가상현실을 이용한 재활 운동이 뇌졸중 환자의 정적 균형 및 보행에 미치는 효과

The Journal Korean Society of Physical Therapy

■신원섭, 송창호[1]
■삼육대학교 대학원 물리치료학과, [1]삼육대학교 물리치료학과

Effects of Virtual Reality-based Exercise on Static Balance and Gait Abilities in Chronic Stroke

Won-Seob Shin, PT, PhD; Chang-Ho Song, PT, PhD[1]

Department of Physical Therapy, Graduate School of Sahmyook University; [1]Department of Physical Therapy, Sahmyook University

Purpose: This study examined the effects of a virtual reality-based exercise program on the functional recovery of balance and gait in chronic stroke subjects.

Methods: A total of 42 chronic stroke patients were enrolled in this study. The participants were allocated randomly to 2 groups: a VR (n=22) and control group (n=20). Both groups received treadmill training for 3 sessions (10 minutes each), 30 minutes per week over a 6 week period. The VR group practiced additional virtual reality programs consisting of 3 programs for 10 minutes each. The data was analyzed using a paired t-test and independent t-test to determine the statistical significance.

Results: The virtual reality-based exercise group showed significant increases in gait velocity, cadence and stride length compared to the control group ($p<0.05$). However, there were no significant differences in static balance.

Conclusion: These results support the perceived benefits of exercise programs that incorporate virtual reality to augment the balance and ambulation of stroke patients. Therefore, virtual reality is feasible and suitable for stroke patients

Keywords: Balance, Gait, Virtual reality, Stroke

논문접수일: 2009년 7월 27일
수정접수일: 2009년 9년 7일
게재승인일: 2009년 9년 11일
교신저자: 송창호, chsong@syu.ac.kr

I. 서론

뇌혈관의 폐쇄 또는 파열로 발생하는 뇌졸중은 우리나라 인구 10만 명당 사망자수가 61.4명으로 악성신생물에 이어 두 번째로 사망률이 높고 단일질환 사망률은 1위로 보고 되었다.[1] 뇌졸중 발병 후 환자의 40%에서 기능적 손상이 남게 되고, 15-30%에서는 심각한 정도의 장애가 지속된다.[2] 이러한 지속적인 장애의 문제로 뇌졸중 환자의 대부분이 우울증과 대인관계, 사회생활에 문제를 겪으며 전반적인 삶의 질이 감소를 느끼고 살아가고 있다.[3]

뇌졸중 환자들은 한쪽 사지의 마비로 인해 건측에 체중의 61~80%가 편중된다.[4] 이로 인해 신체활동시 압력 중심점(center of pressure)이 건측으로 편중되어 자세 동요(postural sway)가 증가하게 된다.[5] 균형의 불안정으로 인해 뇌졸중 환자의 보행 패턴은 환측의 체중지지 시간이 짧아지고 유각기가 길어졌고, 환측과 건측의 보폭길이의 차이가 발생하여 전체적으로 보행의 주기와 보행속도가 느려졌다.[6,7] 이러한 뇌졸중으로 인한 균형과 보행의 문제를 해결하기 위하여 신경계 촉진을 위한 치료의 개념들로써 비정상적인 패턴을 억제하는 보바스 컨셉의 신경발달치료(neurodevelopmental therapy)와 나선과 사선의 운동방식

(spiral and diagonal movement pattern)을 사용하는 고유수용성 신경근 촉진법(proprioceptive neuromuscular facilitation)과 공동운동(synergistic movement)을 사용하는 브룬스트롬 접근법(Brunnstrum approach), 시스템이론을 기반으로 한 운동재교육(motor relearning program)들과 같은 다양한 신경 촉진 기법들이 있다.[8] 아직까지 치료간의 비교에서는 어떠한 치료법도 확실한 우위의 성과를 보이지 못하고 있고 효과적인 치료를 위한 다각적인 방법들이 연구되고 있다.[9,10]

근래에 컴퓨터 프로그램의 발달과 더불어 환자 개인의 목적에 맞는 다양한 형태의 과제를 가상의 환경에서 수행하여 치료의 흥미와 참여도를 높이고 유의한 기능의 향상을 보인 새로운 재활 운동방법이 소개되었다.[11,12] 가상현실이란 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어를 통하여 사용자에게 실제와 비슷한 경험하도록 만든 대화형 시뮬레이션을 말한다.[13] 사용자는 가상현실에서 물체를 옮기고, 조작하고, 정해진 과제를 수행하며 실제적인 듯이 반응하게 된다.[14] 가상현실 참여자는 게임형식으로 표현되는 특정한 과제 수행 시 나타나는 시각적, 청각적 되먹임을 제공받고 그로 인해 효과적으로 움직임을 조절할 수 있게 된다.[12] 또한 뇌를 자극하여 운동학습이 유발되고 뇌활성의 양상이 변화하여 뇌 재조직화가 유발되어 효과를 일으킨다.[15] 외국에서는 치료사들이 병원에서 뿐만 아니라 가정에서도 재활 운동을 시킬 수 있는 원격재활치료(telerehabilitation)의 방법이 시도되고 있으며 그 중 가상현실을 이용한 재활 운동 프로그램이 연구되고 있고 그 효과를 나타내고 있다.[16,17] 가상현실을 재활에 이용한 선행의 연구들에서 뇌성마비 아동의 수의적 조절 능력과 협응 능력을 증가시켰으며,[18] 파킨슨씨 병을 가진 환자들에게 적용하여 무운동증의 감소 효과를 보였다.[19] 또한 뇌졸중 환자를 대상으로 재활 운동에 적용하여 상지의 기능 향상을 보였다.[20] 우리나라에서도 뇌졸중 환자의 재활을 위한 게임형식의 가상현실 프로그램에 관심이 높아지고 있고,[21,22] 치료를 위한 중재방법으로 적용한 연구들이 발표되고 있다.[23-25] Park[25]은 뇌졸중 환자를 대상으로 가상현실 프로그램을 사용하여 상지의 기능 향상을 연구하였으며, Kim과 Kwon[23]도 상지의 향상과 뇌의 재조직화에 효과가 있음을 보고 하였다. Kim[24]은 IREX라는 가상현실 장비를 이용하여 뇌졸중 환자의 균형 및 보행에 효과가 있음을 밝혔다. 하지만 IREX는 장비가 고가의 장비로써 보편적으로 활용되기 어려운 단점을 가진다.[12]

따라서 본 연구에서는 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 쉽게 접하고 다룰 수 있는 가상현실 장비를 사용하여 균형과 보행능력에 미치는 효과를 알아보고자 한다. 이를 통해 만성 뇌졸중 환자들의 운동 영역을 넓혀 줌으로서 삶의 질을 향상시키고 여가생활의 즐거움으로 연결될 수 있는 유용한 재활의 방법을 제시하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상자는 뇌졸중으로 유병기간이 6개월 이상인 자, 인지기능평가(MMSE-K) 점수가 21점 이상인 자, 브룬스트롬의 운동회복 단계가 4단계 이상인 자, 독립적으로 10분 이상 보행이 가능한 자, 균형에 영향을 주는 약물 등을 복용하지 않는 자, 시각적 장애 및 시야 결손이 없는 자, 하지에 정형외과적 다른 질환이 없는 자로 54명이 선정되었다. 모든 대상자들은 연구의 목적과 방법에 대한 내용을 충분히 설명 받고 동의서에 서명한 후 실험에 참여하였다. 선정기준에 의해 선별된 54명을 무작위로 두 그룹으로 나누어 가상현실군과 대조군에 각 27명씩 배치하였다.

연구 진행 중 자발적 탈락자가 발생하였고 재활 운동만의 효과를 판별하기 위하여 환자의 의학적 상태 변화로 인해 프로그램에 참여할 수 없거나 다른 치료를 병행하는 자, 프로그램 참여율이 80% 미만인 대상자는 최종 연구 대상에서 제외하였다. 최종적으로 가상현실군은 5명이 탈락하여 22명이 실험에 참여하였고, 대조군은 7명이 탈락하여 20명이 실험에 참여하였다.

2. 연구 방법

재활 운동프로그램은 6주간 실시하였고 전과 후에 정적 균형과 보행능력을 평가하였다. 운동 방법은 가상현실군과 대조군 모두 하루에 30분씩 주당 3회를 트레드밀을 이용하여 준비운동을 실시한 후 가상현실군에서는 가상현실 프로그램을 30분 추가하여 시행하였다.

1) 준비 운동

본 연구에서는 가상현실군과 대조군에 모두 준비운동으로 트레드밀(Health Trac S990 AIRFLEX SYSTEM, Gymtech, 한국)을 이용하였다. 운동의 속도와 강도는 환자가 걷기 편안한 정도로 실시하였고 휴식의 양과 간격도 환자가 쉬고 싶은 만큼 자유롭게 하였다.[26] 운동은 30분씩 주당 3회를 6주간 실시하였다.

2) 가상현실 재활 운동

가상현실을 이용한 재활 운동을 위한 장비로 Playstation 2(PS2 model number SCPH-75001, Sony, 일본), Eyetoy: Play 1, 2, 3(Sony, Park Ridge, 미국) 프로그램, USB 연결 형식의 카메라(OmniVison OV519 Video Device, Logitech, 미국), 일반 텔레비전을 이용하였다.[12,27] 카메라로 촬영되는 움직임의 영상이 가상현실 프로그램의 화면과 함께 표현되는 비디오 캡쳐 시스템(video capture system)을 기반으로 한 방식으로 사용자

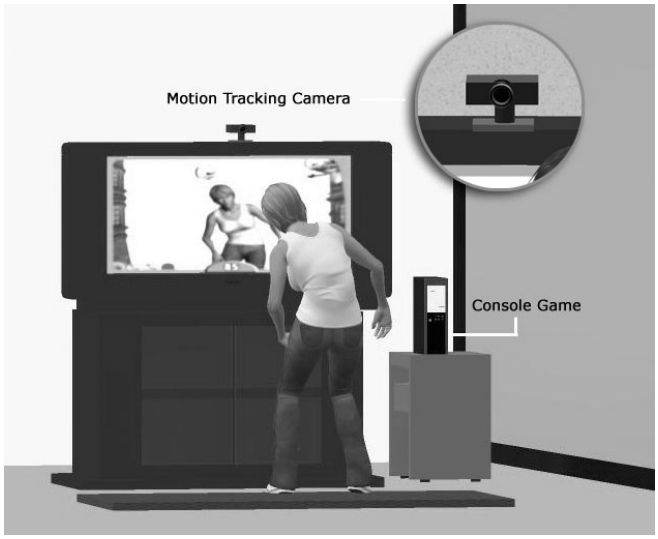

Figure 1. Virtual reality system

가 카메라 앞에서 몸을 움직이면 모니터를 통해 가상현실 환경과 자신의 움직임을 실시간으로 볼 수 있다(Figure 1). Eyetoy: Play 1, 2, 3는 재활치료의 용도로 만들어진 게임은 아니지만 자신의 몸을 움직여 과제를 진행한다는 점에서 재활의 효과를 기대할 수 있고 외국의 선행연구에서도 활용되었다.[12,27] 미니 프로그램으로 구성되어 있기 때문에 반복적인 운동이 가능하며 진행하는 동안 음악요소와 적절한 청각적 효과가 제공된다. 또한 다른 사람과 같은 과제를 동시에 시행 할 수 있어 협동심과 재활 의욕을 높일 수 있다.[21] 본 연구에서는 Eyetoy용 카메라를 모니터 위에 설치하였고 환자들은 모니터 앞에서 약 2-2.5m 떨어져 선 자세로 실험에 참여했다. 대상자들은 각 프로그램 별로 주어진 과제를 자신의 몸을 움직여서 수행하였다. 가상현실을 위한 프로그램의 적용에서 게임의 동작 구성과 과제의 난이도에 따라 환자가 수행하지 못하는 게임은 제외하였고 균형을 유지하며 안전하게 수행할 수 있는 게임들로 구성하였다. 헤딩왕은 축구공을 머리를 이용해 바닥에 떨어뜨리지 않고 유지하는 과제이다. 체간의 굴곡, 신전운동이 발생하고 공의 낙하지점에 따라 좌우로 움직여야 하므로 체중의 이동과 균형 조절 능력이 필요하다. 또한 추가 점수를 위하여 아이템의 특성을 파악해야 하고 감점요인을 피하기 위해 공의 방향을 조절해야 하므로 인지과제가 추가된 이중과제(dual task) 운동이 된다. KO복싱은 링위에서 복싱경기를 하는 과제이다. 기본적인 복싱 기술은 손을 뻗는 동작으로 환자의 상지 기능 운동이 되고 상대의 공격을 좌우방향과 숙여서 피해야 하므로 양쪽 체중 지지 운동과 함께 무게의 이동에 대한 균형 운동이 된다. 볼링은 온 몸으로 볼링공을 굴려 10개의 핀을 모두 쓰러뜨리는 과제이다. 남은 핀의 위치에 따라 사용자의 체간의 움직임과 균형 조절에 대한 정확성이 요구된다. 견관절의 굴곡과 신전운동이 일어나고 건측과 환측하지의 체중지지 운동이 된다. 남은 핀 처리를 위해 집중력과 동작의 정확성이 필요하다. 위의 3가지 프로그램을 각각 10분씩 적용하여 총 30분간 시행하였다.

3. 평가 방법

1) 정적 균형 측정

힘판(PDM multifunction Forcemeasuring Plate, Zebris, 독일)을 사용하여 환자의 정적 균형 능력을 평가하였다. 32×47 cm의 판에 1cm^2 당 1개씩 총 1,504개의 압력센서(force sensor)가 선 자세나 보행 시 발의 정적, 동적인 압력을 측정한다. 모든 센서는 각각 독립적으로 측정 된다. 이 PDM 시스템은 힘을 여러 가지로 측정할 수 있는 힘판과 Zebris사의 동작분석시스템으로 구성되어 있다. 측정압력의 범위는 1~120N/cm^{2}이고 정적 표본압력 추출속도는 2~5Hz, 동적 표본압력 추출속도는 약 90 Hz이고 측정의 오차범위는 ±5%이다.

대상자는 맨발로 힘판 위에 올라가 가장 편안한 위치에 발을 두고 눈을 뜬 상태로 서도록 하였으며, 발의 위치를 확인해 두어 재평가시 동일한 위치에 발을 놓도록 하였다. 팔은 편안하게 내린 자세를 유지하도록 하였다. 측정에 집중할 수 있도록 귀마개를 사용하여 귀를 막은 상태로 30초 동안 측정하였다.[28]

자료의 수집은 3회 반복 측정하며 측정간 3분간의 휴식을 주어 근피로에 대한 영향을 최소화하였다.

2) 보행 측정

보행 지표의 분석을 위하여 BTS Elite (BTS Bioengineering, 이탈리아)를 사용하였다(Figure 2). 하지의 동작 분석을 위해 15개의 직경 2.5cm의 표식자(marker)를 대상자의 골반 및 하지에 부착하였다. 부착 부위로는 천골 표식자는 좌우 상후장골극(PSIS)을 연결한 선의 중간점, 양측 골반 표식자는 좌우 전상장골극(ASIS), 양측 대퇴 표식자는 대퇴의 아래 1/3의 외측부위, 양측 슬관절 표식자는 슬관절 굴곡의 축으로 슬관절의 앞뒤

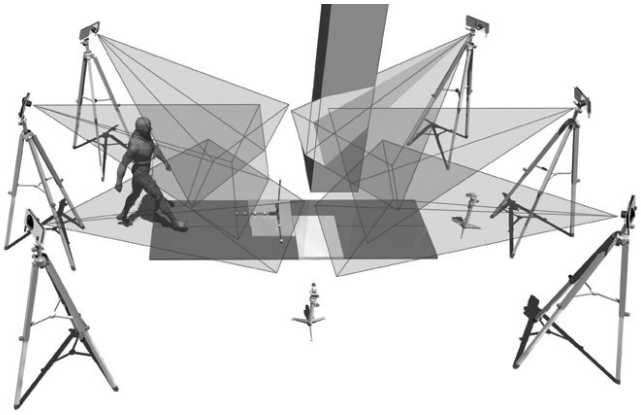

Figure 2. Gait analysis system

를 연결하는 선상의 중간점인 슬관절의 외측부위, 양측 경골 표식자는 경골의 아래 1/3의 외측부위, 양측 족관절 표식자는 경골의 외측과 부위, 양측 전족부 표식자는 제2중족골두(metatarsal bone head)의 윗면, 양측 종골 표식자는 전족부 표식자와 연결되는 발뒤꿈치 부위로 하였다. 측정 방법은 15개의 표식자를 붙인 대상자가 자연스러운 보행 속도로 6m를 걷는 동안 6대의 적외선 카메라로 보행 과정을 촬영하였다. 모든 데이터를 BTS Biomech Analyzer를 이용하여 시, 공간적 보행 지표를 분석하였다.

4. 자료분석

본 연구의 모든 통계적 분석은 SPSS 15.0을 이용하였다. Shapiro-Wilk 검정방법을 통해 변수들의 정규성 검정을 하였고, 결과 모든 변수가 정규분포 하였다. 그룹 내 재활 운동에 따른 종속변수의 전후 비교를 위하여 대응표본 t 검정을 실시하였다. 그룹 간 운동방법에 따른 종속변수의 차이를 비교하기 위하여 독립표본 t 검정을 실시하였다. 모든 통계적 유의수준(α)은 0.05 이하로 하였다.

III. 결과

1. 연구대상자의 특성

대상자는 가상현실군 22명과 대조군 20명으로 총 42명이 본 연구에 참여하였다. 성별, 연령, 신장, 체중의 일반적 특성과 뇌졸중 유형, 마비부위, 발병기간, 인지능력의 의학적 특성을 평가한 결과 두 그룹에 유의한 차이가 없었다(Table 1).

Table 1. Characteristics of study participants and tests of homogeneity

	VR group (n=22)	Control group (n=20)	χ^2/t
Gender			
Male	14	13	0.01
Female	8	7	
Age (year)	60.75±7.53	61.90±11.26	-0.31
Height (cm)	160.50±8.59	163.80±8.01	-0.98
Weight (kg)	66.26±7.79	67.04±5.96	-0.27
Stroke type			
Infarction	16	12	0.76
Hemorrhage	6	8	
Hemiplegic side			
Left	12	11	0.00
Right	10	9	
Duration (month)	70.13±49.15	74.20±37.93	-0.22
MMSE-K (point)	24.81±3.33	23.00±4.76	1.14

2. 실험방법에 따른 정적 균형의 변화

집단별 실험 전후의 자세동요 거리와 속도의 변화는 다음과 같다(Table 2).

전후 자세동요 거리와 좌우 자세동요의 거리 및 총 자세동요 거리의 측정 결과 실험 후 가상현실군에서 동요거리의 감소가 있었지만 통계적으로 유의하지 않았고 대조군에서도 유의하지 않은 결과를 보였다. 전후 자세동요 속도와 좌우 자세동요 속도 및 총 자세동요 속도의 측정 결과에서도 실험 후 가상현실군에서 동요속도의 감소가 있었지만 통계적으로 유의하지 않았으며 대조군에서도 유의하지 않은 결과를 보였다.

Table 2. Changes of static balance abilities with eye opened

			VR group (n=22)	Control group (n=20)	t
Sway path (cm)	AP	pre	37.36±15.63	36.84±9.31	0.09
		post	36.14±12.52	37.04±8.26	-0.18
		change	-1.22±5.86	0.20±0.62	-0.67
		t	0.84	-0.35	
	ML	pre	34.29±8.96	31.67±3.96	0.78
		post	33.08±8.08	31.75±4.20	0.44
		change	-1.21±5.98	0.08±0.75	-0.59
		t	0.81	-0.12	
	TS	pre	56.17±18.14	52.45±7.75	0.55
		post	54.39±15.10	54.10±6.90	0.05
		change	-1.78±8.71	1.65±3.75	-1.06
		t	0.82	-1.25	
Sway velocity (cm/s)	AP	pre	1.28±0.53	1.30±0.26	-0.09
		post	1.25±0.44	1.27±0.28	-0.11
		change	-0.03±0.23	-0.03±0.07	-0.00
		t	0.48	1.04	
	ML	pre	1.18±0.31	1.09±0.14	0.77
		post	1.15±0.30	1.08±0.14	0.55
		change	-0.03±0.24	-0.00±0.05	-0.31
		t	0.51	0.20	
	TS	pre	1.92±0.62	1.79±0.25	0.58
		post	1.88±0.55	1.85±0.24	0.13
		change	-0.04±0.35	0.06±0.15	-0.82
		t	0.51	-1.19	

AP: Anterioposterior sway, ML: Mediolateral sway, TS: Total sway, *p<0.05

3. 실험방법에 따른 보행의 변화

집단별 실험 전후의 시간적 보행 지표의 변화는 다음과 같다(Table 3).

보행속도의 변화는 가상현실군에서 실험 후 통계적으로 유의하게 증가하였으나($p<0.05$), 대조군에서는 실험 전후의 차이가 유의하지 않았다. 실험 방법에 따른 그룹간의 변화량 차이는 가상현실군이 유의하게 컸다($p<0.05$). 분속수의 변화는 가상현실군에서 실험 후 통계적으로 유의하게 증가하였으나($p<0.05$), 대조군에서는 실험 전후의 차이가 유의하지 않았다. 실험 방법에 따른 그룹간의 변화량 차이는 가상현실군이 유의하게 컸다($p<0.05$). 분속수의 변화는 가상현실군에서 실험 후 통계적으로 유의하게 증가하였으나($p<0.05$), 대조군에서는 실험 전후의 차이가 유의하지 않았다. 실험 방법에 따른 그룹간의 변화량 차이는 가상현실군이 유의하게 컸다($p<0.05$).

Table 3. Changes of gait abilities

		VR group (n=22)	Control group (n=20)	t
Velocity (m/s)	pre	0.52±0.21	0.47±0.13	1.05
	post	0.67±0.19	0.48±0.15	3.51**
	change	0.15±0.12	0.02±0.08	4.02***
	t	-5.96***	-1.19	
Cadence (steps/min)	pre	88.20±21.11	81.13±13.37	1.28
	post	98.69±18.56	84.25±13.08	2.88**
	change	10.49±12.59	3.12±10.27	2.07*
	t	-7.23***	-0.16	
Stride length (cm)	pre	68.56±15.40	68.59±11.98	0.05
	post	80.48±12.64	68.64±13.84	2.99**
	change	11.92±2.76	0.05±1.86	6.13***
	t	-3.91**	-1.36	

*$p<0.05$, **$p<0.01$, ***$p<0.001$

IV. 고찰

본 연구에서는 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 6주간의 가상현실을 이용한 재활 운동을 적용하여 정적 균형과 보행능력의 효과를 알아보았다.

신체의 동요로 인한 자세안정은 수평면에 주로 작용하며, 압력중심점(center of pressure)의 이동거리와 수평면에서의 지면반발력 요소가 신체동요 측정에 많이 이용된다.[29] 뇌졸중 환자의 정적 균형 능력은 건강한 일반 노인 보다 낮으며 불안정하다.[30] 또한 이러한 균형의 문제로 인해 뇌졸중 환자들의 69%가 낙상을 경험하였으며 그로 인한 2차 손상의 위험이 높아진다.[31] 따라서 뇌졸중 환자의 균형 능력 평가와 회복을 위한 노력들은 재활적 측면과 낙상의 예방적 측면에서 중요하다고 할 수 있다. 그러나 본 연구에서 가상현실을 이용한 재활 운동은 뇌졸중 환자의 눈을 뜬 상태에서 자세동요의 변화는 운동 전과 후의 차이가 없었다. 선행연구들에서도 정적 균형의 효과가 유의하지 않은 결과를 보였다. Suzuki 등[32]의 시각적 피드백을 이용한 8주간의 보행훈련 후 눈을 뜬 상태로 정적 균형을 측정한 결과 총 자세동요 속도는 3.40cm/s에서 2.70cm/s로 감소하였으나 통계적으로 유의하지 않았다. Kim[24]은 가상현실을 이용한 재활장비인 IREX를 이용하여 3가지 프로그램을 4주간 시행한 결과 총 동요 거리와 속도의 감소를 보였으나 통계적으로 유의한 정도는 아니었다. 본 연구에서의 가상현실을 이용한 방법이 온몸을 움직이는 동적인 운동과제로 구성되어 정적 균형의 평가에 유의한 효과를 나타내지 못한 것으로 생각된다. 이와 같은 근거는 Rietdyk 등[33]의 연구에서 뇌졸중 환자에서의 정적 균형은 주요 근육들의 조절능력보다는 경직(stiffening)에 의해 영향을 더 받기 때문에 기능적인 움직임의 과제로 정적 균형의 효과를 나타내기 어렵다는 주장과 같이 생각해볼 수 있다. 앞으로의 연구에서 가상현실을 이용한 재활 운동의 효과를 알아보기 위해 동적 균형과 경직에 대한 효과를 알아볼 수 있는 평가가 필요하다고 생각한다.

임상적으로 보행 속도는 일상적 활동을 수행할 수 있는 독립적 보행능력과 기능 회복 수준을 가늠할 수 있는 척도로 사용된다.[34] 본 연구에서 가상현실을 이용한 재활을 통하여 0.52m/s에서 운동 후 0.67m/s로 28.80% 증가하였다($p<0.05$). 4주간의 Bobath 컨셉의 보행훈련을 시킨 Hesse 등[35]의 연구에서는 보행 속도가 0.84m/s에서 훈련 후 0.90m/s로 7.10% 증가하였다. Macko 등[36]은 맥박수의 30-40%로 트레드밀 운동한 결과 0.90m/s에서 1.00m/s로 11.10% 증가하였고, 최대 맥박수의 60-70%로 운동한 결과에서는 0.82m/s에서 0.95m/s로 15.90%의 속도 증가를 보였다. Suzuki 등[32]는 트레드밀과 컴퓨터 장비를 통하여 보행 속도와 보폭거리 등의 전반적 보행 상태를 환자에게 실시간으로 제공하여 8주간 운동한 결과 처음 0.67m/s에서 1.28m/s로 91.00%의 증가율을 보였다. 선행 연구들을 볼 때 신경생리적 치료 접근법보다는 트레드밀 등을 이용한 직접적인 보행 훈련의 효과가 크게 나타났고, 저강도의 보행 훈련보다는 고강도의 보행 훈련에서 더 큰 효과를 보였다. 또한 자신의 보행 상태를 시각적 피드백으로 제공받은 경우에 속도의 증가 효과가 가장 컸다. 본 연구의 결과 보행 속도가 28.80%로 향상되어 가상현실을 통한 재활 운동이 보행 속도의 증가에 효과가 있음을 입증하였다. 그러나 대조군에서는 트레드밀을 이용하여 운동하였으나 보행 속도의 증가에는 영향이 없었다. 이는 보행능력의 향상을 위한 속도의 증가, 운동 시간

의 증가 등의 운동의 조절이 없이 환자가 편한 강도와 휴식으로 운동한 결과이다. 이 같은 결과를 통해 보행 능력의 향상을 위해서는 환자의 자율적인 운동의 강도와 시간을 맡기기보다 적극적인 치료사 개입이 필요하다고 생각한다.

또한 보행의 평가로 분속수와 활보장의 변화를 알아보았다. 분속수 변화는 실험 전 88.20steps/min에서 실험 후에는 11.90% 증가한 98.69steps/min이었다. 또한 활보장은 68.56 cm에서 80.48cm로 17.40%가 증가하였다. 보행이 불안정한 경우에 활보장 길이가 감소하고 보행 사이의 간격이 증가하여 분당 보폭수가 줄어든다. 또한 단하지 지지시간이 감소하고 양하지 지지시간이 증가한다.[37] 뇌졸중 환자의 보행도 편마비의 문제로 환측의 체중지지 시간이 짧아지고 양하지 지지시간이 증가하기 때문에 보행 주기와 보폭수가 느려지는 특징이 있다.[6,7] Kim[24]의 IREX를 이용한 결과에서도 분속수가 15.90% 만큼 증가하였고 활보장 또한 9.50%의 증가를 보였다. 선행의 연구와 본 연구의 결과는 가상현실을 이용한 재활 운동의 결과 단하지 지지 시간의 단축으로 인한 보 시간(step time)이 단축된 결과로 생각된다. 이와 같이 가상현실을 이용한 재활 운동의 결과 분속수의 감소로 보행의 시간적 요소의 향상과 활보장의 증가로 공간적 요소의 향상을 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과를 통해 가상현실을 이용한 운동이 만성 뇌졸중 환자의 보행 능력에 효과를 입증하였다. 이 결과는 뇌졸중 환자의 보행 향상을 위한 재활프로그램 구성에 가상현실의 효용성의 근거로 제시되어 실제적으로 유용하게 적용될 것으로 기대한다. 또한 앞으로의 연구에서는 재활의 목적에 맞는 다양한 가상현실 프로그램 개발이 필요하고 동적 균형 및 일상 생활 동작 등의 기능적 평가를 통한 연구가 필요하다고 생각한다.

V. 결론

본 연구는 6개월 이상의 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 환자가 쉽게 다룰 수 있고 흥미를 유발하는 게임 형식의 가상현실 훈련을 실시하였다. 연구 결과 보행속도, 분속수, 활보장의 결과가 유의하게 증가되어 보행 능력의 향상을 보였으나 정적 균형 능력의 변화는 미비하여 유의하지 않았다. 앞으로의 연구에서 동적 균형 및 일상생활동작에 대한 평가가 추가되어야 할 것으로 판단되고 뇌졸중 환자의 재활방법으로 치료의 흥미와 참여도를 증대시킬 수 있는 가상현실을 이용한 방법이 적용되어 보다 다양한 치료적 프로그램의 연구가 이루어질 것으로 기대된다.

Author Contributions

Research design: Shin WS
Acquisition of data: Shin WS
Analysis and interpretation of data: Shin WS
Drafting of the manuscript: Shin WS
Administrative, technical, and material support:
Research supervision: Song CH

Acknowledgements

이 논문은 신원섭의 박사학위 논문 일부를 출판하였음.

참고문헌

1. Korea national statistical office. Annual report on the cause of death statistics. 2006.
2. Duncan P, Horner R, Reker D et al. Adherence to postacute rehabilitation guidelines is associated with functional recovery in stroke. Stroke. 2002;33(1):167-77.
3. Astrom M, Asplund K, Astrom T. Psychosocial function and life satisfaction after stroke. Stroke. 1992;23(4):527-31.
4. Sackley CM, Baguly BI. Visual feedback after stroke with balance performance monitor: Two single case studies. Clin Rehabil. 1993;7:189-95.
5. Laufer Y, Dickstein R, Resnik S et al. Weight-bearing shifts of hemiparetic and healthy adults upon stepping on stairs of various heights. Clin Rehabil. 2000;14(2):125-9.
6. Perry J. The mechanics of walking in hemiplegia. Clin Orthop Relat Res. 1969;63:23-31.
7. Wagenaar R, Beek W. Hemiplegic gait: A kinematic analysis using walking speed as a basis. J Biomech. 1992;25(9):1007-15.
8. Pollock A, Baer G, Pomeroy V et al. Physiotherapy treatment approaches for the recovery of postural control and lower limb function following stroke. Cochrane Database Syst Rev. 2007(1):CD001920.
9. Langhammer B, Stanghelle JK. Bobath or motor relearning programme? A comparison of two different approaches of physiotherapy in stroke rehabilitation: A randomized controlled study. Clin Rehabil. 2000;14(4):361-9.
10. Lettinga AR, Mol A, Helders PJM et al. Differentiation as a qualitative research strategy. Physiotherapy. 1997;83(10):538-46.
11. Sveistrup H. Motor rehabilitation using virtual reality. J Neuroeng Rehabil. 2004;1(1):10.

12. Flynn S, Palma P, Bender A. Feasibility of using the sony playstation 2 gaming platform for an individual poststroke: A case report. J Neurol Phys Ther. 2007;31(4):180-9.
13. Rizzo A. A., Buckwalter J. G. Virtual reality and cognitive assessment and rehabilitation: The state of the art. Stud Health Technol Inform. 1997;44:123-45.
14. Weiss PL, Rand D, Katz N et al. Video capture virtual reality as a flexible and effective rehabilitation tool. J Neuroeng Rehabil. 2004;1(1):12.
15. Park JW, Jang SH. The difference of cortical activation pattern according to motor learning in dominant and non-dominant hand: An fmri case study. J Kor Soc Phys Ther. 2009;21(1):81-8.
16. Holden M, Dyar T, Schwamm L et al. Home-based telerehabilitation using a virtual environment system. Proceedings of the Second International Workshop on Virtual Rehabilitation. 2003:4-12.
17. Goude D, Bjork S, Rydmark M. Game design in virtual reality systems for stroke rehabilitation. Stud Health Technol Inform. 2007;125:146-8.
18. Bryanton C, Bosse J, Brien M et al. Feasibility, motivation, and selective motor control: Virtual reality compared to conventional home exercise in children with cerebral palsy. Cyberpsychol Behav. 2006;9(2):123-8.
19. Ferrarin M, Brambilla M, Garavello L et al. Microprocessor-controlled optical stimulating device to improve the gait of patients with parkinson's disease. Med Biol Eng Comput. 2004;42(3):328-32.
20. Henderson A, Korner-Bitensky N, Levin M. Virtual reality in stroke rehabilitation: A systematic review of its effectiveness for upper limb motor recovery. Top Stroke Rehabil. 2007;14(2):52-61.
21. Jang JY. A study on serious game design for rehabilitation training of the patients with apoplexy. Kwangwoon University. Dissertation of Master's Degree. 2006.
22. Kang YJ. Development of virtual reality based cognitive assessment and evaluation of its usefulness in patients with stroke. Yonsei University. Dissertation of Master's Degree. 2003.
23. Kim JS, Kwon YH. Therapeutic virtual reality program in chronic stroke patients recovery of upper extremity and neuronal reorganization. Journal of special education & rehabilitation science. 2005;44(1):87-106.
24. Kim JH. Effects of virtual reality program on balance, gait and brain activation patterns in stroke patients. Daegu University. Dissertation of Doctor's Degree. 2005.
25. Park JM. The effect of virtual reality program for chronic stroke patients. Daegu University. Dissertation of Master's Degree. 2004.
26. Liston R, Mickelborough J, Harris B et al. Conventional physiotherapy and treadmill re-training for higher-level gait disorders in cerebrovascular disease. Age Ageing. 2000;29(4):311-8.
27. Yavuzer G, Senel A, Atay MB et al. "playstation eyetoy games" improve upper extremity-related motor functioning in subacute stroke: A randomized controlled clinical trial. Eur J Phys Rehabil Med. 2008;44(3):237-44.
28. Laufer Y, Sivan D, Schwarzmann R. et al. Standing balance and functional recovery of patients with right and left hemiparesis in the early stages of rehabilitation. Neurorehabil Neural Repair. 2003;17(4):207-13.
29. Pagnacco G, Sorbello D, Oggero E et al. Average power spectral density of physiological tremor in normal subjects. Biomed Sci Instrum. 1997;34:99-103.
30. Lee SW, Shin WS, In TS et al. Immediate effects of load stimulation on static balance and muscle activities in chronic stroke patients. J Kor Soc Phys Ther. 2009;21(1):19-26.
31. Kwon MJ. The fall circumstance and related factors associated with fall in the stroke patients. J Kor Soc Phys Ther. 2008;20(3):19-28.
32. Suzuki K, Imada G, Iwaya T et al. Determinants and predictors of the maximum walking speed during computer-assisted gait training in hemiparetic stroke patients. Arch Phys Med Rehabil. 1999;80(2):179-82.
33. Rietdyk S, Patla AE, Winter DA et al. Nacob presentation csb new investigator award. Balance recovery from medio-lateral perturbations of the upper body during standing. North american congress on biomechanics. J Biomech. 1999;32(11):1149-58.
34. Kim CM, Eng JJ. The relationship of lower-extremity muscle torque to locomotor performance in people with stroke. Phys Ther. 2003;83(1):49-57.
35. Hesse SA, Jahnke MT, Bertelt CM et al. Gait outcome in ambulatory hemiparetic patients after a 4-week comprehensive rehabilitation program and prognostic factors. Stroke. 1994;25(10):1999-2004.
36. Macko RF, Ivey FM, Forrester LW et al. Treadmill exercise rehabilitation improves ambulatory function and

cardiovascular fitness in patients with chronic stroke: A randomized, controlled trial. Stroke. 2005;36(10):2206-11.

37. Patla A. A framework for understanding mobility problems in the elderly. St. Louis, Mosby, 1995.