

## 아급성기 뇌졸중 환자의 보행동안 청각적 피드백과 기능적 전기 자극 적용이 균형, 보행 및 하지 기능에 미치는 영향

남민주 · 정용범<sup>1</sup> · 김창걸<sup>2</sup> · 김명권<sup>3†</sup>

대구대학교 재활과학대학원 물리치료학과, <sup>1</sup>대구대학교 일반대학원 재활과학과,  
<sup>2</sup>㈜지오에스, <sup>3</sup>대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

### Study on Effects of Auditory Feedback and Application of Functional Electrical Stimulation During Gait on Balance, Gait and Lower Extremity Function in Patients with Subacute Stroke

Min-Ju Nam, PT, MS · Yong-Bum Jung PT, MS<sup>1</sup> · Chang-Geol Kim PhD<sup>2</sup> · Myoung-Kwon Kim<sup>3†</sup>

Department of Physical Therapy, Graduate School of Rehabilitation Science, Daegu University

<sup>1</sup>Department of Rehabilitation Sciences, Graduate School, Daegu University

<sup>2</sup>GOS. Co., Ltd

<sup>3</sup>Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Sciences, Daegu University

Received: June 26 2023 / Revised: July 7 2023 / Accepted: August 14 2023

© 2023 J Korean Soc Phys Med

#### | Abstract |

**PURPOSE:** Examine the effects of auditory feedback and functional electrical stimulation on balance, walking ability, and lower extremity function of subacute stroke patients.

**METHODS:** Twenty-seven subjects diagnosed with subacute stroke within six months were randomly divided into three groups: test group 1, which performed walking exercises with auditory feedback and functional electrical stimulation; test group 2, which performed walking exercises only with functional electrical stimulation; control group applied only

functional electrical stimulation, with nine subjects each.

**RESULTS:** There were significant pre- to post-intervention differences in BBS in the gait training group with auditory feedback and functional electrical stimulation treatment, and significant pre- to post-intervention differences in BBS, sit-to-stand time, and average step speed in the gait training group with functional electrical stimulation, but no statistically significant differences in between-group comparisons.

**CONCLUSION:** Gait training with auditory feedback and functional electrical stimulation can improve the balance and gait performance in stroke patients. Therefore, in the future, gait training with auditory feedback and functional electrical stimulation therapy may be suggested as a gait rehabilitation training tool for stroke patients.

†Corresponding Author : Myoung-Kwon Kim

skybird-98@hanmail.net, <http://orcid.org/0000-0002-7251-6108>

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:** Auditory feedback, Balance, FES, Stroke

## I. 서론

뇌졸중은 뇌로 전달되는 혈액 공급이 차단되거나 혹은 뇌 조직으로 출혈이 발생하여 뇌에 혈액 공급의 장애가 나타나는 뇌혈관 질환으로[1], 일반적으로 뇌졸중으로 인한 편마비 환자는 감각장애와 균형 능력의 감소로 기립 자세에서 마비측 하지로 체중부하를 더 적게 주는 경향이 있어 자세의 비대칭적 특성이 나타나는데 이로 인해 일상생활 동작, 보행과 이동에 많은 장애를 초래시킨다[2-4]. 또한 뇌졸중 환자의 증상 중 균형 장애는 흔하게 나타난다[5].

균형이란 두발이나 한발로 기저면(Base Of Support, BOS) 내에서 중력중심(Center Of Gravity, COG)을 유지하여 자세 안정성을 지속적으로 유지해 가는 과정을 의미한다[6]. 균형은 정적 균형과 동적 균형으로 분류하며, 정적 균형은 고정된 지면에서 몸의 요동 없이 있을 수 있는 능력을 말하고, 동적 균형은 지지면이 흔들리거나 외부로부터 자극이 있거나 스스로 움직일 때의 균형을 말한다[7,8]. 뇌졸중이 발병하면 균형과 보행 능력이 저하되어 일상생활 활동에 어려움이 생기며, 보행 시 비대칭적 자세로 인하여 비정상적인 보행이 발생하고 낙상과 같은 이차적인 문제점을 일으킨다[8].

뇌졸중 환자의 균형 능력과 보행 능력의 증진에 감각적 요소가 중요한 부분을 차지하고 있고, 외부에서 입력되는 감각자극을 이용한 새로운 중재방법이 개발되고 있으며[9]. 물리치료사에 의한 촉각자극, 신장자극, 진동자극, 차가운 자극, 시각자극, 청각자극 등은 뇌졸중 환자의 치료에 널리 적용되고 있다[10].

청각적 피드백은 환자의 과제 수행력 증진을 위해 이용되며, 스스로 서있는 상태에서 자세 안정성을 향상시킬 수 있어서 노인의 낙상을 감소시키는 데 효과적으로 사용할 수 있었다[11]. 마비 측의 체중부하를 향상시키기 위하여, 뇌졸중 환자에게 청각적 피드백을 이용한 체중 부하 훈련을 제공하였을 때 마비 측의 체중지지를 증가시킨다고 하였으며[12], 시청각적 피드백 훈련이 뇌졸중 환자의 동적 균형 능력의 향상과 체중 분포가 대칭적으로 변화한다고 하였다[13].

보행은 인체의 이동을 위한 가장 기본적인 운동으로

상하지의 협응이 필요하며, 각 분절의 연속적이고 반복적인 움직임으로 이루어지는 복합적인 동작이다. 이러한 분절들 사이의 협응은 기능적인 보행을 위한 필수적인 요소이기도 하다[14]. 뇌졸중 환자의 보행 양상은 양 발의 기저면이 넓고 비마비 측의 한 발짝과 한걸음 길이는 줄어들고, 비마비 측의 흔들기는 줄어들며 디딤기는 늘어난다[15]. 이러한 다양한 병적 보행으로 인하여 환자들은 보행 시 에너지 소모가 큰 비효율적인 보행 양상을 보인다[16].

이러한 이유로 뇌졸중 환자의 균형과 보행에 기능적 전기자극치료는 뇌졸중 환자에게 이용되며, 치료기기의 발달로 근력 증가와 근 재교육으로 보행 능력의 향상을 가져왔다[17]. 또한 뇌졸중 환자들이 보행을 하는 동안 에너지 효율성을 높게 된다[18]. 기능적 전기자극을 사용한 보행훈련이 기능적 전기자극을 사용하지 않은 보행훈련과 비교를 했을 때 보행 협응 능력에서도 유의한 효과가 있었다[19]. 기능적 전기자극과 부분적인 체중지지를 결합한 지상 보행 훈련이 뇌졸중 환자의 보행과 균형에 유의미한 효과를 보였다[20]. 동적 관찰 치료를 병행한 기능적 전기자극 치료가 뇌졸중 환자의 균형을 향상시키고 마비 측과 비마비측간의 체중지지를 향상시켰다[21].

이전 연구를 종합해 봤을 때 기능적 전기자극은 단독적인 상태에서 다른 운동과의 결합 없이 단독으로 치료를 할 시에는 치료 효과가 줄어들어 다른 능동적인 운동과의 결합이 필요하다[21]. 또한 뇌졸중 환자에게 청각적 피드백을 이용한 훈련을 통하여 환측에 체중지지가 증가될 수 있다[22]. 뇌졸중 환자의 마비측 하지의 초기 접지기를 강조한 청각적 피드백 보행 운동이 다른 보행 훈련과 비교하였을 때 균형 능력과 보행 능력에 유의한 향상을 나타냈었다[23].

기능적 전기자극 치료를 동반한 보행훈련이 뇌졸중 환자의 보행능력에 긍정적인 효과를 준다는 연구들은 많았지만 청각적 피드백과 기능적 전기자극 치료를 동반한 보행훈련에 관한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 청각적 피드백과 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행 훈련이 아급성기 뇌졸중 환자의 균형과 보행능력, 하지 기능에 미치는 효과에 대하여 알아보려고 한다.

## II. 연구방법

### 1. 참여자

본 연구는 대구 북구 소재 00 재활병원에서 자기공명 현상(Magnetic resonance imaging, MRI) 과 단층화 촬영(Computed tomography, CT)을 통해 뇌졸중으로 진단을 받고 2023년 1월부터 입원 치료중인 아급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 진행하였다. 모든 실험 대상자에게 연구에 참여하기 전 본 연구의 방법과 목적에 대해 충분히 설명하고 자발적으로 동의한 환자들을 대상으로 실시하였다. 연구대상자의 선정기준에 해당하는 30명의 환자를 제비뽑기를 통해 무작위로 각 그룹에 10명씩 환자를 배치하였고, 연구를 완료한 30명의 수집된 자료로 통계처리를 한 후 결과를 분석하였다. 청각적 피드백과 기능적 전기자극 치료를 동반한 보행훈련을 하는 실험군1 10명, 기능적 전기자극 치료를 동반한 보행훈련을 하는 실험군2 10명, 실험군과 달리 보행훈련 없이 기능적 전기자극만 적용하는 대조군 10명을 대상으로 시행하였다. 실험군과 대조군은 중재 전 사전 검사로 QTUG, BBS를 각각 측정하였고 실험군1은 청각적 피드백과 기능적 전기자극 치료를 동반한 보행훈련, 실험군 2는 기능적 전기 자극 치료만 동반한 보행훈련, 대조군은 보행훈련 없이 기능적 전기 자극 치료만 15분씩 주 5회로 4주 동안 실시하였다. 실험 중 퇴원으로 인해 실험군 2명, 대조군 1명이 실험에 끝까지 참여하지 못하여 두 실험군 9명, 대조군 9명으로 총 27명이 참여하였다.

연구 대상자 선정 기준은 다음과 같다. 뇌졸중 발병 이후 3개월에서 6개월 사이인 자, 한국판 간이 정신상태 검사(Korean version of mini mental status examination: K-MMSE) 점수가 24점 이상인 자, 보행과 관련된 정형 외과적 질환이 없는 자, 전기적 자극에 특별한 이상 징후가 없는 자, 수정된 Ashworth 척도(Modified Ashworth Scale, MAS) 하지 경직의 정도는 1등급 또는 2등급 이하인자, 기능적 보행 지수 점수(Functional ambulation category, FAC)가 2점 이상인 자, 10 M 이상 독립적 보행을 수행할 수 있는 자이다[24-27].

또한 연구 대상자 제외 기준은 다음과 같다. 인지

손상과 정신적 기능 장애가 있는 자, 균형 능력에 영향을 주는 동시 질병이 있는 자이다

### 2. 실험절차

본 연구는 대구대학교 생명연구윤리위원회의 승인을 받은 후 실험을 진행하였다(1040621-202301- HR-013). 본 연구에서 표본 수는 G power 3.1.9.7 program을 사용하여 유의수준 .05, 효과크기 .55, 검정력 80%를 기준으로 설정했을 때 필요한 최소 표본수 27명이었으며 탈락을 10%를 고려하여30명을 모집하였다. 본 연구 대상자의 선정을 위해 대구 북구 소재 00 재활병원에 입원중인 환자들 중 실험의 목적을 이해하고, 과정에 대한 설명을 듣고 동의한 환자 30명을 선정하여 훈련을 실시하였다. 훈련 전 의사의 진료를 통하여 성별, 체중, 신장, 나이 등 일반적 특성을 조사하였다. 각 그룹의 모든 대상자들은 근력강화운동, 신장운동, 보행운동 등 기존의 중추신경계발달치료를 30분간 실시하였고, 별도로 15분간 기능적 전기 자극 치료를 실시하였다. 모든 대상자들은 실험 전과 후 균형 능력 변화에 대한 평가를 하기 위해, 버그 균형 척도(Berg Balance Scale, BBS), Kinesis QTUG(Quantitative Timed Up and Go, QTUG) 실시하여 균형 변화를 평가하였다.

### 3. 실험방법

#### 1) 기능적 전기자극치료기

기능적 전기자극 치료기는 지오에스(GOS)에서 개발한 세라(GOSCARE SERA, SERA)를 이용하여 활동 전극은 온종아리신경을 자극하도록 부착하였고, 기준 전극은 앞정강근에 배치시켜 온종아리신경의 신경지배를 받는 발목관절 및 발가락의 근육들이 자극되도록 하였다. 기능적 전기자극의 파형은 양방향 구형파, 주파수는 80 Hz, 펄스폭은 300  $\mu$ s 설정하고, 전기 자극의 강도는 근육의 가시적 수축이 유발되는 환자가 견딜 수 있는 강도로 적용하였다[28,29].

#### 2) 청각적 피드백

보행 시 환측을 바닥에 정상적 지지하는지 사용자에

게 피드백 하기 위하여 제품에 내장된 청각 피드백 기능을 활성화하였다. 청각 피드백 기능은 뒤꿈치 센서의 압력 변화에 따른 청각적 피드백을 제공하는 기능으로서 사용자가 뒤꿈치 닿기를 하는 시점을 청각적으로 알 수 있게 해주는 기능이다.

### 3) Kinesis QTUG(Quantitative Timed Up and Go, QTUG)

Kinesis Health Technologies에서 제공하는 QTUG(Quantitative Timed Up and Go) 시스템은 환자의 다리에 배치된 무성 관성 센서(3축 가속도계와 자이로스코프)의 데이터를 이용하여, MATLAB에서 개발한 신호처리 알고리즘 및 머신 러닝 기반 분류기로 낙상 위험 추정치(FRE) 및 약점 지수(FI)를 계산한다[30-32]. QTUG는 사람의 정강이에 착용한 센서를 사용하여 TUG 테스트의 여러 단계를 감지하고 시간을 측정하는 동시에 테스트의 걷는 부분 동안 공간 및 시간 분석을 제공하며, TUG 테스트 완료시간, 앉은 자세에서 일어서기까지 걸리는 시간, 한 걸음 시간, 한 걸음 속력, 반환점 도는 시간, 반환점 도는 걸음 수를 기록할 수 있다[31-34]. QTUG는 전향 연구(N = 226) 및 횡단 연구를(N = 748) 통해 검증을 통해 노인의 낙상 위험도를 측정하는데 이용된다[35-39]. 기존의 측정법인 TUG 검사 및 버그 균형 척도와 비교한 결과, 낙상 위험을 평가하는 데 있어 QTUG가 더 정확한 것으로 알려졌다[37,39].

### 4) 버그 균형 척도(Berg Balance Scale, BBS)

버그 균형 척도는 노인 균형평가를 위해 처음 개발되었으며, 뇌졸중과 외상성 뇌손상 등의 질환에도 타당도가 인정된 평가도구이다[40-42]. 앉기, 서기, 자세변화의 3개 항목으로 나누어지고 총 14개 항목으로 구성된 버그 균형 척도는 최소 0점에서 최고 4점을 적용하여 총 56점 만점이다. 이 측정도구는 측정자 내 신뢰도는  $r = .99$ 이고 측정자간 신뢰도가  $r = .98$ 로 높은 신뢰도와 타당도를 가진 균형 평가 도구이다[41].

### 4. 자료 분석

본 연구의 자료 분석은 그룹별로 9명씩 총 27명을 대상으로 자료를 분석하였다. 통계처리는 SPSS version

20.0 for window software 프로그램을 이용하여 분석하였다. 대상자의 일반적인 특성 분석을 위해 빈도분석(Frequency Analysis)과 기술통계분석(Descriptive Statistics Analysis)를 이용하였다. 모든 자료는 샤피로-윌크 검정(Shapiro-Wilk test)으로 정규성 검정을 하였으며 이에 따라 비모수적 검정을 사용하여 분석하였다. 그룹 내 중재 전, 중재 후 각각의 변화를 알아보기 위해 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon signed rank test)을 하였고, 세 그룹의 중재 전, 중재 후의 비교를 위해 크루스칼 월리스 검정(Kruskal-wallis test)을 하였고, 본 페로니 검정(Bonferroni correction)을 이용하여 사후검정을 실시하였다. 통계학적 유의수준( $\alpha$ )은 .05로 설정하였다.

## III. 연구결과

본 실험 결과 청각적 피드백과 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련군의 버그 균형 척도는 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p < .05$ ). 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련군의 버그 균형 척도는 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 있었으나 ( $p < .05$ ) 기능적 전기 자극 치료만 적용한 군에서는 버그 균형 척도는 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > .05$ )(Table 1)(Fig. 1). 중재방법에 따른 버그 균형 척도 전후 차이에 대해 설명하기 위해 사후 검정을 실시한 결과 각 그룹 간의 비교에서 버그 균형 척도 전후 차이는 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > .05$ )(Table 2).

앉은 자세에서 일어서기까지 걸리는 시간의 경우 청각적 피드백과 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행 훈련군의 시간 평균은 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 없었고( $p > .05$ ), 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련군의 시간 평균은 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p < .05$ ). 기능적 전기 자극 치료 적용군의 시간 평균은 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > .05$ )(Table 3)(Fig. 2). 앉은 자세에서 일어서기까지 걸리는 시간 전후 차이의 군간 비교에서 사후 검정을 실시한 결과 각 그룹 간의 비교에서 앉은 자세에서 일어서기까지 걸리는 시간의 전후 차이는 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > .05$ )(Table 4).

Table 1. Comparison of the Berg Balance Scale of pre- and post-values for the three groups

	Group 1	Group 2	Group 3	p
Pre	31.56 ± 9.07	31.78 ± 13.77	37.67 ± 12.18	.404
Post	43.33 ± 9.01	35.00 ± 13.77	38.44 ± 12.84	.416
T	.000	.000	6.000	
Change Rate(%)	27.16	9.2	2	
P	.004*	.009*	.400	

Group 1 Gait training with auditory feedback and functional electrical stimulation treatment

Group 2 Gait training with functional electrical stimulation treatment

Group 3 Functional Electrical Stimulation Treatment Application

Mean ± standard deviation

\*p < .05

Table 2. Compare the Berg balance scale for before and after differences between the three groups

Intervention	Intervention	MD	SE	p
Group 1	Group 2	8.33	5.68	.466
Group 1	Group 3	4.89	5.68	1.000
Group 2	Group 3	-3.44	5.68	1.000

Group 1 Gait training with auditory feedback and functional electrical stimulation treatment

Group 2 Gait training with functional electrical stimulation treatment

Group 3 Functional Electrical Stimulation Treatment Application

Mean ± standard deviation

\*p < .05

Table 3. Comparison of the sit-to-stand time between the pre- and post-values for three groups

	Group 1	Group 2	Group 3	p
pre	2.17 ± 1.54	1.91 ± .63	2.10 ± 2.05	.922
post	2.00 ± .85	1.24 ± .66	1.53 ± .36	.106
t	23.000	3.000	25.000	
Change rate(%)	8.5	35.07	37.25	
p	1.000	.042*	.813	

Group 1 Gait training with auditory feedback and functional electrical stimulation treatment

Group 2 Gait training with functional electrical stimulation treatment

Group 3 Functional Electrical Stimulation Treatment Application

Mean ± standard deviation

\*p < .05

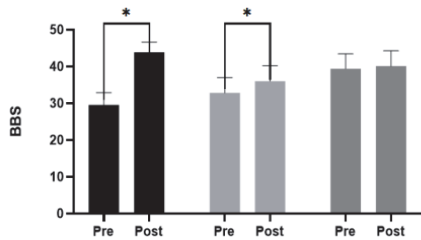


Fig. 1. Comparing Berg balance scales.

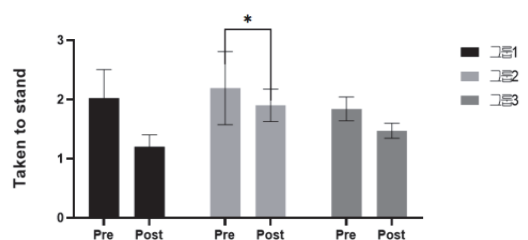


Fig. 2. The time taken to stand up from a seated position.

Table 4. Sit to Stand time comparison of before and after differences between the three groups

Intervention	Intervention	MD	SE	p
Group 1	Group 2	-.72	.32	.107
Group 1	Group 3	-.34	.32	.897
Group 2	Group 3	.38	.32	.768

Group 1 Gait training with auditory feedback and functional electrical stimulation treatment

Group 2 Gait training with functional electrical stimulation treatment

Group 3 Functional Electrical Stimulation Treatment Application

Mean ± standard deviation

\*p < .05

Table 5. Compare the average one-step speed between pre- and post-values for the three groups

	Group 1	Group 2	Group 3	p
pre	58.44 ± 13.99	66.11 ± 13.57	61.58 ± 19.26	.053
post	62.23 ± 18.01	84.58 ± 23.95	89.29 ± 22.00	.059
t	20.000	4.000	5.000	
Change rate(%)	6.09	21.83	31.03	
p	.820	.027 *	.039 *	

Group 1 Gait training with auditory feedback and functional electrical stimulation treatment

Group 2 Gait training with functional electrical stimulation treatment

Group 3 Functional Electrical Stimulation Treatment Application

Mean ± standard deviation

\*p < .05

Table 6. Compare the average step speed for the before and after difference between the three groups

Intervention	Intervention	MD	SE	p
Group 1	Group 2	-2.40	2.30	.920
Group 1	Group 3	1.31	2.30	1.000
Group 2	Group 3	3.71	2.30	.358

Group 1 Gait training with auditory feedback and functional electrical stimulation treatment

Group 2 Gait training with functional electrical stimulation treatment

Group 3 Functional Electrical Stimulation Treatment Application

Mean ± standard deviation

\*p < .05

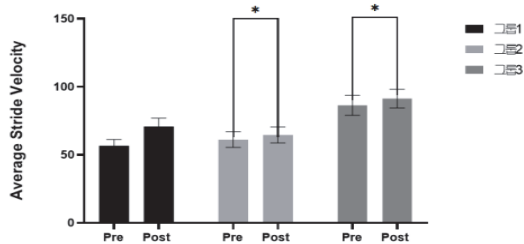


Fig. 3. Compare step speed averages.

한 걸음 속력 평균의 경우 청각적 피드백과 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련군의 한 걸음 속력 평균은 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 없었다(p >.05). 그렇지만 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행 훈련군의 한 걸음 속력 평균은 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 있었고(p >.05), 기능적 전기 자극 치료 적용군의 한 걸음 속력 평균은 실험 전후 통계적으로



유의한 차이가 있었다( $p < .05$ )(Table 5)(Fig. 3). 중재방법에 따른 한 걸음 속력 평균 전후 차이에 대해 설명하기 위해 사후 검정을 실시한 결과 각 그룹 간의 비교에서 한 걸음 속력 평균의 전후 차이는 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > .05$ )(Table 6).

#### IV. 고찰

본 연구는 6개월 이내 아급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 4주간 청각적 피드백과 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련군, 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련군과 기능적 전기 자극 치료 적용군으로 나누어 세 그룹 간 비교를 통해 균형 및 보행능력, 일상생활 동작의 변화를 알아보고자 하였다. 균형능력 평가를 위해 버그 균형 척도(BBS)와 Kinesis QTUG를 사용하여 일어나 걸어가기 시간, 앉은 자세에서 일어서기까지 걸리는 시간, 한 걸음 시간 평균, 한 걸음 속력 평균, 반환점 도는 시간, 반환점 도는 걸음 수를 알아보고자 하였다.

본 연구에서 버그 균형 척도(BBS)를 이용하여 중재 전후 비교한 결과 청각적 피드백과 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련군과 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련군에서 각각 27.16%, 9.2%로 유의한 증가가 나타났으며 이전 연구에서 전기 자극 치료를 동반한 트레이드밀 훈련이 균형을 증가시킨다는 결과 [43]와 일치하였으며, 뇌졸중 환자에게 인술을 이용한 청각적 피드백이 균형 능력을 향상시킨다는 결과와 일치하였다[44]. 또 다른 균형능력을 평가하는 Kinesis QTUG를 이용한 검사에서 중재 전후 비교한 결과 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련군에서만 앉은 자세에서 일어서기까지 걸리는 시간에서 35.07%로 유의한 증가가 있었고, 한 걸음 속력 평균은 청각적 피드백과 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련군과 기능적 전기 자극 치료 적용군에서 각각 21.83%, 31.03%로 유의한 증가가 있었으며 이전 연구에서 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행 훈련이 균형 및 보행 능력에 도움을 준다는 연구 결과와 일치하였다[45]. 통계적으로 유의한 차이는 없었지만 청각적 피드백과 기

능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련군이 반환점 도는 걸음 수 변화율이 40.44%로 가장 크게 나타났다. 이러한 결과는 Robertson 등[46]은 연구에서 뇌졸중 환자 15명을 대상으로 4주간 기능적 전기 자극을 앞정강근에 적용하여 균형 훈련을 실시한 결과, 기능적 전기 자극을 적용한 그룹에서 균형 능력에 유의한 차이가 있었다고 보고하였고, Jun 등[20]의 연구에서 발뒤꿈치 당기를 강조한 청각적 피드백 훈련이 마비측 하지의 체중지지율을 증가시켜 균형능력 향상에 더 긍정적인 효과를 일으킨 것으로 볼 수 있고 청각적 피드백을 이용한 훈련을 이용한 보행훈련이 균형능력과 보행 기능에 더 유의한 향상을 보고한 선행 연구들의 결과와 일치하였다. 앉은 자세에서 일어서기까지 걸리는 시간과 한 걸음 속력 평균, BBS, 10MWT에서 유의한 차이가 있었는데도 불구하고 4주간의 짧은 중재 기간으로 인하여 세 그룹 간의 차이가 없는 것으로 사료된다.

연구의 진행과정에서 몇 가지 제한점이 있었다. 첫째, 4주간의 보행훈련을 진행하여 효과를 평가한 것으로 장기간 치료 효과를 판단할 수 없었고, 사후 유지 능력(follow up test)을 진행하지 않았다는 제한점이 있다. 둘째, 삶의 질, 일상생활동작에 대해서 확인하지 못한 점, 셋째, 적은 수의 대상자로 진행하여 연구결과를 모든 뇌졸중 환자에게 일반화하기에 어려움이 있다. 추후 연구에서는 이러한 제한점을 충분히 고려하여 좀 더 객관적인 결과를 얻어내는 것이 필요할 것으로 생각된다.

#### V. 결론

본 연구는 청각적 피드백과 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련이 아급성기 뇌졸중 환자의 균형 및 보행 능력, 하지 기능에 어떤 영향을 미치는지를 알아보고자 하였다.

청각적 피드백과 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련군에서 BBS에서 중재 전후를 비교하여 통계적으로 유의한 차이가 있었으며 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련군에서는 BBS, 앉은 자세에서 일어서기까지 걸리는 시간, 한 걸음 속력 평균에서 중재 전후에 유의한 차이가 있었으나 그룹 간 비교에서는

통계적으로 유의한 차이가 없었다.

본 연구를 통하여 청각적 피드백과 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련이 뇌졸중 환자의 균형과 보행 능력을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 향후 청각적 피드백과 기능적 전기 자극 치료를 동반한 보행훈련이 뇌졸중 환자의 보행 재활 훈련 도구로 제시할 수 있고, 이보다 더 많은 대상자와 기간에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 보인다.

### Acknowledgements

본 연구는 2022년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임[S3283704].

### References

- [1] Sims NR, Muyderman H. Mitochondria, oxidative metabolism and cell death in stroke. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*. 2010;1802(1):80-91.
- [2] Shumway-Cook A, Woollacott MH. Theory and practical applications. *Motor control*. 1995:89-90.
- [3] Kim JS. The change of spasticity and gait parameters in stroke patients by reciprocal inhibition. Daegu University Doctor's Degree. 2004.
- [4] Lee SR, Kwon HC. The relationship between activities of daily living and cognitive score in stroke patients. *Phys Ther Korea*. 2003;10(3):41-51.
- [5] Tyson SF, Hanley M, Chillala J, et al. Balance disability after stroke. *Phys Ther*. 2006;86(1):30-8.
- [6] Cohen H, Blatchly CA, Gombash LL. A study of the clinical test of sensory interaction and balance. *Phys Ther*. 1993;73(6):346-51.
- [7] Jung S-R, Won J-I. Effects of dual-task training on balance and gait performance in patients with stroke. *Phys Ther Korea*. 2014;21(2):18-27.
- [8] Choi HS, Jeon SB. Effect of backward walking training on balance capability and gait performance in patients with stroke. *J Digit Converg*. 2015;13(1):367-73.
- [9] Michel J, Mateer C. Attention rehabilitation following stroke and traumatic brain injury. *Eura Medicophys*. 2006;42(1):59-67.
- [10] Schauer M, Mauritz K-H. Musical motor feedback (MMF) in walking hemiparetic stroke patients: randomized trials of gait improvement. *Clin Rehabil*. 2003;17(7):713-22.
- [11] Mirelman A, Herman T, Nicolai S, et al. Audio-biofeedback training for posture and balance in patients with Parkinson's disease. *J Neuroeng Rehabil*. 2011;8:1-7.
- [12] Sackley C, Baguley B. Visual feedback after stroke with the balance performance monitor: two single-case studies. *Clin Rehabil*. 1993;7(3):189-95.
- [13] Youn S. The effect of audiovisual biofeedback exercises on the balance and gait of chronic hemiplegia patients. Master's Degree. Eulji University. 2009.
- [14] Kizony R, Levin MF, Hughey L, et al. Cognitive load and dual-task performance during locomotion poststroke: a feasibility study using a functional virtual environment. *Phys Ther*. 2010;90(2):252-60.
- [15] Aoyagi Y, Tsubahara A. Therapeutic orthosis and electrical stimulation for upper extremity hemiplegia after stroke: a review of effectiveness based on evidence. *Top Stroke Rehabil* 2004;11(3):9-15.
- [16] Kottink AI, Hermens HJ, Nene AV, et al. Therapeutic effect of an implantable peroneal nerve stimulator in subjects with chronic stroke and footdrop: a randomized controlled trial. *Phys Ther*. 2008;88(4):437-48.
- [17] Daly JJ, Zimbelman J, Roenigk KL, et al. Recovery of coordinated gait: randomized controlled stroke trial of functional electrical stimulation (FES) versus no FES, with weight-supported treadmill and over-ground training. *Neurorehabil Neural Repair*. 2011;25(7):588-96.
- [18] Wang GS, Yoon SW, Cho WS, et al. Effect of the combined use of fes and over ground walking with partial body-weight support on walking and balance competency in patients with chronic strokes. *J Kor Acad Clin Elec*. 2012;10(1):15-22.



- [19] Kang KY, Kim TY. Effects of a combined functional electrical stimulation with action observation training for balance and gait performance in stroke patients. *J Korean Soc Phys Med.* 2016;11(2):93-102.
- [20] Jun H-J, Lee J-S, Kim K-J, et al. Effect of auditory biofeedback training and kicking training on weight-bearing ratio in patients with hemiplegia. *J Korean Soc Phys Med.* 2014;9(4):363-73.
- [21] Kim J-D, Cha Y-J, Youn H-J. Effects of emphasized initial contact auditory feedback gait training on balance and gait in stroke patients. *J Korean Soc Phys Med* 2015;10(4):49-57.
- [22] Kim SM, Kim YM. Effect of both lower extremities proprioceptive neuromuscular facilitation training with functional electrical stimulation on the balance and gait of stroke patient: A randomized controlled trial. *J Korean Soc Phys Med.* 2020;15(1):123-32.
- [23] Jang EJ. The Effects of PNF low extremity pattern on standing balance and gait in stroke patients by ramp and stairs. Daegu University, Master's Degree. 2013.
- [24] Lee SK, Park MC, Sim JM, et al. The effect of closed kinetic chain exercise with fes of the gluteus medius on gait in stroke. *J Korean Soc Phys Med.* 2011;6(1).
- [25] Kim JH, Uhm YH. The Effects of biofeedback fusion postural control training using functional electrical stimulation on the muscle activity and balance ability of the stroke patient. *J Digit Converg.* 2019;17(12).
- [26] Lindquist AR, Prado CL, Barros RM, et al. Gait training combining partial body-weight support, a treadmill, and functional electrical stimulation: Effects on poststroke gait. *Phys Ther.* 2007;87(9):1144-54.
- [27] Yang CY, Kim TJ, Lee JH, et al. The effect of functional electrical stimulation on the motor function of lower limb in hemiplegic patients. *J Korean Acad Rehabil Med.* 2009;33(1):29-35.
- [28] Duncan PW, Propst M, Nelson SG. Reliability of the Fugl-Meyer assessment of sensorimotor recovery following cerebrovascular accident. *Phys Ther.* 1983; 63(10):1606-10.
- [29] Sanford J, Moreland J, Swanson LR, et al. Reliability of the Fugl-Meyer assessment for testing motor performance in patients following stroke. *Phys Ther.* 1993;73(7):447-54.
- [30] Park CS. The inter · intra-rater reliability and longitudinal construct validity of short form of the dynamic gait index in patients with subacute stroke. *J Spec Educ Rehab.* 2015;54(3):45-58.
- [31] Cheng P-T, Liaw M-Y, Wong M-K, et al. The sit-to-stand movement in stroke patients and its correlation with falling. *Arch Phys Med Rehabil.* 1998;79(9):1043-6.
- [32] Dite W, Temple VA. Development of a clinical measure of turning for older adults. *Am J Phys Med Rehabil.* 2002;81(11):857-66.
- [33] Najafi B, Aminian K, Loew F, et al. Measurement of stand-sit and sit-stand transitions using a miniature gyroscope and its application in fall risk evaluation in the elderly. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2002;49(8):843-51.
- [34] Smith E, Cunningham C, Greene BR, et al. Detecting subtle mobility changes among older adults: the quantitative timed up and go test. *Aging Clin Exp Res.* 2021;33:2157-64.
- [35] Botner EM, Miller WC, Eng JJ. Measurement properties of the activities-specific balance confidence scale among individuals with stroke. *Disabil Rehabil.* 2005;27(4): 156-63.
- [36] Greene BR, McGrath D, Caulfield B. A comparison of cross-sectional and prospective algorithms for falls risk assessment. 2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE. 2014. pp.4527-30.
- [37] Greene BR, Redmond SJ, Caulfield B. Fall risk assessment through automatic combination of clinical fall risk factors and body-worn sensor data. *IEEE J Biomed Health Inform.* 2016;21(3):725-31.
- [38] Greene BR, Doheny EP, Kenny RA, et al. Classification of frailty and falls history using a combination of

- sensor-based mobility assessments. *Physiol Meas.* 2014; 35(10):2053.
- [39] Greene BR, Doheny EP, Walsh C, et al. Evaluation of falls risk in community-dwelling older adults using body-worn sensors. *Gerontology.* 2012;58(5):472-80.
- [40] Greene BR, O'Donovan A, Romero-Ortuno R, et al. Quantitative falls risk assessment using the timed up and go test. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2010;57(12): 2918-26.
- [41] Berg KO, Maki BE, Williams JJ, et al. Clinical and laboratory measures of postural balance in an elderly population. *Arch Phys Med Rehabil.* 1992;73(11): 1073-80.
- [42] Wee JY, Wong H, Palepu A. Validation of the Berg Balance Scale as a predictor of length of stay and discharge destination in stroke rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2003;84(5):731-5.
- [43] Dantas MTAP, Fernani DCGL, Silva TDd, et al. Gait training with functional electrical stimulation improves mobility in people post-stroke. *Int J Environ Res Public Health.* 2023;20(9):5728.
- [44] Kim J, Jung S, Song C. The effects of auditory feedback gait training using smart insole on stroke patients. *Brain Sci.* 2021;11(11):1377.
- [45] Kim K, Kim M, Lee S. The effects of interactive metronome on timing, attention, bilateral coordination and balance for adult with intellectual disabilities: single subject design. *J Spec Educ Rehab.* 2015;54(3):349-64.
- [46] Robertson JA, Eng JJ, Hung C. The effect of functional electrical stimulation on balance function and balance confidence in community-dwelling individuals with stroke. *Physiother Can.* 2010;62(2):114-9.
- [47] Batavia M, Gianutsos JG, Kambouris M. An augmented auditory feedback device. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997;78(12):1389-92.
- [48] Sigrist R, Rauter G, Riener R, et al. Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: a review. *Psychon Bull Rev.* 2013;20:21-53.
- [49] Mawson S, Nasr N, Parker J, et al. A personalized self-management rehabilitation system with an intelligent shoe for stroke survivors: a realist evaluation. *JMIR Rehabil Assist Technol* 2016;3(1):e5079.