using robotic-assisted gait training in subacute stroke patients: A randomized controlled trial. *PM & R.* 2009;1(6):516-23.
- [7] Hornby TG, Campbell DD, Kahn JH, et al. Enhanced gait-related improvements after therapist-versus robotic-assisted locomotor training in subjects with chronic stroke a randomized controlled study. *Stroke.* 2008;39(6): 1786-92.
- [8] Lloréns R, Gil-Gómez JA, Alcañiz M, et al. Improvement in balance using a virtual reality-based stepping exercise: A randomized controlled trial involving individuals with chronic stroke. *Clin Rehabil.* 2015;29(3):261-8.
- [9] Flynn S, Palma P, Bender A. Feasibility of using the Sony PlayStation2 gaming platform for an individual poststroke: a case report. *J Neurol Phys Ther.* 2007; 31(4):180-9.
- [10] Husemann B, Müller F, Krewer C, et al. Effects of locomotion training with assistance of a robot-driven gait orthosis in hemiparetic patients after stroke: A randomized controlled pilot study. *Stroke.* 2007;38(2): 349-54.
- [11] Kim SY, Yang L, Park IJ, et al. Effects of innovative WALKBOT robotic-assisted locomotor training on balance and gait recovery in hemiparetic stroke: a prospective, randomized, experimenter blinded case control study with a four-week follow-up. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2015;23(4):636-42.
- [12] Skjæret-Maroni N, Vonstad EK, Ihlen EA, et al. Exergaming in older adults: movement characteristics while playing stepping games. *Front Psychol.* 2016; 24:964.
- [13] Berg K, Wood-Dauphinee S, Williams JL, et al. Measuring balance in the elderly: Preliminary development of an instrument. *Physiother Can.* 1989;41(6):304-11.
- [14] Latash ML, Ferreira SS, Wiczczonek SA, et al. Movement sway: Changes in postural sway during voluntary shifts of the center of pressure. *Exp Brain Res.* 2003;150(3): 314-24.
- [15] Verheyden G, Vereeck L, Truijen S, et al. Trunk performance after stroke and the relationship with balance, gait and functional ability. *Clin Rehabil.* 2006;20:451-8.
- [16] Steffen TM, Hacker TA, Mollinger L. Age-and gender-related test performance in community-dwelling elderly people: six-minute walk test, berg balance scale, timed up & go test, and gait speeds. *Phys Ther.* 2002;82(2):128-37.
- [17] Chan WL, Pin TW. Reliability, validity and minimal detectable change of 2-minute walk test, 6-minute walk test and 10-meter walk test in frail older adults with dementia. *Exp Gerontol.* 2019;115:9-18.
- [18] Lee HY, Park JH, Kim TW. Comparisons between locomat and walkbot robotic gait training regarding balance and lower extremity function among non- ambulatory chronic acquired brain injury survivors. *Medicine.* 2021;100(18): e25125.
- [19] Dean CM, Richards CL, Malouin F. Task-related circuit training improves performance of locomotor tasks in chronic stroke: a randomized, controlled pilot trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 2000;81(4):409-17.
- [20] Hong SK, Lee GC. Effects of an immersive virtual reality environment on muscle strength, proprioception, balance, and gait of a middle-aged woman who had total knee replacement: A case report. *Am J Case Rep.* 2019;20: 1636-42.

- [21] Christovão TCL, Neto HP, Grecco LAC, et al. Effect of different insoles on postural balance: a systematic review. *J Phys Ther Sci.* 2013;25(10):1353-6.
- [22] Srivastava S, Kao PC, Reisman DS, et al. Robotic assist-as-needed as an alternative to therapist-assisted gait rehabilitation. *Int J Phys Med Rehabil.* 2016;4(5): 370.
- [23] Lloréns R, Noé E, Colomer C, et al. Effectiveness, usability, and cost-benefit of a virtual reality-based telerehabilitation program for balance recovery after stroke: A randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 2015;96(3): 418-25.
- [24] Kiper P, Turolla A, Piron L, et al. Virtual reality for stroke rehabilitation: assessment, training and the effect of virtual therapy. *Med Rehabil.* 2010;14:23-32.
- [25] Morone G, Bragoni M, Iosa M, et al. Who may benefit from robotic-assisted gait training? A randomized clinical trial in patients with subacute stroke. *Neurorehabil Neural Repair.* 2011;25(7):636-44.
- [26] Crosbie JH, Lennon S, Basford JR, et al. Virtual reality in stroke rehabilitation: still more virtual than real. *Disabil Rehabil.* 2017;29(14):1139-46.
- [27] Levanon Y. The advantages and disadvantages of using high technology in hand rehabilitation. *J Hand Ther.* 2013;26(2):179-83.
- [28] Lucca LF. Virtual reality and motor rehabilitation of the upper limb after stroke: a generation of progress?. *J Rehabil Med.* 2009;41(12):1003-6.
- [29] Saposnik G, Levin M, Stroke Outcome Research Canada (SORCan) Working Group. Virtual reality in stroke rehabilitation: a meta-analysis and implications for clinicians. *Stroke.* 2011;42(5):1380-6.
- [30] Kim JJ, Gu S, Lee JJ, et al. The effects of virtual reality-based continuous slow exercise on factors for falls in the elderly. *J Korean Phys Ther.* 2012;24(2):90-7.
- [31] Walker ML, Ringleb SI, Maihafer GC, et al. Virtual reality-enhanced partial body weight-supported treadmill training poststroke: feasibility and effectiveness in 6 subjects. *Arch Phys Med Rehabil.* 2010;91(1):115-22.
- [32] Bonnyaud C, Zory R, Boudarham J, et al. Effect of a robotic restraint gait training versus robotic conventional gait training on gait parameters in stroke patients. *Exp Brain Res.* 2014;232(1):31-42.
- [33] Hidler J, Wisman W, Neckel N. Kinematic trajectories while walking within the Lokomat robotic gait-orthosis. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2008;23(10):1251-9.