

기능적 전기자극을 적용한 트레드밀 보행훈련에 통합한 경피신경 전기자극이 뇌졸중환자의 경직도 균형, 보행 능력에 미치는 영향

이문수 · 이명모[†]

대전대학교 물리치료학과 보건의료대학원, ¹대전대학교 물리치료학과

Effects of Integrating Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation into Treadmill Gait Training Applying Functional Electrical Stimulation on Spasticity, Balance and Gait Ability in Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial

Mun-Su Lee, PT · Myung-Mo Lee, PT, PhD[†]

Department of Physical Therapy, Graduate School of Health and Medicine, Daejeon University

¹Department of Physical Therapy, Daejeon University

Received: November 18, 2019 / Revised: December 9, 2019 / Accepted: December 26, 2019

© 2020 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study examined the effects of integrating transcutaneous electrical nerve stimulation into treadmill gait training by applying functional electrical stimulation on the spasticity, balance, and gait ability of chronic stroke patients

METHODS: Twenty participants were assigned randomly to two groups: the treadmill gait training group with applied functional electrical stimulation (FES) with integrated transcutaneous electrical stimulation (TENS) (experimental group, EG, n = 10) and the treadmill gait training group with FES (control group, CG, n = 10). Both groups received treadmill gait training with FES for 30 minutes a time, four times a week, during five weeks. The experimental group

received additional TENS on their L3, L5, and S2 dermatome for 30 minutes before the interventions. The spasticity, balance, and gait ability were evaluated before and after the training to compare the intergroup and intragroup changes.

RESULTS: Both groups showed significant improvements in the static, dynamic balance, and gait ability ($p < .05$), but did not show any significant changes in the muscle tone. The EG showed significant improvements in the static balance ability and gait cycle compared to the CG ($p < .05$).

CONCLUSION: Treadmill gait training combined with FES with integrated TENS is an effective method for improving the static balance and gait cycle. On the other hand, the effects of treadmill gait training with FES on spasticity need to be studied further.

Key Words: Functional electrical stimulation, Gait Analysis, Postural balance, Stroke, TENS

I. 서 론

뇌졸중은 뇌혈관의 순환장애로 인한 신경세포의 손

[†]Corresponding Author : Myung-Mo Lee
mmlee@dju.kr, <https://orcid.org/0000-0002-2192-1701>

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.

상으로 신체의 감각장애, 운동장애, 언어장애, 시각장애, 인지 및 지각 장애가 동반되는 신경학적 결함이 동반되는 질환이다[1]. 뇌졸중으로 인한 마비와 비정상적인 근 긴장도, 감각 이상과 비대칭적인 자세 및 운동 조절 능력의 저하는 보행과 균형 능력에 직접적인 영향을 미치게 된다[2].

뇌졸중 환자의 보행과 균형 능력 향상은 재활의 중요한 목적이며, 트레드밀을 적용한 보행 훈련은 임상에서 활용도가 높다[3]. 트레드밀(Treadmill) 보행 훈련은 보행 동안 일정한 속도를 유지하기 위하여 자세와 균형 조절에 필요한 동적 균형 요소를 지속적으로 제공하며 [4], 평지 보행 훈련과 비교하여 편마비 환자에게 보행 주기를 향상 시키는 효과가 있다[5,6].

기능적 전기자극(Functional electrical stimulation, FES)은 동적인 보조기로서 운동 동원 손상을 가진 근육에 전기적 신호를 제공하여 기능적인 근 수축을 유도한다[7]. 뇌졸중 이후 경직(Spasticity)은 기능적 움직임 저하시키는 주요 요소 중 하나이다. 특히, 뇌졸중 환자의 발바닥 굽힘근(Ankle plantar flexor) 경직은 발등 굽힘근(Ankle dorsi flexor)의 약화와 공동 움직임(Synergistic movement) 패턴이 동반되어 발목 관절의 불충분한 운동 범위와 제한된 근 동원으로 보행을 어렵게 한다[8]. FES를 병행한 트레드밀 보행 훈련은 만성 뇌졸중 환자의 마비 측 발목 관절에 집중적인 근력 강화를 제공하여 경직된 펌 근 조절 능력을 개선시키고 비협력적 움직임을 감소시켜 경직 감소와 보행 향상에 효과적이라고 보고된 바 있다[9].

경피 신경 전기자극(Transcutaneous electrical nerve stimulation, TENS)은 전기적 기기 치료의 유형으로 굽은 구심 성 섬유를 선택적으로 자극하여 통증 감소와 조절에 효과적인 중재로 사용되고 있다[10]. 최근 TENS를 경직이 발생하는 근육에 적용하였을 때, 과 활동성 펌 반사를 사전 시냅스(Pre-synapse)가 억제하고[11], 경직성 길항 근의 동시 수축을 감소시켜 운동 능력 회복에 효과적이라는 연구가 보고된 바 있다[12]. 또한 A β 감각 신경을 자극하여 뇌의 피질 운동영역에도 영향을 주어 운동능력 개선에 효과적이라는 연구들도 보고되었다[13]. 이러한 연구결과들을 배경으로 TENS는 중추 신경계 장애를 가진 환자들에게 H-반사 크기와 경직을 감소시키는 목적으로 활용되고 있으며[14], 고 빈도

TENS를 적용한 과제 중심 훈련에서 만성 뇌졸중 환자의 자세 안정성을 증가시키고[15] 균형과 보행 속도를 향상시켰다고 보고되었다[16].

최근 전기자극 유형의 중재들을 적용한 보행 훈련이 일반적인 보행훈련보다 만성 뇌졸중 환자의 균형과 보행 능력 개선에 효과적이라는 연구결과들이 제시되고 있다[17,18]. 하지만 대부분이 FES와 TENS를 각각 보행 훈련과 접목하여 전기자극 유무에 따른 중재 방법의 차이를 비교하였다[19,20]. FES와 TENS가 각기 다른 기전의 효과로 균형과 보행 능력 개선이 이루어짐을 고려하였을 때 두 가지 전기자극을 통합 적용한 중재는 더 큰 임상적 효과를 나타낼 수 있을 것이다. FES를 적용한 트레드밀 보행 훈련은 이미 보고된 여러 선행연구들의 결과로 하여금 훈련 지침과 중재 방법이 개선되고 있으나, TENS를 적용한 중재의 경우 연구 사례와 훈련 지침의 근거는 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 FES를 적용한 트레드밀 보행 훈련에 TENS를 통합하여 만성 뇌졸중 환자의 근 긴장도, 균형 그리고 보행 능력에 미치는 효과를 알아보고 임상적 유용성을 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

본 연구는 대한민국 서울에 위치한 Y 요양병원에서 입원하여 치료중인 6개월 이상의 만성 뇌졸중 환자 40명을 대상으로 모집하였다. 선정기준은 마비 측 무릎 90도 굽힘 상태로 수동 발목관절 발등 굽힘이 5° 이상인 자[21], 보행보조도구를 이용하여 독립적인 보행이 6분 이상 가능한 자, 발목 관절의 발바닥 굽힘 근 경직이 MAS 1 이상 인 자, 한국형 간이 정신 상태 검사에서(MMSE-K)에서 24점 미만인 자[22], 전기 자극에 대한 알러지(Allergy) 반응이 없는 자[17], 보조기를 이용한 보행 훈련이 가능한 중등도의 낙상 점수 버그균형척도(Berg balance scale, BBS) 21~40점인 자로 하였다[23,24]. 제외 기준은 골절이나 관절 등의 손상으로 인하여 질환을 악화시킬 수 있는 자, 복용중인 약물로 인하여 실험 시간이나 실험 기간의 변화가 생기는 자, 중재 참여율이 75% 미만인 자로 하였다.

연구 전 참가자들에게 서면상의 연구의 목적, 내용, 사용 방법, 및 안전 수칙, 수집된 데이터에 비밀 유지에 대해 충분히 설명하여 동의를 받았으며, 언제든지 원하는 시기에 중단하고 철회를 할 수 있음을 공지 후 자발적 참여로 진행하였다.

2. 연구 절차

본 연구는 사전-사후 무작위 그룹 통제 연구로서, Cohen's d의 정리에 의하여 중재프로그램의 효과 크기(d)를 .5로 가정하고, 80%의 검정 수준과 유의수준 $\alpha = .05$ 로 하여 군간 최소 12명의 참가자가 필요하였으나, 중도 탈락율 15%를 적용하여 그룹 간 최소 인원을 15명으로 하였다[25]. 선정기준에 부적합한 7명을 제외한 33명이 연구에 참여하였으며, 사전 평가 후 무작위 추출 프로그램(Polaris Office Excel, Seoul, Korea)을 이용하여 실험군(n = 17)과 대조군(n = 16)으로 나누었다. 모든 참가자는 물리치료와 작업 치료로 구성된 일반적인 재활치료 프로그램에 참여하였다. 실험군은 TENS 적용 후 FES를 병행한 트레드밀 보행 훈련을 적용하였고, 대조군은 FES를 병행한 트레드밀 보행 훈련만 실시하도록 하였다. 중재 방법에 따른 그룹 내 전후 비교와 그룹 간 변화 량 차이를 비교하기 위하여 근 긴장도, 정적/동적 균형 능력, 보행 능력에 대한 사전-사후 평가를 실시하였다. 중재 과정 및 사후 평가 동안 실험군에서 7명, 대조군에서 6명의 탈락자가 발생되어 최종 실험군 10명, 대조군 10명의 데이터를 수집하였다

3. 중재 방법

발바닥 굽힘근의 근 경직 감소와 감각신경을 자극하기 위하여 등받이가 있는 의자에 앉은 실험군 참가자의 L3, L5, S2의 피부분절영역에 해당하는 가쪽 넓은근(Vastus lateralis), 안쪽 넓은근(Vastus medialis), 그리고 장딴지근(Gastrocnemius)에 TENS(spK-204, 선광, Korea)를 적용하였다. TENS파형은 비 대칭성 양상 파형으로 주파수 85 Hz, 펄스 폭은 80 μ s으로 하였으며 강도는 참가자가 전기자극을 느끼는 최소 범위 내에서 조절하였다[15]. 3개의 패드를 적서 전류의 통전 효율을 높였고, 부착 부위를 스트랩(Strap)으로 감싸 패드를 고정하였으며, 전기에 의한 화상을 대비하여 15분 통전 후

1분간 휴식한 뒤 다시 15분, 총 30분간 적용하였다.

이후 참가자들은 발 뒤꿈치(Heel)에 발 스위치(Foot switch)를 부착한 FES (FES-1000, 스트라텍, Korea)기기를 이용하여 트레드밀 위에서 보행 훈련을 실시 하였다 [15,21,26]. 발 스위치를 이용한 FES의 적용은 보행 주기의 흔들기(Swing phase)에서 발목의 발등 굽힘을 유도하기 위함이다. 발 스위치는 발뒤꿈치가 바닥에서 떼어지는 순간 전류가 통전 되다가 초기 뒤꿈치 닿기(Initial contact)에 발뒤꿈치에 연결된 발 스위치에 압력이 발생되면 전기신호가 일시적으로 차단되도록 설정하였다. 2채널의 부착 부위는 앞 정강 근의 몸 쪽 종아리뼈머리(Fibular head) 아래 5 cm와 먼 쪽 종아리뼈 바깥 부위 위 5 cm에 각각 부착하여 온 종아리신경을 자극하였다 [21]. FES는 직사각형 비대칭 이상 파형으로 주파수 35 Hz, 펄스 폭 300 μ s으로 설정하였으며, 통전 시 참가자의 마비 측 발목 발등 굽힘과 최소한의 안쪽 변잡과 바깥쪽 변잡의 가시적 수축이 발생하는 강도로 하였다. 상승 시간과 하강 시간은 각각 .5초로 하였으며, 트레드밀 보행 훈련이 적용되는 30분 동안 함께 작동되었다. 대조군은 TENS적용 없이 오직 FES를 적용한 트레드밀 보행 훈련만 실시하였다[6,21].

트레드밀 보행 훈련은 참가자의 가장 편안한 속도로 실시하였으며 낙상을 대비하여 1인의 물리치료가 상시 대기 하였다. 참가자의 요청이 있는 경우 5분간의 휴식시간을 제공하였으며 모든 중재는 4회/주, 5주간 적용되었다(Fig. 1).



Fig. 1. Treadmill gait training combined with FES and TENS.

4. 측정 및 평가방법

1) 근 긴장도 측정

참가자의 정직으로 인한 근 긴장도 측정을 위해 발목 관절 발바닥 굽힘 근에 대하여 수정된 애쉬워드 척도 (Modified Ashworth scale, MAS)를 이용하여 평가하였다. 편안하게 누운 참가자의 발목 아래에 종아리 근의 영향을 배제하기 위해 쿠션을 두고, 원-사우전드-원'(One thousand one) 발음에 일정한 속도로 참가자 발목을 수동적 발등 굽힘(Passive ankle dorsiflexion) 하여 느껴지는 긴장도를 측정하였다[27]. 임상경험 3년 이상의 숙련된 2명의 물리치료사에 의해 3회 반복 측정되었으며, 두 평가자의 공통된 등급의 점수를 기록하였다. 의견이 서로 다른 경우 제 3의 평가자가 재 측정된 값과 공통된 등급의 값을 기록하였다. MAS는 뇌졸중 환자의 무릎관절보다 발목 관절의 더 높은 신뢰도를 보이며 발바닥 굽힘 근 측정에서 측정자 간 중등도의 신뢰도 (ICC = .48 - .69)를 가진다[28,29].

2) 정적 균형 능력 평가

참가자의 정적 균형 능력 측정을 위해 힘 판(Force plate) 기반의 Wii balance board (WBB)를 이용하였다. 직사각형의 모서리에 위치한 4개의 압력센서를 통해 무게중심(Center of pressure, COP)의 이동과 지면 반발력(Ground reaction force, GRF) 측정이 가능하다. 참가자는 WBB위에 두 발을 편안히 벌린 자세에서 눈을 뜨고 30초간 정적인 자세를 유지하며 서 있도록 하였다. 100 Hz로 샘플링 된 데이터는 블루투스(Bluetooth)로 연결된 PC로 전송되어 Balancia software ver.2.0 (Mintosys, Seoul, Korea)에 의해 COP 이동거리(cm)와 속도(cm/sec), 그리고 면적(95% area. cm²)값이 분석되었다 측정자 내 신뢰도는 ICC = .92 - .98의 높은 검정을 가지며, Balancia 프로그램은 측정자 간 신뢰도(r = .79 - .96)와 타당도(r = .85 - .96)를 가진다[30]. 평가자의 구두 지시에 맞춰 3회 측정된 뒤 평균값을 기록하였으며, 측정자 간 1분간의 휴식시간을 제공하였다.

3) 동적 균형 능력 평가

동적 균형 능력은 BBS를 이용하여 평가하였다. BBS

는 노인성 질환과 뇌졸중으로 인한 편 마비 환자의 이동이나 선 자세에서 동적 균형 능력을 측정하는데 널리 사용되고 있다. 총 14개 항목으로 구성되어 있고 각 항목마다 최저 0점, 최고 4점으로 되어 있으며 총 56점으로 이루어졌다. 점수가 45점 이하가 나올 경우 보행시 지팡이와 같은 보조 도구가 필요하다는 것을 의미한다. 뇌졸중 환자를 대상으로 평가 시 높은 신뢰도(ICC = .98)와 타당도(ICC = .93 - .97)를 지니며 한 명의 측정자에게 측정되었다[31].

4) 보행분석

보행의 시간적, 공간적 변인을 측정하기 위하여 GAITRite system (CIR system Inc. Clifton)을 사용하였다[32]. 길이 8.3 m, 폭 .89 m 인 전자식 보행 판으로, 직경 1 cm의 13,824개의 센서가 1.27 cm마다 보행 판을 따라 수직으로 배열되어 보행 시 시간적, 공간적 변수 측정에 용이하다. 참가자들은 신발을 벗고 구두 신호에 따라 편안한 속도로 매트 5 m 전방에서 보행을 시작하여 매트 이후 5 m 지점에서 정지하였다. 3회 반복 측정하여 획득한 보행 지표 중 보행속도(cm/s), 분속 수(step/min), 마비 측 보폭 거리(cm), 마비 측 보장거리(cm), 흔들기 시간(s) 흔들기 비율(%)과 디딤기 비율(%)에 대한 값을 기록하였다.

총 2명의 측정자가 평가에 참여하였다. 1인은 평가 진행 및 구두 지시를 하였으며, 다른 1인은 초당 80 Hz로 수집된 데이터를 연결된 PC의 GAITRite 소프트웨어로 추출하였다. GAITRite는 뇌졸중 환자들을 대상으로 평가 시 높은 신뢰도(ICC = .90)와 타당도(ICC = .89 - .99)를 가진다[32].

5. 통계방법

자료 분석은 SPSS version 19.0 소프트웨어(IBM, Chicago, IL, USA)를 사용하여 분석하였다. 참가자의 일반적 특성은 기술 통계하여 평균과 표준편차 값으로 제시하고, Shapiro-Wilk 검사를 사용하여 정규성 검정을 실시하였다. 모든 결과 변수의 정규 분포를 확인하였다. 그룹 간 일반적 특성과 중재 전 결과 값의 동질성 검정은 χ^2 검정과 t-검정을 통해 분석하였다. 그룹 간 중재 결과를 비교하기 위하여 독립적인 t-검정과 χ^2 검정이 사용되고, 그룹 내 종속 변수를 비교하기 위해 대응 표본 t-검정을 사용하였다. 통계적 유의수준 p = .05 이하로 하였다.

Table 1. General Characteristics of the Participants

	Experimental Group (n = 10)	Control Group (n = 10)	t/x ²	p
Age (year)	69.60 ± 9.34 ^a	66.90 ± 14.48	-.496	.626
Height (cm)	165.8 ± 8.51	162.2 ± 6.20	-1.083	.295
Weight (kg)	65.80 ± 12.20	62.60 ± 4.95	-7.69	.457
Affected Side (left/right))	2 / 8	3 / 7	.493	.628
Onset time (Month)	50.60 ± 36.11	31.70 ± 18.70	-1.469	.730
Stroke type (I / H)	8 / 2	7 / 3	.493	.628
MMSE-K (score)	25.40 ± 1.84	25.60 ± 1.84	.243	.810

^a Mean ± Standard Deviation

I : Infarction, H: Hemorrhage, MMSE-K : Korean Version of Mini-mental State Examination

Table 2. Comparison of Change in Spasticity and Balance Ability Between the Experimental Group and Control Group

	Experimental Group (n = 10)	Control Group (n = 10)	t (p) ^c	
Spasticity on Ankle Plantar Flexor (Score)	pre	2.30 ± .82 ^a	1.90 ± .87	.640 (.307)
	post	1.80 ± .91	1.80 ± .78	
	pre-post	-.50 ± .70	-.10 ± .56	1.500 (.168)
	t (p) ^b	-2.236 (.052)	-.557 (.591)	
CoP Path Length (cm)	pre	107.85 ± 47.90	103.71 ± 43.84	-.202 (.843)
	post	78.09 ± 36.92	92.642 ± 39.44	
	pre-post	-29.75 ± 22.43	-11.06 ± 10.23	-2.314 (.046)
	t (p)	-4.193 (.002)	-3.418 (.008)	
CoP Velocity Avg. (cm/s)	pre	4.19 ± 1.32	4.08 ± 1.07	-.203 (.841)
	post	4.11 ± .95	3.802 ± .94	
	pre-post	-.08 ± .93	-.28 ± .74	.465 (.653)
	t (p)	-.258 (.802)	-1.192 (.264)	
CoP Area 95% (cm ²)	pre	17.43 ± 7.90	9.79 ± 5.01	-2.580 (.210)
	post	8.76 ± 4.67	8.84 ± 3.6	
	pre-post	-8.67 ± 6.68	-.95 ± 3.86	-2.838 (.019)
	t (p)	-4.103 (.003)	-.778 (.456)	
BBS (Score)	pre	31.40 ± 4.32	31.09 ± 6.01	-.214 (.833)
	post	37.80 ± 5.88	37.72 ± 37.72	
	pre-post	6.40 ± 2.70	5.81 ± 3.50	-.355 (.730)
	t (p)	7.341 (.000)	5.209 (.001)	

^a Mean ± Standard Deviation, ^b Statistical Significance Within Group, ^c Statistical Significance Between Groups, CoP : Center of Pressure, BBS : Berg Balance Scale

III. 연구결과

실험군에서 조기 퇴원(n = 2), 낙상(n = 1), 중재 참여 거부 및 참여율 부족(n = 4)으로 7명, 대조군에서는 조기 퇴원(n = 2), 폐렴(n = 1), 중재 참여 거부 및 참여율 부족(n = 3)으로 6명이 탈락되었다. 최종 실험군 10명과 대조군 10명의 데이터가 수집되었으며, 중재 전 그룹 간 참가자들의 일반적/의학적 특성은 Table 1과 같다. 두 그룹 간 일반적/의학적 특성과 사전 측정값은 동일 하였다(Table 1).

정적 균형 능력은 실험군이 대조군 보다 이동거리에서 중재 전·후 더 큰 감소량을 보였으며 (p < .05), 실험군은 이동 면적 감소에서 중재 전·후 유의한 향상을 보였다(p < .05). 동적 균형 능력은 버그균형척도 결과 두 그룹 모두 중재 전·후 유의한 향상이 있었지만 (p < .05), 그룹 간 변화 량의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(Table 2).

두 그룹 모두 GAITRite를 통해 측정된 시공간적 변수; 보행 속도(cm/s), 분속 수(step/min), 마비 측 보폭

Table 3. Comparison of Change in Gait Ability of the Experimental Group and Control Group

		Experimental Group (n = 10)	Control Group (n = 10)	t (p) ^c
Velocity (cm/s)	pre	31.70 ± 18.07 ^a	33.70 ± 14.85	.276 (.786)
	post	44.73 ± 20.49	49.31 ± 20.38	
	pre-post	13.03 ± 5.21	15.62 ± 11.15	-.727 (.485)
	t (p) ^b	7.899 (.000)	4.414 (.002)	
Cadence (steps/min)	pre	73.42 ± 19.60	76.12 ± 19.19	.303 (.765)
	post	86.56 ± 17.14	84.56 ± 11.64	
	pre-post	13.44 ± 12.42	8.50 ± 10.22	1.435 (.185)
	t (p)	3.344 (.009)*	2.631 (.027)	
Paretic Side Step Length (cm)	pre	26.34 ± 11.45	27.47 ± 8.36	.251 (.805)
	post	36.78 ± 16.04	37.16 ± 12.55	
	pre-post	10.60 ± 8.25	9.70 ± 7.99	.240 (.816)
	t (p)	4.002 (.003)	3.837 (.004)	
Paretic Side Stride Length (cm)	pre	48.47 ± 22.61	51.75 ± 18.00	.359 (.724)
	post	69.18 ± 32.27	70.77 ± 26.02	
	pre-post	20.68 ± 12.41	19.00 ± 14.52	.271 (.792)
	t (p)	5.267 (.001)	4.141 (.03)	
Paretic Side Swing Time (seconds)	pre	.38 ± .11	.40 ± .09	.570 (.576)
	post	.49 ± .12	.47 ± .07	
	pre-post	.11 ± .06	.07 ± .06	1.799 (.106)
	t (p)	5.292 (.000)	3.52 (.007)	
Swing Cycle (%)	pre	22.95 ± 6.25	25.12 ± 4.89	.864 (.399)
	post	31.81 ± 3.75	30.39 ± 5.90	
	pre-post	8.86 ± 3.29	5.27 ± 2.77	2.757 (.022)
	t (p)	8.495 (.000)	6.008 (.000)	
Stance Cycle (%)	pre	77.05 ± 6.25	74.88 ± 4.89	-.861 (.401)
	post	68.39 ± 3.75	69.61 ± 5.90	
	pre-post	-8.66 ± 3.57	-5.27 ± 2.77	-2.401 (.040)
	t (p)	-7.669 (.000)	-6.008 (.000)	

^a Mean ± Standard Deviation, ^b Statistical Significance Within Group, ^c Statistical Significance Between Groups

거리(cm), 마비 측 보장 거리(cm), 흔들기 시간(s) 흔들기 비율(%)과 디딤기 비율(%)에서 유의한 변화가 있었다($p < .05$), 그러나 흔들기 비율(%) 디딤기 비율(%)에서 만 대조군에 비해 실험군에서 더 큰 효과로 유의한 변화량의 차이가 있었다($p < .05$)(Table 3).

IV. 고 찰

본 연구는 FES를 적용한 트레드밀 보행 훈련에 TENS를 통합한 중재가 만성 뇌졸중 환자의 근 긴장도, 균형 그리고 보행 능력에 미치는 효과를 알아보기 위하여 실시하였다. 그 결과 FES와 병행한 트레드밀 보행

훈련에 통합된 TENS 자극 중재는 단순 FES를 적용한 트레드밀 보행 훈련 중재에 비해 참가자들의 정적 균형 그리고 보행 주기 향상에 유의한 효과가 있음을 확인하였다.

TENS는 고유수용성 정보 입력을 개선하고 대뇌피질의 흥분을 유발하여 균형 조절에 영향을 준다[33]. 낮은 역치로 피부 분절을 자극할 경우 피부의 고유 수용성 감각 증진과 선 자세에서 관절 위치 감각을 증진시키며[34], 몸 감각 자극의 민감성이 증진되므로 신체 균형에 영향을 주는 운동피질 영역에도 영향을 미치게 된다[12]. 이러한 신경생리학적 논리에 힘입어 최근 TENS 자극은 신경학적 장애가 있는 환자의 균형 능력 개선에

효과적인 중재로 보고되고 있다[15]. Bakhtary 등 [18]은 경직성 만성 뇌졸중 환자에게 적용한 TENS 자극을 운동과 결합하였을 때, 경련성 감소와 H-반사 크기를 감소시켰다고 보고하였고, Cho 등[16] 만성 뇌졸중 환자 25명에게 TENS를 적용하여 정적 균형의 이동거리가 감소하였다고 보고하였다. 본 연구의 실험군에게 적용한 TENS의 부착 부위는 서기, 보행과 같은 동작 수행 시 기능적으로 사용 되는 근육들로서 각 피부 분절의 자극은 정적 균형의 향상과 보행 시 디딤기(Stance phase) 비율의 유의한 감소로 나타났다. 이 결과는 발과 발목의 고유수용성 정보 입력이 대뇌피질의 흥분성 변화를 유발하여 균형 조절에 영향을 준다고 보고한 Sadeghi 등[33]의 연구결과를 뒷받침한다.

뇌졸중 환자의 보행 시 FES 적용은 발등 굽힘 근을 활성화 시켜 발바닥 굽힘 근의 경직으로 인한 발 끌림을 줄여주고, 운동범위를 증진시켜 보행 속도 향상에 도움을 주는 중재 방법이다[35,36]. 근력의 증가와 근육의 단면적 증대에 도움을 주므로 마비측 하지의 넓다리발목 발등굽힘근에 적용 시 무릎과 발목 관절의 효율적인 움직임을 유도함으로써 보행의 효율성을 높일 수 있다[37]. 이러한 FES의 효과는 과거 선행연구들을 통해 입증되어 임상적으로 널리 활용되고 있으며, 최근 Park 등[38]의 연구에 의하면 뇌졸중 환자의 앞정강근(Tibialis anterior muscle)에 FES 부착 후 트레드밀 보행을 적용한 결과 보행 속도와 보폭 거리의 향상, 그리고 엉덩 관절의 수동적 움직임 범위 증가가 있었음을 확인할 수 있었다. 본 연구에서도 FES와 트레드밀 보행 훈련을 병행한 두 그룹 모두 시공간적 보행 변수와 정적/동적 균형 능력의 향상되는 결과를 보여주었으며, 이는 선행연구의 결과를 뒷받침 한다($p < .05$).

FES에 의한 운동 수준 자극은 근 수축과 관련된 관절의 고유성 감각, 근육, 피부의 임계 값보다 훨씬 높지만, TENS에 의한 감각 수준 자극은 근 수축 유발없이 피부의 구심성 섬유에 영향을 미칠 수 있다[39]. 더욱이 고빈도 TENS는 척수에 억제성 신경전달 물질인 감마-아미노부티르산(Gamma aminobutyric acid, GABA)유리를 증가시켜[40]. 근 수축을 유발하지 않음에도 불구하고 마비 측 운동기능을 개선시킬 수 있다고 보고된 바 있다

[19]. 우리의 연구 결과, 실험군은 대조군에 비해 보행 시 흔들기(Swing phase) 비율 증가와 디딤기 비율 감소로 유의한 보행 주기 향상을 보여주었다. 이는 FES를 병행한 트레드밀 보행 훈련에 TENS가 통합된 중재의 효과라고 사료되며, TENS의 감각 수준 자극에 의한 운동기능 개선을 입증하는 결과이기도 하다.

본 연구 결과 중재 방법에 따른 근 긴장도에는 유의한 변화가 없었다 하지만, TENS를 통합한 FES와 트레드밀을 이용한 보행 훈련은 정적 균형 능력의 향상과 보행 능력의 보행 주기를 안정적으로 개선 시켰다. 이는 TENS는 경직도 조절 이외에 몸 감각의 정보를 개선 시켜 움직임 기능을 개선시킨다는 이전 연구들을 뒷받침 하며, 균형 훈련과 보행 훈련 프로그램으로 활용될 수 있음을 제시한다. 연구의 진행과정에서 몇가지 제한점이 있었다. 첫째, 중재와 평가 과정에서 많은 참가자들이 탈락하여 그룹간 10명의 대상을 비교하였기에 모든 뇌졸중 환자에게 일반화하기 어려움이 있다. 둘째, 실험 기간이 5주로 비교적 짧아 중재 효과의 지속성을 확인 할 수 없었다. 셋째, spasticity 평가방법의 민감도가 비교적 낮아 원하고자 하는 근 긴장도의 변화를 확인할 수 없었다. 넷째 다양한 뇌졸중의 특성을 충분히 고려하지 못하였다. 추후 연구에서는 이러한 제한점을 수정 보완하여 TENS와 FES를 통합시킨 중재를 다양한 측면에서 비교 검증하고 임상적 유용성에 대해 검토할 필요가 있다

V. 결 론

본 연구는 FES를 적용한 트레드밀 보행 훈련에 TENS를 통합시킨 중재가 만성 뇌졸중 환자의 근 긴장도, 균형, 그리고 보행 능력에 미치는 효과를 알아보기 위하여 실시하였다. 그 결과 정적 균형 능력의 향상과 보행 주기 중 흔들기 비율 증가와 디딤기 비율 감소로 유의한 보행 패턴의 변화가 있었음을 확인하였다. 이러한 결과를 통해 현재 임상에서 널리 사용중인 FES를 병행한 트레드밀 보행 훈련에 TENS가 통합된 중재 방법의 임상적 유용성을 제공하고 이와 관련한 후속연구를 기대해보고자 한다.

References

- [1] Lamola G, Fanciullacci C, Rossi B, et al. Clinical evidences of brain plasticity in stroke patients. *Arch. Ital. Biol.* 2014;152:259-71.
- [2] Fink M, Rollnik JD, Bijak M, et al. Needle acupuncture in chronic poststroke leg spasticity. *Archives of physical medicine and rehabilitation.* 2004;85(4):667-72.
- [3] Oujamaa L, Relave I, Froger J, et al. Rehabilitation of arm function after stroke. Literature review. *Annals of physical and rehabilitation medicine.* 2009;52(3):269-93.
- [4] Knikou M, Rymer WZ. Effects of changes in hip joint angle on H-reflex excitability in humans. *Experimental brain research.* 2002;143(2):149-59.
- [5] Pohl M, Mehrholz J, Ritschel C, et al. Speed-dependent treadmill training in ambulatory hemiparetic stroke patients: a randomized controlled trial. *Stroke.* 2002;33(2):553-8.
- [6] Cho MK, Kim JH, Chung Y, et al. Treadmill gait training combined with functional electrical stimulation on hip abductor and ankle dorsiflexor muscles for chronic hemiparesis. *Gait & posture.* 2015;42(1):73-8.
- [7] Glanz M, Klawansky S, Stason W, et al. Functional electrostimulation in poststroke rehabilitation: a meta-analysis of the randomized controlled trials. *Archives of physical medicine and rehabilitation.* 1996;77(6):549-53.
- [8] van der Linden ML, Hazlewood ME, Hillman SJ, et al. Functional electrical stimulation to the dorsiflexors and quadriceps in children with cerebral palsy. *Pediatric Physical Therapy.* 2008;20(1):23-9.
- [9] Combs S, Miller EW, Forsyth E. Motor and functional outcomes of a patient post-stroke following combined activity and impairment level training. *Physiotherapy theory and practice.* 2007;23(4):219-29.
- [10] LEE EW, Shin WS, Jung KS, et al. Reliability and validity of the neck disability index in neck pain patients. *Physical Therapy Korea.* 2007;14(3):97-106.
- [11] Chen S, Chen Y, Chen C, et al. Effects of surface electrical stimulation on the muscle-tendon junction of spastic gastrocnemius in stroke patients. *Disability and rehabilitation.* 2005;27(3):105-10.
- [12] Yan T, Hui-Chan CW. Transcutaneous electrical stimulation on acupuncture points improves muscle function in subjects after acute stroke: a randomized controlled trial. *Journal of rehabilitation medicine.* 2009;41(5):312-6.
- [13] Ng SS, Hui-Chan CW. Transcutaneous electrical nerve stimulation combined with task-related training improves lower limb functions in subjects with chronic stroke. *Stroke.* 2007;38(11):2953-9.
- [14] Laddha D, Ganesh GS, Pattnaik M, et al. Effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on plantar flexor muscle spasticity and walking speed in stroke patients. *Physiotherapy Research International.* 2016; 21(4):247-56.
- [15] Park J, Seo D, Choi W, et al. The effects of exercise with TENS on spasticity, balance, and gait in patients with chronic stroke: a randomized controlled trial. *Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research.* 2014;20:1890.
- [16] Cho H-y, In TS, Cho KH, et al. A single trial of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) improves spasticity and balance in patients with chronic stroke. *The Tohoku journal of experimental medicine.* 2013;229(3):187-93.
- [17] Tong RK, Ng MF, Li LS, et al. Gait training of patients after stroke using an electromechanical gait trainer combined with simultaneous functional electrical stimulation. *Physical Therapy.* 2006;86(9):1282-94.
- [18] Bakhtiary AH, Fatemy E. Does electrical stimulation reduce spasticity after stroke? A randomized controlled study. *Clinical rehabilitation.* 2008;22(5):418-25.
- [19] Potisk KP, Gregoric M, Vodovnik L. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on spasticity in patients with hemiplegia. *Scandinavian journal of rehabilitation medicine.* 1995;27(3):169-74.

- [20] Kim YC, Lee SM, Song CH. Effects of Functional Electrical Stimulation on the Balance of Hemiplegic Patients The journal of Korean society of physical therapy. 2004;16(3):539-48.
- [21] Kesar TM, Reisman DS, Perumal R, et al. Combined effects of fast treadmill walking and functional electrical stimulation on post-stroke gait. *Gait & posture*. 2011;33(2):309-13.
- [22] Kang YW, NA DL, Han SH. A Validity Study on the Korean Mini-Mental State Examination(K-MMSE) in Dementia Patients. *Journal of Clinical Neurology*. 1997;15:300-8.
- [23] Thieme H, Ritschel C, Zange C. Reliability and validity of the functional gait assessment (German version) in subacute stroke patients. *Archives of Physical Medicine and rehabilitation*. 2009;90(9):1565-70.
- [24] Jeong HY, Choi JD. The effects of vestibular sensory stimulation training on balance and gait in the patients with stroke. *The Journal of Korean Physical Therapy*. 2014;26(5):365-71.
- [25] Campbell MJ, Tan S-B, Tan S-H. Sample size tables for clinical studies. John Wiley & Sons. 2009.
- [26] In TS, Cho HY, Lee SH, et al. The Long-Term Effects of High-Frequency Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) on the Lower Limb Spasticity and the Balance in the Chronic Stroke Patients. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*. 2011;12(4):1740-8.
- [27] Charalambous CP. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Classic papers in orthopaedics*. Springer. 2014. pp.415-7.
- [28] Yi C-H, Current ME. Inter-Rater Reliability of the Modified Ashworth Scale of Spasticity. *Physical Therapy Korea*. 1994;1(1):1-9.
- [29] Meseguer-Henarejos A-B, Sanchez-Meca J, Lopez-Pina J-A, et al. Inter-and intra-rater reliability of the Modified Ashworth Scale: a systematic review and meta-analysis. *European journal of physical and rehabilitation medicine*. 2018;54(4):576-90.
- [30] Park DS, Lee DY, Choi SJ, et al. Reliability and validity of the balancia using wii balance board for assessment of balance with stroke patients. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*. 2013;14(6): 2767-72.
- [31] Hiengkaew V, Jitree K, Chaiyawat P. Minimal detectable changes of the Berg Balance Scale, Fugl-Meyer Assessment Scale, Timed “Up & Go” Test, gait speeds, and 2-minute walk test in individuals with chronic stroke with different degrees of ankle plantarflexor tone. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2012;93(7): 1201-8.
- [32] McDonough AL, Batavia M, Chen FC, et al. The validity and reliability of the GAITRite system's measurements: A preliminary evaluation. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2001;82(3):419-25.
- [33] Sadeghi-Demneh E, Tyson SF, Nester CJ, et al. The Effect of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) Applied to the Foot and Ankle on Strength, Proprioception and Balance: A Preliminary Study. *Clinical Research on Foot & Ankle*. 2015.
- [34] Gravelle DC, Laughton CA, Dhruv NT, et al. Noise-enhanced balance control in older adults. *Neuroreport*. 2002;13(15):1853-6.
- [35] Bogataj U, Gros N, Kljajić M, et al. The rehabilitation of gait in patients with hemiplegia: a comparison between conventional therapy and multichannel functional electrical stimulation therapy. *Physical therapy*. 1995; 75(6):490-502.
- [36] Moseley A, Wales A, Herbert R, et al. Observation and analysis of hemiplegic gait: stance phase. *Australian journal of physiotherapy*. 1993;39(4):259-67.
- [37] Yang C-Y, Kim T-J, Joo M-C, et al. The Effect of Functional Electrical Stimulation on the Motor Function of Lower Limb in Hemiplegic Patients *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2009;33(1):29-35.
- [38] Park S-J, Wang J-S. The immediate effect of FES and

- TENS on gait parameters in patients after stroke. *Journal of physical therapy science*. 2017;29(12):2212-4.
- [39] Robbins SM, Houghton PE, Woodbury MG, et al. The therapeutic effect of functional and transcutaneous electric stimulation on improving gait speed in stroke patients: a meta-analysis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2006;87(6):853-9.
- [40] Maeda Y, Lisi T, Vance C, et al. Release of GABA and activation of GABAA in the spinal cord mediates the effects of TENS in rats. *Brain research*. 2007;1136:43-50.