

# Effects of Ankle Control Training Using Neuromuscular Electrical Stimulation on Leg Muscle Activation and Balance in Patients with Stroke

Soo-Yong Lee<sup>1</sup>, Hyo-Jung Park<sup>2</sup>, Yu-Sik Choi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Severance Rehabilitation Hospital, Yonsei University, Seoul, Republic of Korea, <sup>2</sup>Department of Physical Therapy, Daejeon Rehabilitation Hospital, Daejeon, Republic of Korea, <sup>3</sup>Department of Physical Therapy, Seoul Seonam Metropolitan Hospital, Seoul, Republic of Korea

**Purpose:** This study examined the effects of ankle control training using neuromuscular electrical stimulation (NMES), leg muscle activation, and balance in stroke patients.

**Methods:** Thirty-one stroke patients diagnosed with cerebral infarction and cerebral hemorrhage were selected for the study. The experimental group underwent ankle control training using NMES, while the control group applied NMES to the paretic tibialis anterior muscle for 30 minutes per session, five times a week for four weeks. The muscle activity changes were measured using surface electromyography, and balance parameters were evaluated using a functional reach test (FRT).

**Results:** The intra-group comparison of the concentric muscle activity revealed improvements in the experimental group, including paretic tibialis anterior (TA) muscle ( $p < 0.05$ ), medial gastrocnemius muscle (MG) ( $p < 0.01$ ), and lateral gastrocnemius muscle (LG) ( $p < 0.05$ ), as well as MG ( $p < 0.05$ ), LG ( $p < 0.05$ ), soleus muscle ( $p < 0.05$ ) of the non-paretic side, and soleus muscle symmetry index ( $p < 0.05$ ). The intra-group comparison of the eccentric muscle activity showed improvements in the experimental group, including MG ( $p < 0.01$ ) and LG ( $p < 0.01$ ) of the paretic side, as well as MG ( $p < 0.01$ ), LG ( $p < 0.01$ ) of the non-paretic side, and LG symmetry index ( $p < 0.01$ ). The intra-group comparison of the functional reach test revealed significant differences in the test results in the experimental and control groups ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** Ankle control training using NMES had a positive effect on the changes in muscle activation and improved balance in patients with stroke.

**Keywords:** Ankle, Balance, Electromyography, Gait, NMES

## 서론

뇌졸중은 뇌혈관의 순환장애로 인해 발생하는 신경학적 질환으로, 운동, 감각, 언어, 시각, 인지, 지각 등 다양한 기능 장애를 동반한다고 하였다.<sup>1</sup> 특히, 뇌졸중 환자의 근긴장도 조절 문제는 약 42.4%의 환자에게 발생하며,<sup>2</sup> 발병 기간과 관계없이 나타날 수 있다고 하였다.<sup>3</sup> 뇌졸중 환자의 마비쪽 발은 지면과의 접촉면이 감소하고 압력 중심이 발가락 끝으로 치우치게 된다고 하였다.<sup>4</sup> 이로 인해 마비된 쪽으로 체중 이동이 어려워지며, 비대칭적인 보행 양상이 발생한다고 하였다.<sup>5</sup> 뇌졸중 환자의 보행에서 마비쪽 발의 발목관절에서 발등굽힘 감소와 안쪽 번짐,<sup>6</sup> 발 처짐이 관찰되며,<sup>7</sup> 이러한 발 기능 회복은 보행에서

매우 중요하다.<sup>8</sup>

신경지배근(innervated muscle)과 탈신경근(denervated muscle)은 전기자극에 의한 근수축 기전이 다르다. 신경지배근은 흥분성이 높은 신경이 먼저 탈분극을 일으켜 근수축이 유발되고, 탈신경근은 근육 자체에서 탈분극이 일어나 근수축이 유발된다.<sup>9</sup> 탈신경근의 전기자극을 근육전기자극(electrical muscle stimulation)이라 하며, 신경지배근의 전기자극을 신경근전기자극(neuromuscular electrical stimulation, NMES)이라 한다.<sup>10</sup> 선행연구에서는 보행과 관련하여 앞정강근에 NMES를 적용하여 보행주기의 흔들기에서 발가락떼기(toe off) 변화에 대한 연구가 많았으며,<sup>11-13</sup> Kesar 등<sup>14</sup>의 연구에서는 뇌졸중 환자 13명을 대상으로 NMES를 발등굽힘근과 발바닥굽힘근에 적용 후 보

Received September 10, 2023 Revised October 14, 2023

Accepted October 19, 2023

Corresponding author Yu-Sik Choi

E-mail [cus6208@naver.com](mailto:cus6208@naver.com)

Copyright ©2023 The Korean Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

행, 발등굽힘근에만 적용 후 보행, NMES 치료를 적용하지 않은 그룹 간 보행을 비교하기 위해 푸글마이어평가(Fugl-Meyer Assessment, FMA)와 보행속도를 평가하였다.

보행능력 향상을 위한 방법으로 경사판을 활용한 장딴지근 신장 운동이 있으며, 이는 마비쪽 발목 움직임을 증가시키기 위함이다.<sup>15</sup> Higble 등<sup>16</sup>은 발목조절훈련이 장딴지근의 수동적인 신장뿐만 아니라 동심성 및 편심성 수축을 포함한 복합 운동이라 정의하였다. 또한, 발목조절훈련은 앞정강근과 장딴지근뿐만 아니라 다양한 발목관절 근육을 강화하고 발바닥 굽힘, 발등 굽힘, 안쪽 변잡, 가쪽 변잡과 같은 움직임을 저항 운동 형태로 향상시킬 수 있다고 하였다.<sup>17</sup> 이러한 발목조절훈련은 단계적으로 난이도를 점진적으로 증가시키면서 다양한 발목 운동을 수행할 수 있는 것이 특징이며,<sup>18</sup> Bennell 등<sup>19</sup>은 지면에서 발목을 굽히거나 펴으로써 장딴지근을 수축시키는 운동을 제안하였으며, Yoon 등<sup>20</sup>은 경사판과 밸런스보드를 이용하여 장딴지근 수축을 통한 균형 운동을 제안하였다. 그러나, 뇌졸중 환자를 대상으로 NMES를 활용한 발목조절훈련을 적용한 연구는 아직 부족한 실정이었으며,<sup>10</sup> 특히 낮은 경사판 각도에서 이루어지는 동심성 및 편심성 수축이 결합된 운동 방법에 대한 연구는 미흡하였다. 따라서 본 연구는 발목조절훈련을 병행한 NMES 치료가 뇌졸중 환자의 균형 능력과 다리 근활성도에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

## 연구 방법

### 1. 연구대상

본 연구는 용인대학교 기관생명윤리위원회의 심사 승인 후 연구를 진행하였으며(승인번호: 2212-HSR-283-2), 2023년 5월부터 6월까지 서울 소재 S 병원에서 본 연구의 대상자 조건을 충족하는 30명의 뇌졸중 환자를 대상으로 진행하였다. 신청자 순서대로 마이크로소프트 엑셀의 RANDBETWEEN 함수를 이용하여 랜덤숫자발생기로(1, 2로 선정) 무작위 배정을 하여 연구군 15명, 대조군 15명으로 집단을 분류하였다. 연구 기간은 총 4주이며, 사전 평가 후 1개월 뒤 사후평가를 진행하였다. 연구대상자의 선정기준은 뇌졸중을 진단받은 후, 6개월 이상 경과한 자, 한국판 간이정신상태검사 점수가 24점 이상인 자, 독립적 보행이 가능한 자, 발목경직으로 수동관절가동범위에 제한이 있는 자, 근골격계에 관절 구축, 통증 또는 골절이 없는 자, 본 연구의 목적을 이해하고 연구 참여에 동의한 자로 하였다.

### 2. 실험방법

#### 1) 중재방법

연구군은 마이크로스팀(Microstim, Medel GmbH, Germany)과 경사판(StrongTek Professional Wooden incline Board, Slantek, USA)을 사용하

여 발목조절훈련을 실시하였다. 전극 부착위치는 장딴지근의 정중앙에서 가쪽으로 2cm 떨어진 곳의 근섬유와 평행하게 부착하였다. 적용한 NMES는 근피로가 생기는 것을 최소화하기 위해 간헐적 저주파 교대자극을 사용하였고,<sup>21</sup> 전류는 단상직상각형파, 맥동빈도 35pps, 맥동기간은 150-350ms, 자극 시간과 휴식시간(on-off ratio)은 각각 5초로 설정하였다.<sup>22</sup> 전류강도는 환자가 근수축을 느끼는 강도로 하였다. 적용시간은 30분으로 하였다. NMES를 적용한 발목조절훈련의 순서는 다음과 같다(Figure 1). (1) 시작 자세는 5도 각도로 고정된 경사판 위에서 편안하게 선 자세이다. (2) 전류가 흐르는 5초가 흐르는 동안 발꿈치를 천천히 올린다. (3) 발바닥굽힘 할 수 있는 최대 범위까지 발꿈치를 들어 올리게 한다. (4) 전류가 흐르지 않는 5초 동안 발꿈치를 천천히 내린다. (5) 발꿈치가 바닥에 완전히 닿을 때까지 천천히 움직인다. 대조군은 앉은 자세에서 마비쪽 앞정강근에 NMES 치료를 30분 동안 적용하였으며 발바닥이 지면에 접촉한 상태로 발목 발등굽힘 동작을 병행하도록 지시하였다.

#### 2) 측정도구 및 방법

##### (1) 근전도

근활성도를 측정하기 위하여 표면근전도(Free EMG 300, Apsun Inc., Italy)를 사용하였다. 정확한 자료 수집을 위하여 검사자 한 명이 전극을 부착하였으며, 소독용 알코올을 사용하여 각질을 제거하고 피부 저항을 최소화하였다. Criswell<sup>19</sup>이 제시한 부착부위를 참고하였으며, 총 8채널을 사용하여 양쪽 앞정강근, 장딴지근, 가자미근에 근섬유 방향과 평행하도록 부착하였다. 근전도 신호의 표본 추출률은 2,000Hz로 설정하였으며 원자료는 20Hz-450Hz에서 대역 통과 여과처리를 하고 정류를 거쳐 수집된 신호는 실효치 진폭 20m/s로 처리하였다. 본 연구에서는 수집된 모든 근전도 신호를 실효값(root mean square, RMS)으로 처리하였고, 뇌졸중 환자임을 감안하여 특정 동작의 근수축을 기

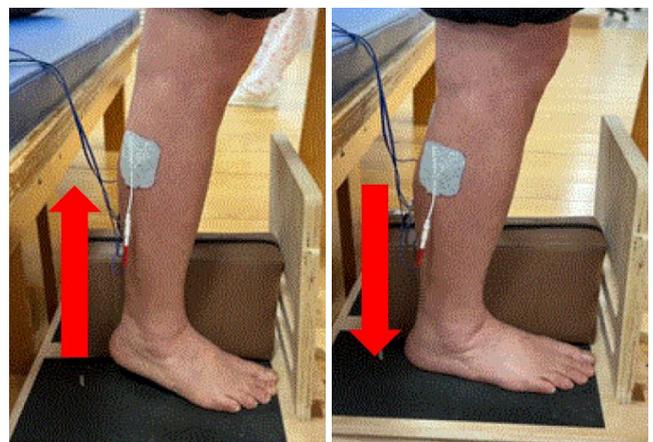


Figure 1. Ankle control training using NMES

준 수축으로 삼아 이를 기준으로 표준화하는 %RVC (reference voluntary contraction)로 근활성도를 표준화하였다.

기준값 측정은 연구대상자가 안전 사이드바가 설치된 공간에서 정면을 바라보고 편안하게 선 자세에서 10초 동안 측정하였으며, 앞·뒤 부분 3초씩 제거하고 중간 부분의 4초에 대한 평균값을 구하였다. 동작 측정은 20초 동안의 측정시간 중 가만히 선 자세 앞뒤 부분 5초를 제거하고 장딴지 강화훈련을 하는 10초 동안의 데이터를 측정하였다. 장딴지세갈래근이 동심성수축을 하는 5초와 편심성수축을 하는 5초의 각 구간에서 앞·뒤부분 1초씩을 제거하고 중간 부분의 3초에 대한 평균값을 구하였다.<sup>20</sup> 1초 간격(60bpm)으로 신호음이 나오는 스마트폰 메트로놈 어플을 이용하여 5초 동안 발꿈치를 들어올리는 시작 시점과 5초 동안 발꿈치를 내리는 시점을 구분하여 연구대상자에게 알려주었다.<sup>21</sup> 발목조절훈련을 하는 동안 일정한 발 너비 간격 유지하기 위해 발 사이에 사각블럭(280mm×150mm×90mm)을 두어 고정하였다. 이와 같은 검사 동작을 3회 실시하였고 측정된 값의 평균값을 이용하였다.

(2) 기능적팔뻓기검사

동적균형능력을 평가하기 위한 신뢰도와 타당도가 높은 검사이다.<sup>22</sup> 150cm 자를 어깨뼈 봉우리 높이 위치의 벽에 평행하게 위치시켰다. 측정자의 자세는 선 자세에서 어깨관절을 90° 굽힘하여 팔을 평행하게 앞으로 뻗은 상태로 한 후, 두 발을 고정하였다. 세 번째 손허리뼈 머리의 처음 위치에서 최대한 앞으로 뻗었을 때의 끝 위치까지의 거리를 측정하였다. 총 3회 측정 후 평균값을 산출하였다.

3. 자료분석

본 연구의 결과는 통계 프로그램인 SPSS ver 18.0 (SPSS INC, Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 실험군과 대조군의 동질성 검증은 카이제곱 검정(chi-square test)과 독립표본 t 검정(independent t-test)을 시행하였

다. 기술통계를 통해서 연구대상자의 일반적 특성을 평균과 표준편차로 산출하였으며, 정규성 검정을 위해 샤피로-윌크 검정(Shapiro-Wilk test)을 이용하였다. 집단 내 치료 전·후의 근활성도, 기능적팔뻓기검사의 유의수준을 확인하기 위해 대응표본 t 검정과 집단 간 비교를 위해 독립표본 t 검정을 실시하였다. 통계적 유의수준(α)은 0.05로 하였다.

결 과

1. 대상자의 일반적 특성

본 연구에서 대상자의 선정기준을 충족하는 뇌졸중 환자 30명이 연구에 참여하였다. 실험군과 대조군으로 분류되었으며 두 집단 간의 동질성 검정 분석결과 유의한 차이가 없음을 확인하였다(Table 1).

2. 중재 전후 동심성 근활성도

연구군에서 마비쪽 앞정강근, 안쪽장딴지근, 가쪽장딴지근, 비마비쪽 안쪽장딴지근, 가쪽장딴지근, 가자미근에서 유의한 차이를 보였고, 대조군에서는 마비쪽 안쪽장딴지근, 비마비쪽 안쪽장딴지근, 가쪽장딴지근에서 유의한 차이를 보였다. 집단 간 비교에서는 마비쪽

Table 1. General characteristics of participants (n = 30)

Characteristics	Study group (n=15)	Control group (n=15)	$\chi^2/t$	p
Sex (male/female)	9/6	8/7	0.288	0.721
Stroke type (ICH/CI)	8/7	4/11	2.615	0.164
Paretic side (R/L)	8/7	6/9	0.152	0.786
Age (years)	48.3±12.3	52.1±10.9	0.858	0.356
Height (cm)	165.1±5.3	164.8±7.1	1.104	0.252
Weight (kg)	64.1±11.4	63.2±9.1	1.131	0.174
Duration (month)	43.5±23.0	42.3±31.2	0.585	0.568

Values are represented mean±SD. ICH: Intracranial Hemorrhage, CI: Cerebral Infarction.

Table 2. Comparison of concentric muscle activation within & between groups

(unit: %RVC)

		Study group (n = 15)			Control group (n = 15)			t	p
		pre	post	Change (post-pre)	pre	post	Change (post-pre)		
TA	Paretic	83.74 (30.62)	116.42 (49.68)	32.67* (49.95)	143.88 (122.39)	144.07 (106.24)	0.19 (75.76)	1.411	0.169
	Non-paretic	78.17 (66.61)	88.73 (59.54)	10.56 (65.28)	148.10 (103.36)	155.69 (129.20)	7.59 (101.93)	0.550	0.587
MG	Paretic	137.8 (88.57)	264.12 (151.70)	126.32** (137.04)	157.89 (39.07)	184.03 (43.93)	25.14* (25.68)	2.833	0.008*
	Non-paretic	212.73 (56.99)	316.20 (78.50)	103.47* (75.73)	187.08 (53.77)	246.70 (45.80)	59.61* (39.65)	1.963	0.062
LG	Paretic	154.39 (89.29)	236.20 (92.63)	81.86* (47.65)	173.86 (98.52)	186.15 (152.09)	12.28 (135.01)	1.051	0.302
	Non-paretic	193.53 (64.74)	291.06 (87.90)	97.52* (39.42)	198.11 (119.94)	255.90 (142.02)	57.79* (187.08)	1.927	0.064
SOL	Paretic	222.99 (145.05)	298.79 (165.37)	75.80 (155.01)	144.69 (85.01)	167.78 (95.90)	23.09 (102.50)	1.080	0.146
	Non-paretic	184.47 (82.42)	293.77 (270.92)	109.30* (262.11)	137.26 (179.11)	238.44 (178.27)	101.18 (232.13)	1.161	0.125

Values are represented mean (standard deviation). RVC: Reference Voluntary Contraction, TA: Tibialis Anterior, MG: Medial Gastrocnemius, LG: Lateral Gastrocnemius, SOL: Soleus. \*p<0.05, \*\*p<0.01.

**Table 3.** Comparison of eccentric muscle activation within & between groups (unit: %RVC)

		Study group (n = 15)			Control group (n = 15)			t	p
		pre	post	Change (post-pre)	pre	post	Change (post-pre)		
TA	Paretic	120.98 (89.02)	117.64 (55.82)	-3.34 (78.55)	96.10 (43.78)	120.28 (103.01)	24.18 (107.64)	0.817	0.421
	Non-paretic	113.82 (45.49)	137.88 (90.47)	24.07 (83.29)	72.28 (74.18)	66.88 (37.92)	-5.40 (75.75)	1.028	0.312
MG	Paretic	151.78 (29.35)	106.31 (22.73)	-45.46 (24.44)	128.77 (30.45)	104.90 (27.61)	-23.87* (38.10)	2.325	0.027*
	Non-paretic	160.36 (42.35)	118.01 (34.27)	-42.35** (30.52)	159.92 (40.77)	126.37 (40.95)	-33.57* (50.69)	0.510	0.614
LG	Paretic	187.21 (55.26)	129.00 (49.23)	-58.83** (35.09)	129.27 (40.53)	114.14 (34.53)	-15.09 (45.57)	3.106	0.004*
	Non-paretic	171.27 (59.85)	134.17 (53.88)	-37.10* (32.09)	135.97 (53.80)	116.00 (46.86)	-19.97 (33.77)	0.945	0.352
SOL	Paretic	111.93 (51.61)	132.18 (56.06)	20.42 (77.27)	179.87 (132.63)	184.12 (80.41)	4.25 (108.57)	0.719	0.478
	Non-paretic	171.17 (148.31)	209.07 (197.80)	37.90 (143.30)	145.08 (82.37)	189.66 (137.49)	44.24 (51.77)	1.140	0.263

Values are represented mean (standard deviation). RVC: Reference Voluntary Contraction, TA: Tibialis Anterior, MG: Medial Gastrocnemius, LG: Lateral Gastrocnemius, SOL: Soleus. \*p<0.05, \*\*p<0.01.

**Table 4.** Comparison of functional reach test (n = 30)

	Study group (n = 15)			Control group (n = 15)			t	p
	pre	post	Change (post-pre)	pre	post	Change (post-pre)		
FRT (cm)	11.77 (6.83)	18.23 (8.09)	6.47* (8.98)	8.31 (4.49)	13.61* (5.43)	5.30(5.93)	0.422	0.676

Values are represented mean (standard deviation). FRT: Functional Reach Test. \*p<0.05.

안쪽장딴지근에서 연구군과 대조군의 집단 간 유의한 차이를 보였다(Table 2).

### 3. 중재 전후 편심성 근활성도

연구군에서 마비쪽 안쪽장딴지근, 가쪽장딴지근, 비마비쪽 안쪽장딴지근, 가쪽장딴지근에서 유의한 차이를 보였고, 대조군에서는 마비쪽 안쪽장딴지근, 비마비쪽 안쪽장딴지근에서 유의한 차이를 보였다. 집단 간 비교에서는 마비쪽 안쪽장딴지근, 마비쪽 가쪽장딴지근에서 연구군과 대조군의 집단 간 유의한 차이를 보였다(Table 3).

### 4. 중재 전후 기능적팔뻑기검사

연구군과 대조군에서 유의한 차이를 보였으나, 연구군과 대조군의 집단 간 유의한 차이는 없었다(Table 4).

## 고찰

Park과 Wang<sup>27</sup>의 연구에서는 뇌졸중 환자에게 NMES를 앞정강근에 부착한 후 트레드밀 보행훈련을 실시하였으며, 이로써 보폭과 엉덩관절 움직임 범위의 증가를 보고하였다. 이와 관련하여, Kamper 등<sup>28</sup>은 뇌졸중 환자가 능동적인 움직임과 NMES를 동시에 적용하는 것이 근육의 경직을 감소시키고 근력을 향상시키는데 효과적이라고 하였다. 또한, Thompson과 Stein<sup>29</sup>의 연구에서 전기자극을 통한 근섬유 자극이 신체 움직임을 증가시킴으로써 중추신경회로를 재구성할 수 있

다는 가능성을 제시하였는데 이러한 연구 결과들을 종합하면, NMES 치료는 경직을 완화시켜주고, 균형과 보행에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 사료된다.<sup>30</sup>

앞정강근과 장딴지근에 NMES를 적용하여 경사판을 활용한 선행 연구에서는 발바닥뾰근의 역근육신전반사(inverse myotatic reflex)의 작용으로 인한 장딴지근의 근수축 감소로 근길이가 늘어날 수 있음을 보고하였다.<sup>31</sup> 즉, 장딴지근의 NMES 적용은 앞정강근과 장딴지근의 상호억제(reciprocal inhibition)를 강화하여 다리의 고유수용감각을 증진시킬 수 있다고 하였다.<sup>32</sup>

본 연구의 결과, 연구군에서 치료중재 전·후, 장딴지세갈래근의 동심성, 편심성 근활성도 비교 결과에서 마비쪽에서 유의한 차이가 많았으며, 집단 간 차이에서는 연구군의 마비쪽 안쪽장딴지근, 가쪽장딴지근에서만 유의한 차이를 보였다. 선행연구에서는 뇌졸중 환자의 마비쪽 강직 감소로 인한 발 형태 회복이 발의 지면 접촉면을 증가시키고,<sup>4</sup> 마비쪽으로 체중이동 증가가 나타난다고 하였다.<sup>33</sup> 본 연구의 중재방법이 연구대상자의 마비쪽의 근활성도 변화에 긍정적인 영향을 준 것으로 사료된다.

NMES를 이용한 발목조절훈련은 발바닥굽힘, 발등굽힘, 안쪽 번짐, 가쪽 번짐의 움직임을 동심성수축과 편심성수축 형태로 적용되었다.<sup>17</sup> 특히 발꿈치를 올리는 동작은 발허리발가락관절의 첫마디뼈에 붙는 발바닥널힘줄 장력의 증가를 유도하여 안쪽세로발활을 증가시킬 수 있어, 능동적인 발가락 펴름 통해 안쪽세로발활의 장력을 증가시켜주고 장딴지세갈래근의 근활성도에도 영향을 줄 수 있다고

하였다.<sup>34</sup> 이를 윈들라스 효과(windlass effect)라고 부르며,<sup>35</sup> 연구군의 장딴지세갈래근 편심성 근활성도에서 중재 전·후 유의한 감소를 이끌어 낸 것으로 생각된다.

본 연구의 중재 결과, 치료 중재 전·후 기능적팔뚝기검사의 집단 내 비교에서 연구군은 11.77cm에서 18.23cm로 6.46cm 증가하여 유의한 차이를 보였으며( $p < 0.05$ ), 대조군에서 8.31cm에서 13.61cm로 5.30cm 증가하여 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ).

장딴지근의 편심성수축에서 감소된 근활성도는 근섬유의 효율성 증진을 의미하며,<sup>24</sup> 이를 통한 에너지 소비 감소는 발압력점의 후방이동을 균형 및 보행에 긍정적 영향을 줄 수 있다고 하였다.<sup>36</sup> Lim<sup>37</sup>은 장딴지근과 가자미근의 편심성수축 운동이 발목관절가동범위와 발바닥굽힘근의 근력을 증가시킬 수 있다고 하였다. 그러므로 본 연구의 장딴지근 편심성수축 근활성도의 감소가 기능적팔뚝기 증가와 같은 균형 능력에 긍정적인 영향을 주었을 것이라 생각한다.

Lee와 Jang<sup>38</sup>은 치료적 운동과 NMES의 결합은 뇌졸중 환자의 장딴지근의 근긴장도 감소를 통해 발 압력중심점을 변화시킬 수 있다고 하였으며, Park 등<sup>39</sup>은 안·가쪽장딴지근의 경직 감소를 통한 일어나서 걷기검사 향상, 자세흔들림의 감소를 보고하였다. 그러므로 본 연구자는 NMES를 이용한 발목조절훈련이 안쪽장딴지근과 가자미근의 편심성 활성화를 증가시킬 수 있음을 증명하였으며, 기능적팔뚝기검사를 통해 균형에도 영향을 미칠 수 있음을 주장한다.<sup>31</sup>

본 연구의 제한점으로 대상자가 30명으로 일반화 해석하기에는 어려움이 있으며, 치료 이외의 일상생활을 통제할 수 없다는 점이다. 그리고 기능적 팔뚝기검사만으로 균형 능력에 대한 평가를 하기에는 부족함이 있으므로 다른 평가도구가 추가로 필요하다. 그럼에도 본 연구는 NMES를 이용하여 뇌졸중 환자의 능동적인 움직임을 병행하는 중재방법을 고안했다는 것에 의의가 있으며 최근 NMES 치료의 연구경향에 따라 다양한 치료방법들과 함께 융합될 필요가 있다고 생각한다. NMES의 주파수 설정에 있어서 고주파 자극은 저주파 자극보다 더 강한 근수축을 일으켜 근력 강화훈련에 많이 사용된다고 하였으며,<sup>40</sup> 신경근 접합부에서 자극을 전달하는 신경전달물질이 고갈되어 근피로가 쉽게 나타날 수 있다고 하였다.<sup>21</sup> 이에 따라 근피로를 최소화할 수 있도록 적절한 전기자극 조건을 고려하여,<sup>9</sup> 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## REFERENCES

- Lamola G, Fanciullacci C, Rossi B et al. Clinical evidences of brain plasticity in stroke patients. *Arch Ital Biol.* 2014;152:259-71.
- Gervasoni E, Parelli R, Uszynski M et al. Effects of functional electrical stimulation on reducing falls and improving gait parameters in multiple sclerosis and stroke. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2017;9(4):339-47.
- Wade DT, Hower RL. Functional abilities after stroke: measurement, natural history and prognosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1987;50(2):177-82.
- Dickstein R, Dvir Z, Ben Jehosua E et al. Automatic and voluntary lateral weight shifts in rehabilitation of hemiparetic patients. *Clin Rehabil.* 1994; 8(2):91-9.
- Park GH, Lee HM. Effect of action observation physical training for chronic stroke patients on the stairs walking ability and self-efficacy. *J Kor Phys Ther.* 2021;33(2):53-61.
- Park JH, Chung YJ. Comparison of aquatic treadmill and anti-gravity treadmill gait training to improve balance and gait abilities in stroke patients. *J Kor Phys Ther.* 2018;30(2):67-72.
- Choi MS, Lee JS, Kim K et al. Effects of treadmill gait training according to different inclination on postural balance in patients with chronic stroke. *J Kor Phys Ther.* 2018;30(6):205-10.
- Olney SJ, Richards C. Hemiparetic gait following stroke. *Gait & Posture.* 1996;4(2):136-48.
- Gorgey AS, Black CD, Elder CP et al. Effects of electrical stimulation parameters on fatigue in skeletal muscle. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009; 39(9):684-92.
- Wright PA, Durham S, Ewins DJ et al. Neuromuscular electrical stimulation for children with cerebral palsy: a review. *Arch Dis Child.* 2012; 97(4):364-71.
- Jiang C, Zheng M, Li Y et al. Iterative adjustment of stimulation timing and intensity during fes-assisted treadmill walking for patients after stroke. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2020;28(6):1292-8.
- Kobravi HR, Farzaneh Y, Majd MF et al. A human interactive hybrid FES-robotic system applicable to improvement of foot drop after stroke: case report of a patient with chronic stroke. *Arch Bone Jt Surg.* 2020;8(6):744.
- Sharif F, Ghulam S, Malik An et al. Effectiveness of functional electrical stimulation (FES) versus conventional electrical stimulation in gait rehabilitation of patients with stroke. *J Coll Physicians Surg Pak.* 2017;27(11): 703-6.
- Kesar TM, Perumal R, Reisman DS et al. Functional electrical stimulation of ankle plantarflexor and dorsiflexor muscles: effects on poststroke gait. *Stroke.* 2009;40(12):3821-7.
- Bae S, Lee J, Lee BH. Effect of an EMG-FES interface on ankle joint training combined with real-time feedback on balance and gait in patients with stroke hemiparesis. *Healthcare.* 2020;8(3):292.
- Higbie EJ, Cureton KJ, Warren III GL et al. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J Appl Physiol.* 1996;81(5):2173-81.
- Horak FB, Nashner LM. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *J Neurophysiol.* 1986;55(6):1369-81.
- Kim DW, Kim JH, Kim JH. Effects of eccentric activation training of plantar flexors for the patients with stroke. *J Kor Soi Neurotherapy.* 2020;24(1): 33-9.
- Bennell K, Talbot R, Wajswelner H et al. Intra-rater and inter-rater reliability of a weight-bearing lunge measure of ankle dorsiflexion. *Aust J Physiother.* 1998;44(3):175-80.
- Yoon SR, Kim JW, Song DE et al. Effect of various support surfaces on activation of tibialis anterior, peroneus longus, and gastrocnemius muscles during squat performance. *JMSI.* 2019;3(2):31-7.

21. Matsunaga T, Shimada Y, Sato K. Muscle fatigue from intermittent stimulation with low and high frequency electrical pulses. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80(1):48-53.
22. 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. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006; 87(6):853-9.
23. Criswell E. *Cram's introduction to surface electromyography.* 2nd ed. Massachusetts, Jones & Bartlett Publishers. 2010:371-4.
24. Fukunaga T, Orishimo KF, McHugh MP. Electromyographic analysis of select eccentric-focused rotator cuff exercises. *Physiother Theory and Pract.* 2022;38(13):2554-62.
25. Park JM. Effects of sit to stand exercise using asymmetric initiation foot position on lower extremity muscle activity and multitask performance in patients with chronic stroke. *J Kor Soi Neurotherapy.* 2019;23(3):45-52.
26. Jonsson E, Henriksson M, Hirschfeld H. Does the functional reach test reflect stability limits in elderly people? *J Rehabil Med.* 2003;35(1):26-30.
27. Park SJ, Wang JS. The immediate effect of FES and TENS on gait parameters in patients after stroke. *J Phys Ther Sci.* 2017;29(12):2212-4.
28. Kamper DG, Yasukawa AM, Barrett KM et al. Effects of neuromuscular electrical stimulation treatment of cerebral palsy on potential impairment mechanisms: a pilot study. *Pediatr Phys Ther.* 2006;18(1):31-8.
29. Kido Thompson A, Stein RB. Short-term effects of functional electrical stimulation on motor-evoked potentials in ankle flexor and extensor muscles. *Exp Brain Res.* 2004;159:491-500.
30. Park J. Effect of cryotherapy on muscle strength and balance on the ankle joint in patients with stroke. *J Kor Phys Ther.* 2021;33(2):91-6.
31. Choi YS, Chang WN. Effects of ankle control training using NMES on ankle joint mobility and balance in a healthy adult: a single case study. *J Kor Soi Neurotherapy.* 2022;26(3):19-29.
32. Dimitrijevic MM, Stokić DS, Wawro AW et al. Modification of motor control of wrist extension by mesh-glove electrical afferent stimulation in stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil.* 1996;77(3):252-8.
33. Dickstein R, Nissan M, Pillar T et al. Foot-ground pressure pattern of standing hemiplegic patients: major characteristics and patterns of improvement. *Phys Ther.* 1984;64(1):19-23.
34. Lee SM, Son SM, Hwang YT et al. The effect of insole to flexible flat foot on dynamic balance and ankle muscle activity during the Y-balance Test. *J Kor Phys Ther.* 2022;34(5):218-23.
35. Neumann DA. *Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for rehabilitation.* 3rd ed. St. Louis, Mosby. 2016:559-60.
36. Oh J, Kim JH. Effects of semi-squat exercise on joint position sense and balance to the types of support surface in hemiplegic patients. *J Kor Phys Ther.* 2022;34(5):242-7.
37. Lim T, Ha S, Choi Y et al. The effects of eccentric stretching with weight bearing ankle ROM and muscle strength in 20's women. *J Kor Soi Neurotherapy.* 2015;19(3):29-33.
38. Lee KR, Jang SH. The effects of TENS applied to affected lower extremities on balance in stroke patients. *J Korean Soc Phys Med.* 2014;9(3):255-62.
39. 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. *Med Sci Monit.* 2014;20:1890.
40. Selkowitz DM. High frequency electrical stimulation in muscle strengthening: a review and discussion. *Am J Sports Med.* 1989;17(1):103-11.