

## 기능적 전기 자극이 뇌졸중 환자의 균형과 보행에 미치는 영향

홍종윤<sup>1</sup> · 이효정<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>노블케어 요양병원 물리치료사, <sup>2\*</sup>한국교통대학교 물리치료학과 교수

### The Effects of FES on Balance and Gait Ability in Patients of Stroke Patients

Hong Jongyun, PT<sup>1</sup> · Lee Hyojeong, PT, Ph.D<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Noblecare Hospital, Physical Therapist

<sup>2\*</sup>Dept. of Physical Therapy, Korea National University of Transportation, Professor

#### Abstract

**Purpose** : This study was conducted to evaluate the effects of FES with abdominal muscle contraction before virtual reality training on balance and gait ability in patients of stroke patients.

**Methods** : The subjects were 30 stroke patients who satisfied the selection criteria. They were randomly assigned to a group receiving functional electrical stimulation with a virtual reality training program (the experiment group, n=15) and placebo functional electrical stimulation with a virtual reality training program (the control group, n=15). The program consisted of three 30-min sessions per week for six weeks. The timed up and go test (TUG), the BT4, the G-WALK were used to estimate subjects' balance, gait before and after the program. For the experiment group, the functional electrical stimulation was applied to the external oblique and the rectus abdominis, For the control group, the same program and the placebo functional electrical stimulation were applied.

**Results** : There were significant improvements in the subscales of the balance and gait ability test of those who participated in the functional electrical stimulation, while the control group showed no significant changes.

**Conclusion** : Therefore, functional electrical stimulation with virtual reality effectively improved the balance and gait ability in patients with chronic stroke.

---

**Key Words** : abdominal muscle, functional electrical stimulation, sway area, sway length, virtual reality

\*교신저자 : 이효정, leehj@ut.ac.kr

## I. 서론

뇌졸중은 신체장애뿐만 아니라 사망까지 초래하게 되는 주된 질병으로 전 세계적으로 두 번째로 높은 사망원인 질환이다(WHO, 2016). 뇌졸중 환자에서 흔하게 나타나는 편마비는 신체 좌우 불균형을 유발하고 비대칭적 자세를 갖게 하여 균형능력을 감소시키고, 평형반응과 정위반응에 영향을 주어 자세 조절능력이 어려움을 가져온다(Ikai 등, 2003). 이는 균형 및 보행과 같은 운동기능에 제한을 가져온다(Jung 등, 2013).

균형은 자세 조절을 통하여, 외부요인에 대하여 적절하게 반응하고 자세를 유지하는 과정으로 전정, 시각, 체성감각이 작용하게 된다(Cheng 등, 2001). 균형 조절 능력은 보폭과 보행을 안정적으로 유지하고 다양한 자세를 수행할 수 있도록 하는 기본적인 행동수단 일뿐만 아니라 수의적인 동작을 하기 전 자동적인 자세반사(automatic postural responses)기전을 이용한 균형 조절학습으로 뇌졸중 환자에게 있어서 재활의 중요한 목적이 된다(Walker 등, 2000). 이러한 선행적 자세조절은 몸통의 중심을 이루는 척추 주변의 자세조절근에 의해서 이루어지는데 뇌졸중과 같이 중추신경계에 신경학적 손상을 가진 사람은 운동, 감각, 그리고 인지 등의 다양한 문제로 인해 자세조절의 어려움을 호소한다(Shummway-Cook & Woolacott, 2001).

뇌졸중 환자에게 보행 장애는 흔하게 발생하게 되는데, 근 약화, 마비, 결핍된 운동 제어, 그리고 연부조직의 구축 또한 뇌졸중 이후 보행을 어렵게 하는 요인들이 된다(Kelly 등, 2003; Kim & Eng, 2003; Lamontagne 등, 2000). 뇌졸중 환자들의 보행방식은 느리고, 필요 이상의 노력이 요구되며, 급박하게 이루어지게 되고, 협응 동작이 잘 이루어지지 않는 것을 특징으로 한다. 또한 움직임의 방식이 몸통과 체지의 선택적인 제어가 이루어지지 않는 대단위 굴곡과 신전의 시너지 방식을 보인다(Caillet 등, 2003).

최근 뇌졸중 환자들의 균형 및 보행 능력을 향상시키기 위해 보바스(Song과 Song, 2010), 과제지향훈련(Kang과 Kim, 2016), 리듬청각자극훈련(Ford 등, 2007) 등의 다양한 방법들이 임상에서 적용되고 있다. 이중 가상현실

은 환자 스스로의 과제수행결과를 점검할 수 있으며, 환자의 장애정도나 환자 개개인의 회복 상태에 따라 가상 환경에서 과제수행에 따른 난이도를 변화시킬 수 있어 환자 개개인의 능력에 맞는 적절한 훈련이 가능하다. 이러한 장점들로 인하여 가상현실은 인지장애 또는 운동장애치료에 효과적이며, 뇌졸중 환자의 재활과 평가에 효과적인 장비로 인식되어 지고 있다(Flynn 등, 2007; Rizzo 등, 2000). 가상현실이란 특정한 환경이나 상황을 만들어 주어 그것을 이용하는 사람이 실제 주변 환경 및 상황과 상호작용 할 수 있도록 만들어주는 인터페이스를 말한다(Adamovich 등, 2009).

Lee(2012)는 증강현실을 기반으로 한 자세 조절을 훈련 받은 실험군에서 BBS, TUG, 분속수, 보행속도에서 유의한 향상을 보였으며 보장, 활보장의 향상과 10m 보행 검사에서도 유의한 향상을 확인하였다.

이와 함께 기능적전기자극(functional electrical stimulation; FES)은 마비된 근육에 전기 자극을 이용하여 해당 근육의 수축을 유발하고 이를 통하여 기능적으로 효과적인 동작을 만들어 기능장애를 개선하고 근 위축을 방지 하는데 효과가 있다(Kim, 2003; Nozomu, 2003). 몸통 근육을 강화시키기 위한 기존의 운동방식들은 운동 수행을 위한 환자들의 잔존해 있는 근력 수준에 의존하며, 끊임없는 능동수축을 위한 노력들이 필요함에 따라 종종 재활운동을 포기하게 만드는 이유가 된다(Lee 등, 2013). 이러한 제한점들을 해결하기 위하여 최근에는 몸통의 기능적인 장애를 가지고 있다 하더라도 신경과 근육이 흥분성을 유지하고 있는 경우 상실한 운동기능을 재건하기 위한 방법으로 기능적전기자극이 활용되고 있다(Lee 등, 2012). 뇌졸중환자의 복부근에 4주간 FES 적용으로 복부근 두께를 초음파로 알아본 결과 배곧은근과 배바깥근은 중재 전·후 유의한 차이가 나타났고 FES를 적용한 실험군과 위약대조군의 그룹간 전·후 변화량에도 통계적으로 유의한 차이를 보였고 균형에도 유의한 변화를 보였다고 하였다(Hong & Lee, 2018). 20대 정상인의 복부에 전기 자극을 4주 동안 실시한 후 초음파를 통하여 확인한 결과 복부근 활성도와 복부근 두께에 의미 있는 변화를 보였다고 하였다(Lee 등, 2013). 또한 척수 손상 등으로 인한 사지마비 환자들에게 기능적인 전기자극을 적용한 경우 호흡 및 몸통의 안정성에 작용하는 몸

통근들이 유의하게 증가하였다고 하였다(Lee 등, 2008; McBain 등, 2013). 이는 FES를 통해 호기에 작용하는 복부근들의 수축 능력의 증가로 복부근의 근 두께를 증가 시킴으로 선행적 자세 조절을 할 수 있도록 준비하게 하였고 체간의 안정성을 제공한 것이다. 하지만 척수손상 및 정상인에 적용한 연구에 비해 뇌졸중환자에게 적용한 연구는 부족하며 대부분 가상현실에 따른 기능적 효과를 확인하는 연구들이 대부분이었다(Kim 등, 2010; Lee 등, 2012; Song 등, 2011).

따라서 본 연구는 가상현실 프로그램 훈련 전 복부에 기능적전기자극을 통해 뇌졸중 환자의 균형 및 보행에 있어서 객관적인 효과를 입증하여 임상적으로 접근하는데 도움이 될 수 있도록 하는데 목적이 있다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

본 연구는 2018년 4월 30일부터 6월 8일까지 기준에 부합한 실험군 3명, 대조군 3명의 뇌졸중 환자를 대상으로 예비실험을 실시하였다. G-power 프로그램으로 두군의 할당 비율 1:1, 유의 수준 0.05, 검정력은 0.95로 설정하여 대상자 수를 산출하였으며, 결과에 따라 탈락자 수를 고려하여 실험군 15명, 대조군 15명, 총 30명을 선정하여 하나의 바구니에 1과 2가 적힌 공을 넣고 임의대로 뽑아 뽑은 숫자에 따라 1은 실험군, 2는 대조군으로 무작위 배정하였다.

연구대상자는 용인 R병원에 입원중인 환자를 대상으로 공고를 통해 모집하였고, 자발적인 참여에 동의한 자 중 뇌졸중 발병 후 6개월 이상이며, 연구자의 지시를 이해하고 따를 수 있는 K-MMSE 점수가 21점 이상인 자(Song 등, 2011), 사지 또는 하지에 정형외과적 질환이 없는 자, 보조도구의 사용여부에 상관없이 10 m 이상 보행이 가능한 자, 시력 또는 청각에 이상이 없는 자로 환자 본인과 보호자가 연구 참여에 동의한 자를 대상으로 선정하였다.

발목에 구축이나 기형이 있는 자, 인지저하로 인해 과

제를 수행할 수 없는 자, 추가적인 신경학적 질병이 있는 자, 실험 6개월 이내에 상지 또는 하지에 보톡스 주사를 투여 했거나 정형외과적 수술을 받은 자는 제외하였다.

모든 실험 대상자에게는 연구에 대한 충분한 목적을 설명하였고 자발적인 서면 동의서를 받아 한국교통대학교 기관생명윤리심의의 승인을 얻고 실험을 진행하였다(승인번호- KNUT IRB 2018-7).

### 2. 연구방법

본 연구는 뇌졸중환자의 균형 및 보행능력을 향상시키기 위한 목적으로 가상현실과 기능적전기자극의 효과를 검증하기 위한 것으로, 중재 전, 후 검사를 실시하여 변화량을 비교하였다. 각 군의 대상자는 공통적으로 신경계 물리치료인 보바스 치료를 시행하였고 가상현실 프로그램(Nintendo wii fit, Nintendo, Japan)은 하지의 동적 균형능력 증진을 위한 6개의 프로그램을 사용하였다. 실험군과 대조군의 가상현실 프로그램(Jeong, 2011; Sim과 Jeon, 2016)은 다음과 같다(Table 1).

Table 1. Virtual reality program

Training task
1. Play with hula-hoop
2. penguin seesaw
3. snowboard
4. segway challenger
5. ski
6. ski jumping

#### 1) 기능적전기자극과 가상현실 프로그램 훈련군(실험군)

실험군은 기능적전기자극과 가상현실 프로그램 훈련을 시행하였으며 가상현실 프로그램 주차별 훈련 내용은 다음과 같다(Table 2).

기능적전기자극은 펄스폭 250  $\mu$  s, 주파수 50 Hz의 기준값으로 설정하였다. 자극강도는 가쪽 배와 배벽의 수축 변화를 시각적으로 평가하여 근수축이 호흡을 편안하게 지속할 수 있는 범위로 조정하였다. 자극 시간은 총 15분으로 on-time, off-time은 각각 5초, 3초로 적용하였다.

자극강도는 배안근육 수축 외에 다른 신체분절의 변화가 나타나지 않도록 하였다. 펄스폭(pulse-width)과 주파수의 조정은 시각적 근수축의 동일한 수준을 유지하도록 조정하였다. 매 훈련시작시 이전 강도를 적용하며, 가장 좋은 반응을 보이도록 전류강도 값으로 조정하였고, 부착 부위는 배곧은근과 배바깥빗근에 적용하였다(Cho & Park, 2005; Jung, 2016).

2) 위약 기능적전기자극과 가상현실 프로그램 훈련군(대조군)

대조군은 실험군과 동일한 가상현실 프로그램을 적용하여 훈련하였으며, 실험군이 기능적전기자극을 적용하는 동안 위약 기능적전기자극을 실시하였다(Fig 1). 대상

자는 기능적전기자극기는 부착하였지만 전기자극은 시행하지 않았다(Table 2).

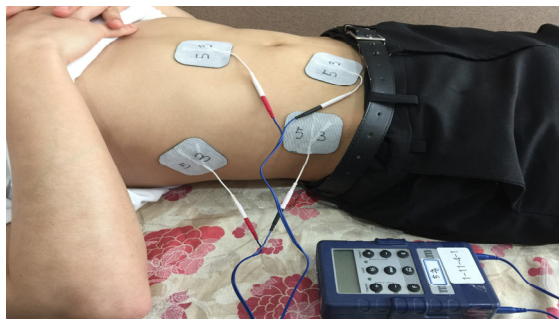


Fig 1. FES with abdominal muscle contraction

Table 2. Weekly progress program

Weeks	Intervention (15 min)			Virtual Reality Program (15 min)
	Experimental	Control		
1~2	functional electrical stimulation	placebo functional electrical stimulation		play with hula-hoop penguin seesaw snowboard
3~4	functional electrical stimulation	placebo functional electrical stimulation		segway challenger ski ski jumping
5	functional electrical stimulation	placebo functional electrical stimulation		ski jumping segway challenger
6	functional electrical stimulation	placebo functional electrical stimulation		random mixing

3. 연구도구

본 연구에서 균형은 일어서서 걷기 검사(TUG), 균형 측정시스템을 이용한 압력중심점(Center Of Pressure; COP)의 동요거리(Sway length; SL), 압력중심점의 동요면적(Sway area; SA), 안정성한계(Limit Of Stability; LOS)를 사용하였고, 보행능력은 무선 3축 가속계를 통해 보행속도, 분속수, 한걸음 거리를 평가하였다.

1) 균형평가

본 연구에서는 대상자들에게 일어서서 걷기 검사와 균형능력 측정장비(BT4; Hur Lab, Kkoarla, Pillandeu)를

사용하여 중재 전, 후에 균형을 평가하였다. 일어서서 걷기 검사는 팔걸이가 있는 의자에 앉아서 출발 신호와 함께 일어나 3 m 전방에 표시된 반환점을 돌아와 다시 의자에 앉기까지의 소요시간을 측정하는 방법이다(Podisadio & Richardson, 1991). 측정자간 신뢰도는 r=0.98, 측정자내 신뢰도는 r=0.99를 보였다(Morris 등, 2001). 균형능력 측정 장비는 BT-4를 사용하였다(Piirainen 등, 2010). 뇌졸중 환자가 힘판 위에서 정적 균형능력의 압력 중심점(Center of Pressure; COP)에 대한 이동을 측정하는 방법으로 COP line의 신뢰수준 90 %에서 계산하는 동요거리의 넓이(mm<sup>2</sup>)를 나타내는 sway area(동요면적), COP점들의 움직임에 대한 0.2초당 위치 변이값에 대한 직선거리를 모두 합하여 계산한 COP의

길이(mm) 값을 나타내는 sway length(동요길이), 전·후, 좌·우 네 방향으로 몸을 최대한 기울여 측정 한 안정성 한계 값(limited of stability; LOS)을 측정하는 도구이다. 이 검사의 민감성은  $V/V \pm 0.25\%$  이고 오류범위는 최대 0.03 % 이다(Maribo 등, 2011).

## 2) 보행능력 평가

본 연구의 보행능력 평가를 위해 무선 3축 가속계(G-walk, Bioengineering S.p.A., Italy)를 사용하였다. 보행의 시공에서 변인을 측정하고 분석할 수 있는 장비로 대상자에게 척추 L5에 장비를 부착하여 고정시켜 착용후, 10 m를 정해진 경로를 따라 보행 후 측정된 데이터 및 분석값을 컴퓨터에 무선으로 전달한다. 본 연구에서 추출된 데이터는 속도(speed), 분속수(cadence), 한걸음 거리(stride length)이다. 총 3회 반복 측정 후 평균값을 기록하였다(Lee, 2016; Lee, 2018).

## 4. 자료처리

본 연구의 자료 처리는 SPSS 21.0을 사용하여 실시하

였다. 대상자의 일반적 특성의 동질성 검증을 비교하기 위해 카이제곱검정(Chi-squared test)과 독립표본 t검정(Independent t-test)을 실시하였다. 각 집단의 집단 내 치료 전,후의 종속변수 변화량을 비교하기 위해 대응표본 t검정(Paired t-test)을 실시하였고, 독립표본 t검정(Independent t-test)을 통해 집단 간 치료 전,후의 종속변수 변화량을 비교하였다. 모든 통계적 유의수준( $\alpha$ )은  $p=.05$ 로 하였다.

## Ⅲ. 연구결과

### 1. 대상자의 일반적 특성

본 연구의 대상자는 총 30명으로, 실험군 15명 대조군 15명으로 선정하였다. 성별, 연령, 키, 몸무게, 진단, 마비측, 발병 개월수, K-MMSE에서 실험군과 대조군 간 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아 일반적 특성에서 동질성이 확인 되었다. 대상자의 일반적 특성은 Table 3과 같다.

Table 3. General characteristics of subjects

(n=30)

		Experimental (n=15)	Control (n=15)	$\chi^2/t$	<i>p</i>
Sex	Male	8	6	.536	.464
	Female	7	9		
Hemisphere	Left	8	7	.133	.715
	Right	7	8		
Diagnosis	Inf.	12	13	.241	.624
	Hrr.	3	2		
Age (year)		61.67±7.22	63.53±9.68	-.598	.555
Height (cm)		166.24±8.67	166.09±8.07	-.051	.960
Weight (kg)		69.78±7.76	69.49±7.07	-.103	.919
Onset (month)		13.73±2.28	14.4±2.29	-.798	.432
MMSE-K (score)		21.07±1.48	21.00±1.92	-.106	.916

Inf: Infarction, Hrr: Hemorrhage, MMSE-K: Mini-Mental Status Examination-Korean version

2. 균형의 변화

균형은 일어서서 걷기 검사(Table 4), 압력중심점의 동요거리, 동요면적(Table 5)과 안정성한계(Table 6)를 평가하였다.

1) 일어서서 걷기 검사(Timed up & go)

일어서서 걷기 검사(TUG)는 실험군 중재 전 평균 점수는 36.99±8.39 sec 이고, 중재 후 평균 점수는

36.61±8.46 sec 로 중재 전, 후에 유의한 차이가 나타났다(p<.01). 대조군 중재 전 평균 점수는 35.59±10.59 sec 이고, 중재 후 평균 점수는 35.58±10.59 sec로 중재 전, 후에 유의한 차이가 나타났다(p<.05). 실험군과 대조군 전, 후 평균 TUG 점수의 변화량 차이를 비교해보면 실험군은 -0.37±.46 sec, 대조군은 -0.01±0.01 sec로 실험군이 대조군보다 변화량 차이가 더 크며 통계적으로 유의하였다(p<.01)(Table 4).

Table 4. The comparison of TUG scores between experimental group and control group

	Experimental (n=15)	Control (n=15)	t	p	
TUG (sec)	Pre	36.99±8.39	35.59±10.59	.400	.692
	Post	36.61±8.46	35.58±10.59		
	Post-Pre	-0.37±.46	-0.01±0.01	-3.048	.005
	t	-3.157	-2.477		
	p	.007**	.027*		

TUG: Time Up and go

2) 압력중심점의 동요거리

(1) 눈을 뜬 상태(SLEO)

실험군 중재 전 평균값은 510.84±123.78 mm이고, 중재 후 평균값은 410.22±201.97 mm로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다(p<.01). 대조군 중재 전 평균값은 500.31±212.13 mm이고, 중재 후 평균 값은 466.52±241.02 mm로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다(p<.05). 실험군과 대조군 전, 후 평균 변화량 차이를 비교하면 실험군은 -100.61±111.93 mm, 대조군은 -33.795±43.997 mm 로 실험군이 대조군보다 변화량 차이가 더 크며 통계적으로 유의하였다(p<.05)(Table 5).

(2) 눈을 감은 상태(SLEC)

눈을 감은 상태에서 압력중심점 동요거리(SLEC)는 실험군 중재 전 평균값은 858.53±224.49 mm이고, 중재 후 평균값은 765.66±244.88 mm로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다(p<.01). 대조군 중재 전 평균값은 892.21±274.19 mm이고, 중재 후 평균값은 868.72±259.93

mm로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다(p<.05). 실험군과 대조군 전, 후 평균 SLEC 점수의 변화량 차이를 비교해보면 실험군은 -92.86±113.63 mm, 대조군은 -23.48±39.89 mm로 실험군이 대조군보다 변화량 차이가 더 크며 통계적으로 유의하였다(p<.05)(Table 5).

3) 압력중심점의 동요면적(SA)

(1) 눈을 뜬 상태(SAEO)

눈을 뜬 상태에서 압력중심점 동요면적(SAEO)는 실험군 중재 전 평균값은 586.83±226.83 mm<sup>2</sup>이고, 중재 후 평균값은 500.23±270.06 mm<sup>2</sup>로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다(p<.01). 대조군 중재 전 평균값은 592.82±217.85 mm<sup>2</sup>이고, 중재 후 평균값은 546.80±246.65 mm<sup>2</sup>로 중재 전, 후에 유의한 차이가 나타났다(p<.05). 실험군과 대조군 전, 후 평균 SAEO 점수의 변화량 차이를 비교하면 실험군은 -86.60±84.59 mm<sup>2</sup>, 대조군은 -46.00±80.76 mm<sup>2</sup>로 실험군이 대조군보다 변화량 차이가

더 컸지만 통계적으로 유의하지 않았다( $p>.05$ )(Table 5).

## (2) 눈을 감은 상태(SAEC)

눈을 감은 상태에서 압력중심점 동요면적(SAEC)은 실험군 중재 전 평균값은  $709.80\pm 212.78 \text{ mm}^2$ 이고, 중재 후 평균값은  $657.69\pm 242.98 \text{ mm}^2$ 로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다( $p<.01$ ). 대조군 중재 전 평균값은  $717.06\pm 232.06 \text{ mm}^2$ 이고, 중재 후 평균값은  $697.2\pm 242.47 \text{ mm}^2$ 로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 실험군과 대조군 전, 후 평균 SAEC 점수의 변화량 차이를 비교해보면 실험군은  $-52.1\pm 59.53 \text{ mm}^2$  감소, 대조군은  $-19.85\pm 28.96 \text{ mm}^2$  감소로 실험군이 대조군보다 변화량 차이가 더 컸지만 통계적으로 유의하지 않았다( $p>.05$ )(Table 5).

## 4) 안정성한계(LOS)

### (1) 전방 안정성한계(LOS-forward)

실험군에서 중재 전 평균값은  $3.69\pm 1.44^\circ$  이고, 중재

후 평균값은  $4.21\pm 1.53^\circ$ 로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다( $p<.01$ ). 대조군에서 중재 전 평균값은  $3.67\pm 0.73^\circ$  이고, 중재 후 평균값은  $4.07\pm 1.29^\circ$ 로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 실험군과 대조군 전, 후 평균 안정성한계 값의 변화량 차이를 비교해보면 실험군은  $0.52\pm .55^\circ$  증가, 대조군은  $0.40\pm .641^\circ$  증가로 실험군이 대조군보다 변화량 차이가 더 컸지만 통계적으로 유의하지 않았다( $p>.05$ )(Table 6).

### (2) 후방 안정성한계(LOS-reward)

실험군에서 중재 전 평균값은  $2.75\pm 0.95^\circ$  이고, 중재 후 평균값은  $3.22\pm 1.38^\circ$ 로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다( $p<.01$ ). 대조군에서 중재 전 평균값은  $2.71\pm 1.03^\circ$  이고, 중재 후 평균값은  $2.99\pm 1.31^\circ$ 로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 실험군과 대조군 전, 후 평균 안정성한계 값의 변화량 차이를 비교해보면 실험군은  $0.47\pm 0.58^\circ$  증가, 대조군은  $0.28\pm 0.5^\circ$  증가로 실험군이 대조군보다 변화량 차이가 더 컸지만 통계적으로 유의하지 않았다( $p>.05$ )(Table 6).

Table 5. The comparison of sway length and Sway area between experimental group and control group

		Experimental (n=15)	Control (n=15)	t	p
SLEO (mm)	Pre	510.84±123.78	500.31±212.13	.166	.869
	Post	410.22±201.97	466.52±241.02		
	Post-Pre	-100.61±111.93	-33.79±43.99	-2.152	.040
	t	3.481	2.975		
	p	.004**	0.010*		
SLEC (mm)	Pre	858.53±224.49	892.21±274.19	-.368	.716
	Post	765.66±244.88	868.72±259.93		
	Post-Pre	-92.86±113.63	-23.48±39.89	-2.231	.030
	t	3.165	2.28		
	p	.007**	.030*		
SAEO (mm <sup>2</sup> )	Pre	586.83±226.83	592.82±217.85	-.074	.942
	Post	500.23±270.06	546.80±246.65		
	Post-Pre	-86.60±84.59	-46.00±80.76	-1.344	.190
	t	-3.965	-2.207		
	p	.001**	.045*		
SAEC (mm <sup>2</sup> )	Pre	709.80±212.78	717.06±232.06	-.089	.929
	Post	657.69±242.98	697.20±242.47		
	Post-Pre	-52.10±59.53	-19.85±28.96	-1.886	.070
	t	3.389	2.655		
	p	.004**	.019*		

SLEO: Sway length eyes open, SLEC: Sway length eyes close, SAEO: Sway area eyes open, SAEC: Sway area eyes close

(3) 왼쪽 안정성한계(LOS-leftward)

실험군에서 중재 전 평균값은 4.18±1.07°이고, 중재 후 평균값은 4.86±1.53°로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다(p<.01). 대조군에서 중재 전 평균값은 4.25±1.45°이고, 중재 후 평균값은 4.55±1.56°로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다(p<.05). 실험군과 대조군 전, 후 평균 안정성한계 값의 변화량 차이를 비교해보면 실험군은 0.68±0.68° 증가, 대조군은 0.3±0.41° 증가로 실험군이 대조군보다 변화량 차이가 더 컸지만 통계적으로 유의하지 않았다(p>.05)(Table 6).

(4) 오른쪽 안정성 한계(LOS-rightward)

실험군에서 중재 전 평균값은 4.34±1.90° 이고, 중재 후 평균값은 4.98±1.59°로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다(p<.01). 대조군에서 중재 전 평균값은 4.33±1.16° 이고, 중재 후 평균값은 4.64±1.49°로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다(p<.05). 실험군과 대조군 전, 후 평균 안정성한계 값의 변화량 차이를 비교해보면 실험군은 0.63±0.74° 증가, 대조군은 0.31±0.52° 증가로 실험군이 대조군보다 변화량 차이가 더 컸지만 통계적으로 유의하지 않았다(p>.05)(Table 6).

Table 6. The comparison of LOS experimental group and control group

		Experimental (n=15)	Control (n=15)	t	p
LOS-forward (degree)	Pre	3.69±1.44	3.67±0.73	.490	.961
	Post	4.21±1.53	4.07±1.29		
	Post-Pre	0.52±0.55	0.40±0.64	.557	.582
	t	-3.650	-2.427		
	p	.003	.029		
LOS-reward (degree)	Pre	2.75±0.95	2.71±1.03	.118	.907
	Post	3.22±1.38	2.99±1.31		
	Post-Pre	0.47±0.58	0.28±0.50	.945	.353
	t	-3.157	-2.206		
	p	0.007	0.040		
LOS-leftward (degree)	Pre	4.18±1.07	4.25±1.45	0.150	.882
	Post	4.86±1.53	4.55±1.56		
	Post-Pre	0.68±0.68	0.30±0.41	1.841	.760
	t	-3.858	-2.773		
	p	.002	0.020		
LOS-rightward (degree)	Pre	4.34±1.90	4.33±1.16	.029	.977
	Post	4.98±1.59	4.64±1.49		
	Post-Pre	0.63±0.74	0.31±0.52	1.380	.179
	t	-3.304	-2.299		
	p	.005	.030		

LOS: Limit of stability

3. 보행능력의 변화

보행능력은 무선 3축 가속계(G-walk)를 통해 속도, 분속수, 한걸음 거리(stride length)를 측정 하였다(Table 7).

1) 속도

속도는 실험군의 중재 전 평균값은 60±18.94 cm/s 이고, 중재 후 평균값은 62±17.57 cm/s로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다(p<.01). 대조군의 중재 전 평균값은



61±20.07 cm/s 이고, 중재 후 평균값은 61.73±19.56 cm/s 로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 실험군과 대조군의 전, 후 평균 속도 값의 변화량 차이를 비교해보면 실험3군은 1.8±1.65 cm/s 증가, 대조군은 0.73±1.09 cm/s 증가로 실험군이 대조군보다 변화량 차이가 더 크며 통계적으로 유의 하였다( $p<.05$ ).

## 2) 분속수

실험군 중재 전 평균값은 61.29±18.18 step/min이고, 중재 후 평균값은 62.73±17.38 step/min로 중재 전, 후에 유의한 차이가 나타났다( $p<.01$ ). 대조군 중재 전 평균값은 61.70±17.73 step/min이고, 중재 후 평균값은 62.01±17.57 step/min로 중재 전, 후에 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ).

실험군과 대조군 전, 후 평균 속도 값의 변화량 차이

를 비교해보면 실험군은 1.43±1.37 step/min 증가, 대조군은 0.31±0.42 step/min 증가로 실험군이 대조군보다 변화량 차이가 더 크며 통계적으로 유의 하였다( $p<.01$ ).

## 3) 한걸음 거리

실험군 중재 전 평균값은 104.00±12.00 cm 이고, 중재 후 평균값은 106.00±12.00 cm로 중재 전, 후 유의한 차이가 나타났다( $p<.01$ ). 대조군 중재 전 평균값은 107.00±19.00 cm 이고, 중재 후 평균값은 108.00±18.00 cm로 중재 전, 후 유의하지 않았다( $p>.05$ ). 실험군과 대조군 전, 후 평균 속도 값의 변화량 차이를 비교해보면 실험군은 2.20±2.40 cm 증가, 대조군은 0.60±1.40 cm 증가로 실험군이 대조군보다 변화량 차이가 더 크며 통계적으로 유의 하였다( $p<.05$ ).

Table 7. The comparison of gait between experimental group and control group

		Experimental (n=15)	Control (n=15)	t	p
Speed (cm/sec)	Pre	60.00±18.94	61.00±20.07	-1.12	.911
	Post	62.00±17.57	61.73±19.56		
	Post-Pre	1.80±1.65	0.73±1.09	2.078	.047
	t	-4.209	-2.582		
	p	.001**	.022*		
Cadence (step/min)	Pre	61.29±18.18	61.70±17.73	-.610	.952
	Post	62.73±17.38	62.01±17.57		
	Post-Pre	1.43±1.37	0.31±0.42	3.023	.005
	t	-4.052	-2.866		
	p	.001**	.012*		
Stride length (cm)	Pre	104.00±12.00	107.00±19.00	-.628	.535
	Post	106.00±12.00	108.00±18.00		
	Post-Pre	2.20±2.40	0.60±1.40	2.277	.031
	t	-3.564	-1.655		
	p	.003**	.120		

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

## IV. 고찰

뇌졸중에 따른 편마비는 환자의 중추신경계를 손상시키고 이로 인해 움직임 조절에 손상을 갖게 된다(Duncan

등, 2002). 또한 근약화에 따른 몸통조절의 어려움과 불안정성 등의 운동기능에 장애가 나타나게 된다(Verheyden 등, 2006). 몸통의 안정성은 인체에 대한 기능적인 움직임을 증가시키고 역학적 운동성 및 힘을 증

가시키는 역할을 한다(McGill & Karpowicz, 2009). 자세 조절은 이러한 몸통 안정성을 기반으로 기저면내에서 신체 압력중심점을 최소 흔들림으로 유지 할 수 있는 능력을 말한다(Horak 등, 1984). 체간 안정화 운동은 배의 근육들과 척추의 근육인 다열근의 동시 활성화가 될수 있도록 하는 운동 방법이다(Behm 등, 2002). Hodges와 Richardson(1997)은 하지 움직임 시 몸통근육인 배가로근, 배곧은근, 안쪽빗근의 경우 하지의 수축이 발생하기 전 수축이 일어난다고 하였다. 이러한 몸통근들의 강화를 통하여 몸통조절을 가능하게 하는 많은 운동방법들이 연구 되고 있으며 대표적인 방법으로 기능적전기자극이 있다.

기능적전기자극은 상위운동신경원의 기능적 장애로 인하여 마비된 근육들에 전기 자극을 이용하여 기능적으로 유용한 움직임을 만들고 이를 통해 근위축을 방지하여 기능장애등을 개선하는 효과가 있다(Nozomu, 2003). 최근 연구에서는 12주간의 기능적전기자극 동안 과제훈련치료를 수행할 경우 과제훈련치료만을 수행하는 것보다 상지에서의 손 기능과 운동조절 능력에서 더 유의한 회복을 보였다는 결과가 있다(Alan 등, 2007). 4주간의 FES 적용을 통해 뇌졸중환자의 배곧은근과 배바깥근은 중재 전 후 근두께에 유의한 차이가 나타났고 FES를 적용한 실험군과 위약대조군의 그룹간 전후 변화량에도 통계적으로 유의한 차이를 보였으며 균형에도 유의한 변화를 보고하였는데(Hong과 Lee, 2018) 이는 FES를 통해 복부근의 근 두께를 증가시킴으로 복부근들의 수축 능력이 증가하였음을 나타낸다. 또한 수축력증가로 인해 선행적 자세 조절을 할 수 있도록 준비하게 하였고 체간의 안정성을 제공한 것이다. 기능적전기자극을 이용한 몸통 근력의 향상은 Nordin 등(1987)이 처음으로 일반 성인 여성들을 대상으로 한 기능적전기자극을 몸통 근육에 적용했을 때 근력 및 지구력을 향상 시킨다는 것을 보고하였다.

Karatas 등(2004)은 뇌졸중 환자를 대상으로 한 등속성 동력계를 통한 몸통 근력의 측정에서 정상인에 비하여 몸통의 근력이 감소한 것을 증명하였고 몸통 근력이 버그 균형 척도와 기능 독립 척도에서 유의한 상관관계가 있다고 하였다. 선행 연구에서 상지에 기능적전기자극을 이용한 신전 운동 시 기능적 뇌 자기공명 영상에서

반대 측 몸감각 대뇌겉질 및 양쪽 운동영역 대뇌겉질이 활성화 되었다고 보고 하였고 이는 기능적전기자극과 기능적 뇌자기 공명영상이 용량 반응 관계가 있음을 시사하고 이것은 기능적전기자극을 이용한 반복적인 움직임이 대뇌겉질 기전을 통하여 운동 재학습을 촉진시킨 것이라고 볼 수 있다(Sheffler & Chae, 2007).

위와 같은 선행 연구를 바탕으로 본 연구에서는 가상 현실 프로그램 훈련 전 배근에 기능적전기자극이 뇌졸중 환자의 균형 및 보행에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 총 30명의 환자를 대상으로 6주간 실험군과 대조군에 각각 15명씩 무작위 배당하여 실험군은 가상현실 프로그램 훈련 전 기능적전기자극을 적용하였고, 대조군은 가상현실 프로그램 훈련 전 수동적 몸통 정렬을 적용하였으며 균형과 보행을 측정한 후 그룹간 비교를 통하여 기능적전기자극의 유용성을 알아보고자 하였다.

뇌졸중 환자의 균형은 임상적으로 중요한 요소이며 일상생활동작에 있어서 매우 중요한 요소이다. 보행은 균형의 상실과 회복의 반복된 과정이다(Magee, 2003)

본 연구에서 균형능력 평가 중 동적 균형 능력을 알아보기 위해 시행한 일어서서 걷기 검사(TUG)는 실험군은 0.37 sec 감소하여 유의한 차이가 있었고, 대조군은 0.012 sec 감소하여 유의한 차이가 있었다. 실험군과 대조군의 변화량 비교에서 실험군의 변화량이 대조군의 변화량의 차이보다 더 크며 통계적으로 유의하였다. 이는 실험군에게 적용한 FES가 뇌졸중 환자의 복부근 수축을 통해 체간 안정성을 제공하여 선행적 자세조절을 유도함으로써 균형능력이 더 향상된 것으로 사료된다.

압력중심점의 동요거리는 실험군의 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태에서 각각 100.61 mm, 92.86 mm 감소하여 유의한 차이가 있었고, 대조군의 눈을 뜬 상태와 감은 상태에서 각각 33.79 mm, 23.48 mm 감소하여 유의한 차이가 있었다. 실험군과 대조군의 변화량 비교에서 실험군이 대조군보다 변화량 차이가 더 크며 통계적으로 유의하였다.

압력중심점의 동요면적은 실험군의 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태에서 각각 86.6 mm<sup>2</sup>, 52.1 mm<sup>2</sup> 감소하여 유의한 차이가 있었고, 대조군의 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태에서 각각 46 mm<sup>2</sup>, 19.85 mm<sup>2</sup> 감소하여 유의한 차이가 있었다. 실험군과 대조군의 변화량 비교에서

실험군이 대조군보다 변화량의 차이가 더 컸지만 통계적으로 유의하지 않았다.

안정성한계의 값은 실험군 전방, 후방, 왼쪽, 오른쪽 안정성 한계에서 모두 각각 평균  $0.52^\circ$ ,  $0.47^\circ$ ,  $0.68^\circ$ ,  $0.63^\circ$  증가로 통계적으로 유의한 수준의 차이를 보였다. 대조군의 전방, 후방, 왼쪽, 오른쪽 안정성 한계에서 모두 각각  $0.4^\circ$ ,  $0.28^\circ$ ,  $0.3^\circ$ ,  $0.31^\circ$  증가로 유의한 차이가 있었다. 실험군과 대조군 전방, 후방, 왼쪽, 오른쪽 안정성 한계의 변화량 비교에서 실험군이 대조군보다 변화량 차이가 더 컸지만 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 가상현실 프로그램 훈련으로 실험군과 대조군 모두에서 균형 능력에 유의한 향상을 보였지만 유의한 차이가 나타나지 않은 것은 가상현실의 과제를 수행하면서 자신의 균형 상태와 움직임 상태를 직접 보며 균형을 조절할 수 있는 시각 피드백의 작용으로 인해 균형 조절 능력이 향상된 것으로 사료된다.

Felipe 등(2008)은 요통환자의 체간 안정화 운동이 균형 능력에 미치는 효과를 연구한 연구에서 체간 안정화 운동 후 동적인 균형 검사에서 유의한 차이가 있었다고 하였다. Richardson과 Jull(1995)은 체간의 근력과 관계된 뇌졸중 환자의 회복의 상관성을 알아보는 연구에서 28명을 대상으로 한 뇌졸중 환자에게서 체간 근력 향상이 균형능력의 향상에 영향을 주었다고 하였다. 본 연구에서는 뇌졸중 환자의 일어서서 걷기, 압력중심점의 동요거리, 압력중심점의 동요면적, 안정성 한계를 통해 정적 균형과 동적 균형을 알아보았다. Geiger 등(2001)은 13명의 뇌졸중 환자들을 대상으로 한 Balance Master를 이용하여 15분간 운동 시킨 연구에서 일어서서 걷기 검사는 각각 23.08초에서 14.62초로 감소하여 유의한 차이가 나타났다고 하였으며 이는 본 연구의 일어서서 걷기 검사 결과와 일치한다. Seo 등(2012)은 뇌졸중 환자에게 몸통 안정화 운동을 실시하여 정적 균형 능력인 PASS와 동적 균형 능력인 FRT에서 향상을 보였다고 하여 균형능력의 향상을 보였다고 하였다. 따라서 이런 결과를 바탕으로 몸통의 안정화를 통해 대상자의 균형 능력이 향상되었음을 보고하였다. 본 연구에서는 압력중심점의 동요거리가 유의한 효과를 보였으며 이는 기능적전기자극을 통해 몸통의 안정화를 증가 시키고 이를 통해 균형 능력의 향상을 가져온다는 본 연구의 결과를 지지해 준다. 하지

만 안정성 한계와 압력중심점의 동요면적에서 실험군과 대조군 모두 유의하게 증가 했으나 두 집단 간의 유의한 차이가 없었다. 이는 선행 연구에서 가상현실 프로그램 훈련이 균형 향상에 있어 유의한 효과가 있다고 하였는데(Kim, 2016; Lee, 2016; Song과 Park, 2016), 본 연구에서 실험군과 대조군에 적용된 가상현실 프로그램 훈련이 두 군의 균형 능력에 향상을 가져왔다고 생각되어 진다. 비록 균형 능력에서 두 군간의 유의한 차이는 나타나지 않은 것은 가상현실 훈련을 통해 마비측과 비마비측으로의 체중 분배를 유도하는 과제 수행을 통해 몸감각과 시지각 정보를 통해 균형유지에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 자세조절의 특이성 중에서 보행의 균형 조절은 서있는 자세에서 균형 조절과 다르다. 서있는 자세에서 기저면 안에서 중력 중심선을 유지 할 수 있는 것이 목표지만 보행은 불안정한 균형을 끊임없이 조절할 수 있는 것이다(Carr & Shepherd, 2003). 뇌졸중 환자에게 있어서 마비 측 발을 옮길 때 많은 에너지를 소비하며(Chen 등, 2005), 비대칭적으로 균형조절능력이 저하되어 보행속도의 감소로 이어지게 되며, 보행속도 저하는 운동 능력의 제한을 가져오게 된다(Perry, 1992).

보행에 관한 Karthikbabu 등(2011)의 연구에서 갈고리 앉은 자세와 앉은 자세에서 체간 훈련을 시행한 결과 분속수, 보행 속도, 양측 활보장, 환측 한발 지지기 등의 변수에서 유의한 증가를 확인하였으며 이는 체간의 훈련은 보행을 위한 체간조절과 균형에 효과적일 것이라 하였다. Kim 등(2015)은 노인에서 보행에서 동적, 정적 체간 운동에서 두 그룹 모두에서 분속수, 보행 속도, 한걸음 거리, 보행지지, 길이 모두 유의하게 증가하였다고 하였다.

본 연구 결과에서 보행속도를 살펴보면 실험군은 2 cm/s 증가하여 유의한 차이가 있었고, 대조군은 0.73 cm/s 증가하여 유의한 차이가 있었고, 실험군과 대조군의 변화량 비교에서 실험군의 변화량이 대조군의 변화량 보다 차이가 더 크며 통계적으로 유의하였다.

분속수의 경우 실험군은 1.43 step/min 증가하여 유의한 차이가 있었고, 대조군은 0.31 step/min 증가로 유의한 차이가 있었고, 실험군과 대조군의 변화량 비교에서 실험군이 대조군보다 변화량 차이가 더 크며 통계적으로 유의하였다.

한걸음 거리의 경우 실험군은 2 cm 증가하여 유의한 차이가 있었고, 대조군은 0.6 cm 증가하여 유의한 차이가 없었고, 실험군과 대조군의 변화량 비교에서 실험군이 대조군보다 변화량 차이가 더 크며 통계적으로 유의하였다.

이러한 결과 값을 바탕으로 기능적 전기 자극을 통한 몸통근육의 근력 증가는 체간을 조절하는 능력을 향상시키고 이를 바탕으로 보행에 대한 능력들의 전반적인 상승으로 보여진다.

결과에서 한걸음 걸이를 제외한 실험군과 대조군 모두에서 유의한 증가가 있었지만 한걸음 걸이의 경우 대조군에서는 유의한 차이가 없었다. 이는 가상현실 프로그램 훈련이 보행에 있어서 효과적인 중재 방법으로 (Kim 등, 2011; Yom, 2012; Yoon 등, 2016) 속도와 분속수 등의 기능적인 효과를 증가시킬 수 있으나 몸통근육에 대한 직접적인 근력 향상을 이끌어 내기에는 한계가 있었을 것이라 생각된다. 앞선 결과를 바탕으로 몸통의 안정성이 증가되면 균형과 보행에 유의한 효과가 있음을 시사한다고 볼 수 있다. 뇌졸중 환자를 대상으로 한 몸통에 적용한 기능적전기자극은 반복적인 움직임을 유발하여 대뇌겉질 영역을 활성화 시켜 운동 재학습 효과를 이끌어 내고 이를 토대로 몸통의 적절한 조절을 통하여 서기 또는 걷기 등의 능력을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

이를 토대로 지금까지 살펴본 연구의 결과들을 종합해 보면, 가상현실훈련 전 몸통에 적용한 기능적전기자극은 뇌졸중 환자의 균형, 보행속도, 분속수, 한걸음 걸이에 효과적인 운동방법임을 확인하였다. 따라서 뇌졸중 환자의 효과적인 치료를 위한 중재 방법을 연구하는데 있어서 유용한 자료가 될 것이라 생각되며 앞으로 기능적전기자극을 적용한 더 많은 연구가 필요할 것이다.

본 연구의 제한점 및 제언은 다음과 같다.

첫째, 향후 추적연구(follow up)를 하여 중재기간 및 중재에 따른 효과변화를 확인하는 연구가 필요하며 중재기간을 달리하여 기간에 대한 효과를 분석하는 연구가 필요하다.

둘째, 가상현실이 효과적인 중재라는 연구결과는 이미 검증되어 본 연구에서는 가상현실중재효과에 대한 설계가 없었다. 이에 가상현실효과까지 보기위해 군을 설정

하는 연구가 필요하다.

셋째, FES의 경우 적용 부위가 몸통이었기 때문에 자칫 가상현실 프로그램 훈련을 수행함에 있어서 제한이 될 수 있어 본 연구에서는 동시적용을 하지 못했지만 향후 연구에서는 가상현실과 FES의 동시적용에 대한 효과를 입증할 연구가 필요하다.

## V. 결 론

본 연구에서는 기능적전기자극과 가상현실 프로그램 훈련이 뇌졸중 환자에게 미치는 영향에 대하여 알아보았다.

6주간의 기능적전기자극과 가상현실 훈련은 뇌졸중환자의 균형과 보행능력 향상에 유용하며, 긍정적인 효과를 준다고 생각되어진다. 그동안 기능적전기자극은 단순히 사지의 근위축 방지 또는 근력강화를 목적으로 사용되어 왔지만 향후 다양한 연구에서 기능적전기자극을 발전시켜 나간다면 치료에 더 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 생각되어진다.

## 참고문헌

Adamovich SV, Fluet GG, Tunik E, et al(2009). Sensorimotor training in virtual reality: a review. *NeuroRehabilitation*, 25(1), 29-44.

Alan FL, Alon G, Mccarthy PA(2007). Functional electrical stimulation enhancement of upper extremity functional recovery during stroke rehabilitation: A pilot study. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 21(3), 207-215.

Behm DG, Anderson K, Curnew RS(2002). Muscle force and activation under stable and unstable conditions. *Journal of Strength Conditioning Research*, 16(3), 416-422.

Caillet F, Mertens P, Rabaseda S, et al(2003). Three dimensional gait analysis and controlling spastic foot on stroke patients. *Annales De Readaptation Et De*

- Medecine Physique, 46(3), 119-131.
- Carr JH, Shepherd RB(2003). Stroke rehabilitation: Guidelines for exercise and training to optimize motor skill. New York, Butterworth-Heinemann Oxford.
- Chen G, Patten C, Kothari DH, et al(2005). Gait differences between individuals with post-stroke hemiparesis and non-disabled controls at matched speed. *Gait Posture*, 22(1), 51-56.
- Cheng PT, Wu SH, Liaw MY, et al(2001). Symmetrical body-weight distribution training in stroke patients and its effect on fall prevention. *Arch Phys Med Rehabil*, 82(12), 1650-1654.
- Cho MS, Park RJ(2005). Effects of functional electrical stimulation of abdominal muscles on respiratory capabilities and vocalization of adolescents with spastic cerebral palsy. *J Speech Hearing Disorders*, 14(3), 147-165.
- Duncan PW, Horner RD, Reker DM, et al(2002). Adherence to post acute rehabilitation guidelines is associated with functional recovery in stroke. *Stroke*, 33(1), 167-178.
- Felipe PC, Fernanda BR, Carlos BM(2008). Effects of program for trunk strength and stability on pain, low back and pelvis kinematics, and body balance: a pilot study. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 12(1), 22-30.
- Flynn S, Palma P, Bender A(2007). Feasibility of using the sony play station 2 gaming platform for an individual poststroke: a case report. *J Neurol Phys Ther*, 31(4), 180-189.
- Ford MP, Wangenaar RC, Newell KM(2007). The effects of auditory rhythms and instruction on waling patterns in individuals post stroke. *Gait Posture*, 26(1), 150-155.
- Geiger RA, Allen JB, O'Keefe J, et al(2001). Balance and mobility following stroke: effects of physical therapy intervention with and without biofeedback / forceplate training. *Phys Ther*, 81(4), 995-1005.
- Hodges PW, Richardson CA(1997). Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Phys Ther*, 77(2), 132-142.
- Hong JY, Lee HJ(2018). The effect of task oriented exercise and abdominal muscle contraction using FES on abdominal muscle thickness and balance of stroke patients. *Arch Orthop Sports Phys Ther*, 14(2), 115-124.
- Horak FB, Esselman P, Anderson ME(1984). The effects of movement velocity, mass displaced, and task certainty on associated postural adjustments made by normal and hemiplegic individuals. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 47(9), 1020-1028.
- Ikai T, Kamikubo T, Takehara I, et al(2003). Dynamic postural control in patients with hemiparesis. *Am J Phys Med Rehabil*, 82(6), 463-469.
- Jeong JR(2016). Effects of upper extremity weight-bearing training on muscle architecture and function of upper extremity and trunk, quality of life for chronic stroke. Graduate school of Sahmyook University, Republic of Korea, Doctoral dissertation.
- Jeong HJ(2011). Effect of biofeedback training and virtual reality system on gait and balance in stroke patients. Graduate school of Daegu University, Republic of Korea, Master's thesis.
- Jung SM, Jo HY, Im JG, et al(2013). The effects of balance trainer training on muscle strength of ankle joint and balance ability in chronic stroke patients. *J Spe Edu & Rehabil Sci*, 52(4), 377-390.
- Kang TW, Kim TY(2016). Effects of task-oriented postural control training on the postural control, balance and ADL in patients with sub-acute stroke. *J Spe Edu & Rehabil Sci*, 55(2), 135-148.
- Karatas M, Cetin N, Bayramoglu M, et al(2004). Trunk muscle strength in relation to balance and functional disability in unihemispheric stroke patients. *Am J Phys Med Rehabil*, 83(2), 81-87.
- Karthikbabu S, John MS, Manikandan N, et al(2011). Role of trunk rehabilitation on trunk control, balance and gait in patients with chronic stroke: a pre-post design. *Neurosci Med*, 2(2), 61-67.
- Kelly JO, Kilbreath SL, Davis GM, et al(2003). Cardiorespiratory fitness and walking ability in subacute

- stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil*, 84(12), 1780-1785.
- Kim CM, Eng JJ(2003). The relationship of lower-extremity muscle torque to locomotor performance in people with stroke. *Phys Ther*, 83(1), 49-57.
- Kim EK, Kang JH, Lee HM(2010). Effect of virtual reality based game on balance and upper extremity function in chronic stroke patients. *J Spe Edu & Rehabil Sci*, 49(3), 131-149.
- Kim HL(2018). The effects of task oriented training program combined with video action-observation on balance and gait speed in patients with chronic stroke. Graduate school of Korea National University of Transportation, Republic of Korea, Master's thesis.
- Kim NJ, Kim JS, Wang JS, et al(2015). The effects of isometric trunk exercises and dynamic trunk exercises on gait in elderly people. *J Phys Ther Sci*, 27(6), 1685-1689.
- Kim MS(2016). Effect of robot assisted rehabilitation based on visual feedback in post stroke pusher syndrome. *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 17(10), 562-568.
- Kim JH, Lee JS, Lee SH, et al(2011). The effects of virtual reality exercise program with Wii-Fit(TM) on dynamic balance and walking ability in patients with stroke. *J Korean Med Rehabil*, 21(2), 227-238.
- Kim JY(2003). Effect of functional electrical stimulation on the hand function with hemiplegic patient. Graduate school of Dankook University, Republic of Korea, Master's thesis.
- Lamontagne A, Malouin F, Richards CL(2000). Contribution of passive stiffness to ankle plantarflexor moment during gait after stroke. *Arch Phys Med Rehabil*, 81(3), 351-358.
- Lee BB, Boswell RC, Butler JE, et al(2008). Surface functional electrical stimulation of the abdominal muscles to enhance cough and assist tracheostomy decannulation after high-level spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*, 31(1), 78-82.
- Lee BH, Chung EJ, Lee SH(2012). The effects of virtual reality-based with EMG triggered-functional electric stimulation on muscle tone and gait capability in stroke. *Rehabil Res*, 16(3), 361-378.
- Lee CH(2012). The effect of augmented reality-based postural control training on balance, gait function in patients with stroke. Graduate school of Sahmyook University, Republic of Korea, Master's thesis.
- Lee HJ, Lee JY, Tae KS(2013). The effects of low-frequency electrical stimulation on abdominal core muscle activity and thickness. *Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology*, 7(2), 85-90.
- Lee MJ, Lee SM, Koo HM(2016). The effect of training using artificial intelligence virtual reality program on balance and fall efficacy for stroke patients. *Korea Contents Association*, 9(S1), 285-286.
- Lee JA, Hwang SJ, Song CS(2012). Effects of home-based virtual reality on upper extremity motor function for stroke. *Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 13(7), 3023-3029.
- Lee JA(2016). The effect of dual task training(based on international classification of functioning, disability and health) on gait and self-efficacy scale with chronic stroke. Graduate school of Honam University, Republic of Korea, Master's thesis.
- Lee SH(2018). The effect of speed control gait training on ambulatory capacity and lung function of stroke patients. Graduate school of Dongshin University, Republic of Korea, Master's thesis.
- Magee DJ(2013). *Orthopedic physical assessment*. Philadelphia, Elsevier Health Sciences.
- Maribo T, Stengaard-Pedersen K, Jensen LD, et al(2011). Postural balance in low back pain patients : Intra-session reliability of center of pressure on a portable force platform and of the one leg stand test. *Gait Posture*, 34(2), 213-217.
- McBain RA, Boswell RC, Lee BB(2013). Abdominal muscle training can enhance cough after spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair*, 27(9), 834-843.

- Mcgill SM, Karpowicz A(2009). Exercises for spine stabilization : Motion/motor patterns, stability progression, and clinical technique. *Arch Phys Med Rehabil*, 90(1), 118-126.
- Morris S, Morris ME, Iansek R(2001). Reliability of measurements obtained with the timed up and go test in people with Parkinson disease. *Phys Ther*, 81(2), 810-818.
- Nordin M, Kahanovitz N, Verderame R, et al(1987). Normal trunk muscle strength and endurance in women and the effect of exercises and electrical stimulation. Part 1: normal endurance and trunk muscle strength in 101 women. *Spine*, 12(2), 105-111.
- Nozomu H(2003). Restoration of motor function using electrical stimulation : functional electrical stimulation (FES). *Korean Society for Precision Engineering*, 20(1), 26-35.
- Perry J, Burnfield J(1992). *Gait analysis: normal and pathological function*. New Jersey, SLACK Incorporated. pp.95-98.
- Piirainen JM, Avela J, Sippola N, et al(2010). Age dependency of neuromuscular function and dynamic balance control. *Euro J Sport Sci*, 10(1), 69-79.
- Podsiadlo D, Richardson S(1991). The timed Up & Go : A test basic functional mobility for frail elderly person. *J Am Geriatr Soc*, 39(2), 142-148.
- Richardson CA, Jull GA(1995). Muscle control pain control. What exercise would you prescribe. *Man Ther*, 1(1), 2-10.
- Rizzo J, Bernstein D, Gress F(2000). A performance, safety and cost comparison of reusable and disposable endoscopic biopsy forceps: a prospective, randomized trial. *Gastrointestinal Endoscopy*, 51(3), 257-261.
- Seo DK, Kwon OS, Kim JH, et al(2012). The effect of trunk stabilization exercise on the thickness of the deep abdominal muscles and balance in patients with chronic stroke. *J Phys Ther Sci*, 24(2), 181-185.
- Sheffler LR, Chae J(2007). Neuromuscular electrical stimulation in neuro rehabilitation. *Muscle Nerve*, 35(5), 562-590.
- Shumway-Cook A, Woollacott MH(2001). *Motor control: Theory and practical application*, 2nd ed, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins.
- Sim GS, Jeon HS(2016). Comparison of the effects of Wii balance games and mirror self-balancing exercises on knee joint proprioception and balance in chronic stroke patients. *Phys Ther Korea*, 24(1), 30-40.
- Song CH, Seo SM, Lee KJ, et al(2011). Video game-base exercise for upper-extremity function, strength, visual perception of stroke patients. *J Spe Edu & Rehabil Sci*, 50(1), 155-180.
- Song EY, Song BK(2010). Effects on walking upon improvement of postural control after Bobath approach therapy for hemiplegic patient. *Korea Society for Neurotherapy*, 14(1), 45-55.
- Song GB, Park EC(2016). Comparison of the effects of task-oriented training and virtual reality training on upper extremity function, balance ability, and depression in stroke patients. *J Korean Soc Phys Med*, 11(1), 115-125.
- Verheyden G, Vereeck L, Truijen S(2006). Trunk performance after stroke and the relationship with balance, gait and functional ability. *Clin Rehabil*, 20(5), 451-458.
- Walker C, Brouwer BJ, Culham EG(2000). Use of visual feedback in retraining balance following acute stroke. *Phys Ther*, 80(9), 886-895.
- World Health Organization(2016). *WHO methods and data sources for country-level causes of death 2000-2015*. Geneva, Switzerland: Author.
- Yom CH(2012). The effects of virtual reality based ankle exercise on dynamic balance, muscle tone and gait in people with stroke. Graduate school of Sahmyook University, Republic of Korea, Master's thesis.
- Yoon JH, You YY, Kim JH, et al(2016). The effect of emphasis trunk symmetric control with visual feedback in hemiplegia patient gait. *Korean Soc Med Ther Sci*, 8(2), 67-74.