

## 치료적 운동에 기능적 전기자극과 경피신경전기자극 결합이 뇌졸중 환자의 근긴장도 및 뻣뻣함, 균형능력에 미치는 영향

박신준 · 조균희<sup>†</sup> · 조용훈<sup>2</sup>

강동대학교 물리치료과, <sup>1</sup>용인대학교 재활복지대학원 물리치료학전공, <sup>2</sup>아벤스병원

### Effect of Exercise with Functional Electrical Stimulation and Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation on Muscle Tone, Stiffness of Calf Muscle, and Balance Ability in Patients with Stroke

Shin-Jun Park, MS, PT · Kyun-Hee Cho, PT<sup>†</sup> · Yong-Hun Cho, PT<sup>2</sup>

Dept. of Physical Therapy, Gangdong College

<sup>1</sup>Dept. of Physical Therapy, Yongin University Graduate School

<sup>2</sup>Avene Rehabilitation Hospital

Received: February 3, 2017 / Revised: February 9, 2017 / Accepted: March 8, 2017

© 2017 J Korean Soc Phys Med

#### | Abstract |

**PURPOSE:** This study aimed to compare the impact of exercise with that of functional electrical stimulation (FES) and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on muscle tone, calf muscle stiffness, and balance ability in patients with stroke.

**METHODS:** Thirty patients with stroke were randomly divided into an FES group (n=15) and a TENS group (n=15), and a progressive task-oriented exercise was assigned to them. These exercises were performed non-synchronously from December 5, 2016 to January 31, 2017. Patients underwent TENS and simultaneously exercised for 30 minutes daily, 5 times a week for 4 weeks. To determine the effect of the interventions, muscle tone and stiffness of the medial and

lateral region of gastrocnemius muscle were measured using the MyotonPRO instrument and balance was assessed using the Berg Balance Scale.

**RESULTS:** Both groups revealed a significant decrease in muscle tone and stiffness of the medial part of gastrocnemius muscle before and after the interventions ( $p < .05$ ). Berg Balance Scale scores increased significantly ( $p < .05$ ). However, none of the other parameters were significantly different ( $p > .05$ ).

**CONCLUSION:** Our results prove that progressive task-oriented exercise along with FES and TENS decreases muscle tone and stiffness of the gastrocnemius muscle in patients with stroke and improves balance. TENS could serve as a complementary replacement for functional electrical stimulation for in-house training, as TENS poses less risk of muscle fatigue and has lesser contraindications than does functional electrical stimulation.

**Key Words:** Functional electrical stimulation, Gastrocnemius muscle tone, Stiffness, Transcutaneous electrical nerve stimulation

†Corresponding Author : ckhhot@naver.com

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.

## I. 서론

과긴장증 및 경직은 조직의 뻣뻣함과 점탄성이 증가된 현상으로 뇌졸중 환자가 경험하는 일반적인 증상이다(De Vlugt 등, 2010; Sheean과 McGuire, 2009). 경직은 근육이 정적 신장 반사에 항진된 반응과 빠른 수동 신장에 저항하는 증가된 근긴장 상태를 뜻한다(Sheean과 McGuire, 2009). 근긴장에 기여하는 기전에는 항진된 반사, 근육집합 단위의 점탄성 성질, 수축 성분의 내재성 성질이 포함된다(De Vlugt 등, 2010; Mirbagheri 등, 2007; Sheean과 McGuire, 2009). 이러한 경직이 발목에 발생하게 되면 발바닥 처짐, 구축, 뒤침 변형이 발생하게 되고 이차적으로 자세흔들림이 증가하는 균형장애와 빠른 보행 시 뻣뻣함이 증가되는 비정상적 보행패턴을 야기한다(Lin 등, 2006; Niam 등, 1999; Park 등, 2010; Vattanasilp 등, 2000). 따라서 근긴장의 성질을 이해하고 경직이 있는 뇌졸중 환자를 위한 합리적인 평가와 (Chuang 등, 2012), 치료방법이 필요하다.

뇌졸중 환자가 경험하는 심리적 장애, 감각 장애, 인지 장애, 지각 장애, 운동 장애 중, 경직은 운동 장애의 일환으로 이러한 경직을 감소시키기 위해 운동신경을 개선시키는 전기치료 중재가 시행되어 왔다(Kumar과 Kulkarni, 2014). 뇌졸중 환자의 경직을 개선시키기 위한 목적으로 실시된 전기치료 중재는 전기치료 단일 적용이 아닌 운동치료와 결합하여 적용되고 있다(Cho 등, 2013; Park 등, 2014; Sabut 등, 2011; van der Salm 등, 2006). 전기치료 중재에서 기능적 전기자극은 운동신경과 근육을 수축시킬 목적으로 전류강도를 증가시키고, 경피신경전기자극은 운동신경 문턱값 이하의 전류강도를 통해 감각신경을 자극한다(Robbins 등, 2006). 두 전기자극은 뇌졸중 환자의 경직 감소와 운동능력 회복에 효과적인 전기치료 방법으로 알려져 왔다(Robbins 등, 2006; Laufer과 Elboim-Gabyzon, 2011; Sabut 등, 2011).

기능적전기자극은 상위운동신경세포 손상과 말초신경 정상인 대상자들에게 골격근 수축과 운동신경을 촉진시킬 목적으로 움직임과 결합하여 적용하는 전기치료의 한 방법인데(Robbins 등, 2006; Sabut 등, 2011),

뇌졸중 환자의 앞정강근에 적용하였을 때 경직 감소 및 다리기능 증진에 효과가 보고되었다(Sabut 등, 2011). 기능적 전기자극에 의한 감각 입력은 걸질척수로의 흥분을 증가시켜 중추신경계 가소성 변화를 선택적으로 촉진할 수 있고, 근육섬유 자극을 통한 신체 움직임 증가는 중추 신경 회로를 재구성하는 역할을 한다(Thompson과 Stein, 2004).

경피신경전기자극 치료는 만성 및 급성 통증, 요통, 관절염, 분만통, 월경통 그리고 뇌졸중 환자의 통증을 조절할 목적으로(Sluka과 Walsh, 2003) A $\beta$ 와 같은 큰 감각 섬유를 자극하는 전기치료 중재 방법이다(Levin과 Hui-Chan, 1993). TENS를 통한 감각입력 자극은 뇌졸중 환자의 운동회복을 향상시킬 수 있고(Laufer과 Elboim-Gabyzon, 2011), 짧은엄지벌림근에 3주간의 TENS적용은 손(hand)과 아래팔 forearm) 근육의 운동지도 재구성(motor map representation)이 확장되는 결과를 보고하였다(Meesen 등, 2011). 선행 연구에서 TENS를 뇌졸중환자의 장딴지신경에 적용하였을 때 경직의 감소를 보고하였고(Potisk 등, 1995), 안가쪽 장딴지근 배치에서도 경직 감소와 균형증진 효과가 나타났다(Cho 등, 2013; Park, 등, 2014).

지금까지 선행 연구들은 운동치료와 결합한 기능적 전기자극과 경피신경전기자극 방법이 뇌졸중 환자의 경직 및 다리기능을 개선시킨다는 연구였으나 대부분 모조(placebo) 전기자극 치료와 대조군을 비교한 연구가 대부분이었다(Cho 등, 2013; Park 등, 2014; Sabut 등, 2011). 비록 Kumar와 Kulkarni (2014)의 전기자극치료와 경피신경전기자극치료를 비교한 연구가 있지만 이 연구의 초점은 운동점과 침점에 적용했을 때 경직감소와 보행에 더욱 효과적인 방법이 무엇인지를 알아보는 연구였고 경직에 관한 측정도 객관적인 방법보다는 치료사의 느낌에 의존하고 작은 변화를 감지하기 어려운 MAS만을 사용했다. 따라서 본 연구에서는 운동치료와 동시에 실시한 기능적전기자극과 경피신경전기자극 방법이 뇌졸중 환자의 근긴장도, 뻣뻣함에 미치는 영향을 근긴장도 검사기를 이용하여 알아보고, 균형능력에 미치는 영향을 확인하여 뇌졸중 후 재활에서 더 효율적인 물리적 인자치료를 제안하기 위해 연구를 진행하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 대상

본 연구는 경기도에 소재한 A 병원에 뇌졸중으로 입원한 30명을 대상으로 연구를 진행하였다. 연구대상자 선정조건은 X-ray나 MRI에 의해 뇌졸중 진단을 받고 6개월 지난 자, MAS척도가 2이하인자, 브룬스트롬 척도(Brunnstrom stage) 3이상인 자(Chuang 등, 2012), K-MMSE (Korean version of mini-mental state examination) 24점 이상인자(Kang 등, 1997), 바로 누운 자세에서 발 등 굽힘 및 발바닥 굽힘이 가능한 자로 하였다(Lin 등, 2006). 만약 담당의사에 의해 연구가 불가능하다고 판단되거나, 침 통각 검사(pin prick test)에서 심각한 감각 결손이 있는 자(Nather 등, 2008)는 연구에서 제외하였다. 침 통각 검사는 연구자가 안정성이 보장된 바늘로 마비측 종아리 표피를 눌렀을 때 대상자의 느낌에 따라 감각결손 여부를 판단하였다. 초기 측정 전 본 연구의 목적과 취지를 설명한 후 자발적으로 참여한 대상자에게 서면 동의서를 받았고, 연구대상자는 운동치료와 기능적 전기자극을 결합한 군 15명(FESG)과 운동치료와 경피신경전기자극을 결합한 군 15명(TENSG) 구분하여 연구를 진행하였다.

### 2. 측정 도구

#### 1) 근긴장도 및 뻣뻣함(muscle tone and stiffness)

뇌졸중 환자의 근긴장도 및 뻣뻣함을 측정하기 위해 근긴장도 검사기(Myoton®PRO, MyotonAS, Estonia)를 이용하였다. 이 측정장비는 뇌졸중 환자 근긴장도 평가에 신뢰성 및 타당성이 입증된 장비이다(Chuang 등, 2012). 측정근육은 안쪽가쪽 장딴지근(gastrocnemius)을 선택하였고(Wang 등, 2016), 불필요한 근긴장도를 제거하기 위해 안정 상태를 10분 유지한 후 측정을 시행하였다. 측정 전 대상자는 엷드린 자세를 취하고 각 근육 힘살(muscle belly)에 인체에 무해한 마커로 표시한 뒤 장비를 세워 5회 측정하였다. 5회의 공진동 중에 장비의 탐침기가 표식점을 벗어나지 않도록 양손을 받쳐 근육과 직각을 유지하도록 하였고, 이렇게 2번 측정

평균값을 데이터 값으로 사용하였다. 측정 시 치료실의 온도는 평균 25℃를 유지하도록 하였다.

#### 2) 버그 균형 척도(Berg Balance Scale)

뇌졸중 환자의 균형능력을 평가하기 위해 버그 균형 검사를 실시하였다. 이 평가도구는 전체 14개 과제 중 크게 앉기, 서기, 자세 변화 영역으로 나눌 수 있고, 의자 등받이에 기대지 않고 바른 자세로 앉기는 앉기 영역, 두 눈을 감고 잡지 않고 서 있기, 두 발을 붙이고 잡지 않고 서있기, 한 다리로 서 있기, 왼쪽과 오른쪽으로 뒤돌아보기, 바닥에 있는 물건을 집어 올리기, 한 발 앞에 다른 발을 일자로 두고 서 있기, 선 자세에서 앞으로 팔을 뻗어 내밀기는 서기 영역, 앉은 자세에서 일어나기, 선 자세에서 앉기, 의자에서 의자로 이동하기, 제자리에서 360° 회전하기, 일정한 높이의 발판 위에 발을 교대로 놓기는 자세 변화 영역으로 구성되어 있다(Berg 등, 1989). 각 과제의 가장 낮은 점수는 0점, 가장 높은 점수는 4점으로 모든 과제의 총합은 56점이다. 뇌졸중 환자에게 적용한 버그균형검사의 검사-재검사 신뢰도는 .98로 1에 가까운 신뢰성을 보였다(Liston와 Brouwer, 1996). 본 연구에서는 안전수칙을 준수 한 5년차 이상의 물리치료사가 평가하였고 평균 시간은 15분 걸렸다.

### 3. 중재 방법

모든 대상자는 치료사를 통한 점진적 과제-지향 운동(Progressive task-oriented exercise)과 전기치료 중재를 동시에 실시하였다(Go, 2015). 운동 구성은 선 자세에서 다양한 방향으로 팔 뻗기, 보바스 테이블을 이용하여 다양한 높이에서 앉았다 일어서기, 높낮이를 조절 할 수 있는 다양한 발판위로 앞뒤, 양 옆으로 내딛기, 발판 위로 올라서기로 이루어졌고, 횡수, 의자의 높낮이, 발판의 높이를 통해 과제 수행을 점진적으로 증가하였다. 이외에, 두 군 모두 팔 훈련을 위한 작업치료와, 일반 운동치료(보행치료, 매트치료)를 각각 30분씩 받았다. 사전 평가는 중재 시작하기 전 측정하였고, 중재 4주후 사후 평가를 비동시적으로 실시하였다.

### 1) 기능적 전기자극(functional electrical stimulation)

본 연구의 전기치료 효과를 확인하기 위해 기능적 전기자극기(Microstim, Model GmbH, Germany)가 사용되었다. 두 개의 전극 중 한 전극은 종아리뼈 머리의 온종아리 신경에 다른 전극은 앞정강근 운동점(motor point)에 부착하였다. 전류의 흐름은 발뒤꿈치 스위치를 통해 발뒤꿈치가 들릴 때만 흐르도록 하였고(Go, 2015), 주파수(frequency)는 35Hz, 맥동 폭(pulse width)은 280 $\mu$ s, 강도는 대상자가 견딜 수 있는 크기(tolerance level)로 설정하였다. 전체 전기치료 통전 시간은 30분으로 시행하였다(Sabut 등, 2011).

### 2) 경피신경전기자극(transcutaneous electrical nerve stimulation)

본 연구의 전기치료 효과를 확인하기 위해 경피신경 전기자극기(Novastim CU-FS1, CU Medical Systems, Korea)가 사용되었다. 장딴지 신경을 자극할 목적으로 두 개의 전극 중 한 전극은 가쪽 복사뼈 위에 부착하고 다른 전극은 종아리뼈 머리와 복사뼈 사이(10cm 몸쪽 부위)에 부착하였다(Potisk 등, 1995). 전류 흐름은 주파수(frequency) 0-100Hz, 맥동 폭(pulse width) 20-700 $\mu$ s의 범위 안에서 조절되는 프로그램 모드의 TENS를 설정하였고, 강도는 근육의 가시적인 수축(visible contraction)을 확인하여 수축이 사라질 때까지 크기로 설정하였으며, 전체 전기치료 통전시간은 30분으로 시행하였다(Cho 등, 2013; Park, 등, 2014).

### 4. 자료분석

본 연구의 모든 데이터 분석은 SPSS 20.0 (window version) 프로그램을 이용하였다. 연구대상자의 일반적 특성은 카이제곱과 독립표본 t 검정을 이용하여 평균과 표준편차를 나타내었고, 콜모고로프-스미르노프 검증(Kolmogorov-Smirnov Test) 통해 정규성을 확인하였다. 연구 대상자의 마비측과 비마비측 비교와 중재 전과 중재 후 근긴장도 및 뻗뻗함 균형능력 차이는 대응표본 t검정(paired t-test), 기능적 전기자극과 경피신경전기자극 치료 방법간 효과 차이(post-pre)는 독립표본 t 검정(independent t-test)을 이용하였다. 통계적 유의수준의  $\alpha$ 는 .05로 설정하여 처리하였다.

## III. 연구결과

### 1. 일반적 특성

본 연구 대상자의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 1). 기능적 전기자극군의 평균 나이는 66.20 $\pm$ 11.23세, 성별은 남자 10명, 여자 5명, 평균 몸무게는 68.33 $\pm$ 5.10kg, 평균 키는 164.33 $\pm$ 7.78cm 손상측 부위는 오른쪽 11명, 왼쪽 4명, 평균 K-MMSE 점수는 26.07 $\pm$ 1.28점, 평균 발병기간은 11.80 $\pm$ 2.96개월 이었다. 경피신경전기자극군의 평균 나이는 67.40 $\pm$ 6.97세, 성별은 남자 13명, 여자 2명, 평균 몸무게는 71.67 $\pm$ 6.86kg, 평균 키는 168.26 $\pm$ 6.30cm 손상측 부위는 오른쪽 7명, 왼쪽 8명, 평균 K-MMSE

Table 1. General characteristics of subjects (N=30)

Variable	FESG (n=15)	TENSG (n=15)	p
Age (year)	66.20 $\pm$ 11.23	67.40 $\pm$ 6.97	.72
Gender (male/female)	10/5	13/2	.19
Weight (kg)	68.33 $\pm$ 5.10	71.67 $\pm$ 6.86	.14
Height (cm)	164.33 $\pm$ 7.78	168.26 $\pm$ 6.30	.13
Affected side (right/left)	11/4	7/8	.13
K-MMSE (score)	26.07 $\pm$ 1.28	26.47 $\pm$ 1.51	.44
Time since stroke (months)	11.80 $\pm$ 2.96	12.80 $\pm$ 3.28	.38

Value are means  $\pm$  SD, \*p<.05, K-MMSE: Korean version of mini-mental state examination

FESG: functional electrical stimulation group, TENSG: transcutaneous electrical nerve stimulation group

Table 2. Comparison of muscle tone and stiffness of before and after

	Before	After	p	Before	After	p
	Affected Side			Non-affected Side		
<b>Functional Electrical Stimulation Group</b>						
Medial gastrocnemius muscle	<sup>a</sup> 15.82±2.74	14.71±3.14	.02*	16.02±2.48	15.39±2.48	.20
Lateral gastrocnemius muscle.	<sup>b</sup> 287.87±54.63	268.73±46.49	.04*	296.13±70.56	278.47±52.05	.15
	16.26±3.61	16.18±3.52	.90	16.90±2.65	16.53±2.39	.60
	306.13±50.03	309.00±60.56	.82	310.07±58.72	314.20±56.21	.81
<b>Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation Group</b>						
Medial gastrocnemius muscle	16.48±1.32	15.29±1.91	.01*	16.49±1.55	16.21±2.19	.52
Lateral gastrocnemius muscle.	306.60±35.39	280.53±24.20	.01*	302.26±37.61	294.07±39.93	.08
	16.85±2.47	16.35±2.15	.45	17.92±3.76	16.85±2.25	.26
	316.47±31.15	314.07±33.56	.84	333.60±67.42	321.67±42.36	.50

Value are means ± SD, \*p<.05, <sup>a</sup>: muscletone (Hz), <sup>b</sup>: musclestiffness (N/m)

점수는 26.47±1.51점, 평균 발병기간은 12.80±3.28개월이었다. 두 군간 유의한 차이가 없으므로 연구군간 동일하였다(p>.05).

2. 중재 전과 중재 후 근긴장도 및 뻣뻣함 변화

중재 전후 두 군 모두 마비측 안쪽 장딴지근 긴장도 및 뻣뻣함에 유의한 감소를 보였다(p<.05)(Table 2). 기

능적 전기자극군의 마비측 안쪽 장딴지근 긴장도는 중재 전 15.82±2.74Hz에서 중재 후 14.71±3.14Hz로 유의하게 감소하였고(p<.05), 경피신경전기자극군은 중재 후 16.48±1.32Hz에서 15.29±1.91Hz로 유의하게 감소하였다(p<.05). 기능적 전기자극군과 경피신경자극군의 마비측 안쪽 장딴지근 뻣뻣함도 각각 287.87±54.63N/m에서 268.73±46.49N/m로(p<.05), 306.60±35.39N/m에서

Table 3. Comparison of muscle tone and stiffness of both gastrocnemius muscles

	Before test		P	After test		P
	Affected Side	Non-affected Side		Affected Side	Non-affected Side	
<b>Functional Electrical Stimulation Group</b>						
Medial gastrocnemius muscle	<sup>a</sup> 15.82±2.74	16.02±2.48	.68	14.71±3.14	15.39±2.48	.23
Lateral gastrocnemius muscle.	<sup>b</sup> 287.87±54.63	296.13±70.56	.44	268.73±46.49	278.47±52.05	.18
	16.26±3.61	16.90±2.65	.36	16.18±3.52	16.53±2.39	.64
	306.13±50.03	310.07±58.72	.75	309.00±60.56	314.20±56.21	.65
<b>Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation Group</b>						
Medial gastrocnemius muscle	16.48±1.32	16.49±1.55	.98	15.29±1.91	16.21±2.19	.30
Lateral gastrocnemius muscle.	306.60±35.39	302.26±37.61	.72	280.53±24.20	294.07±39.93	.21
	16.85±2.47	17.92±3.76	.16	16.35±2.15	16.85±2.25	.34
	316.47±31.15	333.60±67.42	.34	314.07±33.56	321.67±42.36	.46

Value are means ± SD, \*p<.05, <sup>a</sup>: muscletone (Hz), <sup>b</sup>: musclestiffness (N/m)



Table 4. Comparison of berg balance scale of before and after

Group		Before	After	p
BBS	FESG	33.40±4.08	35.60±5.60	.04*
	TENSG	33.40±3.89	35.07±4.45	.01*

Value are means ± SD, \*p<.05

BBS: berg balance scale (score), FESG: functional electrical stimulation group, TENS group: TENSG: transcutaneous electrical nerve stimulation group,

280.53±24.20N/m (p<.05)로 유의하게 감소하였다. 나머지 비마비측 마비측 근긴장도 및 뻣뻣함도 감소하는 경향을 보였으나 유의한 차이는 없었다(p>.05). 그 외에 마비측과 비마비측의 동질성을 대응표본 t 검정을 통해 분석한 결과 기능적 전기자극군과 경피신경전기자극군 모두 양측 다리 사이에 유의한 차이가 없었다(p>.05).

### 3. 중재 전과 중재 후 균형능력 변화

중재 전·후 두 군 모두 BBS 변화에 유의한 증가가 있었다(p<.05)(Table 4). 기능적전기자극군은 33.40±4.08점에서 중재 후 35.60±5.60점으로 유의한 증가가 있었고(p<.05), 경피신경전기자극군은 33.40±3.89점에서 35.07±4.45로 유의한 증가가 있었다(p<.05).

### 4. 전기치료 방법간 중재 후 변화량 비교

기능적 전기자극군과 경피신경전기자극군의 마비측 및 비마비측 근긴장도 뻣뻣함 변화량 비교에서 두 군간 유의한 차이가 없었고(p>.05), 균형능력 변화량 비교에서도 유의한 차이가 없었다(p>.05).

## IV. 고 찰

뇌졸중 환자에게 적용되는 기능적전기자극과 경피신경전기자극은 경직 개선과 신체기능 증진에 효과적인 물리적 인자치료 방법이다(Cho 등, 2013; Kumar와 Kulkarni, 2014; Park 등, 2014; Sabut 등, 2011). 기능적전기자극과 경피신경전기자극은 운동기능이 저하된 뇌졸중 환자에게 감각입력을 통해 가소성변화를 일으킬 수 있기 때문에 다양한 연구가 진행되었고 그 결과로 각 전기치료 중재와 일반적 운동치료를 결합적용한

것이 단독 적용보다 효과적이었다는 연구결과만 이루어지고 전기치료 간 비교한 연구도 침점과 운동점에 부착하여 비교한 연구만 있는 실정기에 본 연구에서는 뇌졸중 환자에게 임상에서 흔히 적용되는 과제-지향 운동치료를 기능적전기자극과 경피신경전기자극에 결합하여 근긴장도 및 뻣뻣함, 균형능력에 미치는 영향을 비교하고자 하였다. 본 연구의 기능적 전기자극군과 경피신경전기자극군은 중재 전·후 전반적으로 다리 근긴장도가 전체적으로 감소하는 경향을 보였고, 마비측 안쪽 장딴지근 긴장도와 뻣뻣함과 BBS 점수에선 유의한 개선을 보였다.

기능적 전기자극에 의한 반복적인 발등굽힘은 뇌파 신호 상 수의적 발등굽힘과 높은 상관관계를 나타내고(Do 등, 2011), 보행 시 온종아리신경에 FES 적용은 앞정강근에 운동유발전위 진폭을 증가시킨다(Thompson과 Stein, 2004). Sabut 등(2011)은 뇌졸중 환자 마비측 앞정강근에 FES를 부착하여 일반적 운동치료와 결합하여 적용하였을 때 Fugl-Meyer 평가척도의 다리 운동 기능, 발등 굽힘근 도수 근력, MAS에 유의한 개선을 보였고, Cho (2011)의 연구에서도 동일한 부위에 부착한 후 발등굽힘 관절가동범위 증가와 MAS 감소를 보여 본 연구결과와 유사하였다. 척수손상 환자를 대상으로 전기자극기를 이용하여 주동근 배치법, 길항근 배치법, 피부분절 배치법을 대조군과 비교한 연구에서 주동근(장딴지근) 배치법은 대조군 보다 MAS의 감소를 보였으나, 길항근(앞정강근) 배치법은 근전도 돌발 시간을 통해 반사가 생성된 각도를 나타내는 발바닥 굽힘 반사시작 각도에서 대조군보다 감소하는 결과를 보여 길항근 배치법이 척수연접에 대한 민감도를 확인할 수 있는 보다 정확한 방법이라 제안하였다(van der Salm 등, 2006). 선행연구자에 의하면, 전기자극에 의한 근육수축은 혈

류량을 증가시켜 점탄성을 감소시키는데, 주동근 배치법과 길항근 배치법 모두 근수축을 유발하기 때문에 기계적 뻣뻣함이 감소한 것이라 하였다(van der Salm 등, 2006). 때문에 운동치료와 결합한 FES 중재가 앞정강근 수축능력을 증가시켜 마비측 안쪽 근긴장도 및 뻣뻣함에 감소를 보이고 이로 인한 발목관절 수행능력 증가가 BBS 증가에 영향을 미친 것으로 사료된다.

100Hz의 고빈도 TENS는 척수에 억제성 신경전달 물질인 감마-아미노부티르산(Gamma aminobutyric acid, GABA)유리를 증가시킨다(Maeda 등, 2007). 그러므로 뇌졸중 환자에게 적용한 경피신경전기자극은 비정상적으로 높은 신장반사 활동에 시냅스이전억제를 증가하여 경직 감소 효과를 유도할 수 있고, 근수축을 유발하지 않음에도 불구하고 마비측 운동기능을 개선시킬 수 있다(Potisk 등, 1995). Potisk 등(1995)은 본 연구의 배치법과 동일한 배치법으로 뇌졸중 환자에게 TENS를 적용하여 수동적으로 발목을 움직일 때 나타나는 저항 토크를 EMG 신호로 기록한 결과 모든 주파수의 즉각적 감소뿐만 아니라 15분, 30분에 걸쳐 감소가 이어지는 효과를 보고하였다. 또한, 안가쪽 장딴지근에 적용한 연구에서는 MAS 감소, TUG 감소, 앞뒤, 좌우, 동요 속도 감소와(Park 등, 2014), 발바닥굽힘 최대 저항력 감소, 눈 뜨고 감은 상태에서 자세동요 거리 감소를 보고하였다(Cho 등, 2010). 선행연구에 의하면 TENS엔 여러 가지 배치법이 존재하고, 각 배치법들이 경직을 감소시키는 것은 장딴지 신경이나 온종아리 신경에 시냅스 이전 억제를 증가하여 경직이 감소된다고 하였다(Cho 등, 2013). 때문에 본 연구에서도 다리 안쪽 장딴지 근긴장도 및 뻣뻣함에 감소를 보였고, 운동치료 중재와 전기자극에 의한 감각입력 증가가 다리에 대한 각성을 일으켜 균형능력 증가에(Lee와 Jang, 2014), 긍정적인 영향을 미친 것으로 사료된다.

근긴장도와 뻣뻣함 정도가 균형에 미치는 선행연구에서 Wang 등(2016)은 비정상적으로 근긴장도 및 뻣뻣함이 높은 편평발 환자를 대상으로 테이핑을 적용한 후 우세측 넙다리곧은근, 앞정강근 안쪽 장딴지근, 넙다리뒤근육에 감소가 나타났고 우세측 발바닥 압력에도 유의한 감소를 보였다. Kang 등(2013)의 연구에서도

경피신경전기자극 후 발바닥 압력감소와 안정성 한계 증가를 보고하였으며, 전기자극에 의한 장딴지근의 MAS 감소는 10m 보행 시간을 단축시켰다(Chen 등, 2005). Wang 등(2016)은 브룬스트롬 4단계 이상, MAS 2의 뇌졸중 환자를 대상으로 PNF 중재 후 근긴장도 및 뻣뻣함을 연구하였는데, 뇌졸중 환자는 정상인 보다 장딴지근을 포함한 다리의 근긴장도 및 뻣뻣함이 더욱 증가한 연구결과를 보고하였고 PNF 중재는 이러한 근긴장도 감소에 효과적이라고 하였다. 그 외에 Bae 등(2012)은 MAS가 높을수록 근긴장도가 증가한다고 하였다. 이상의 연구들을 종합해 볼 때 뇌졸중 환자의 장딴지근 긴장도 및 뻣뻣함 감소와 MAS 및 발바닥 압력 변화가 관련이 있어 균형능력 개선이 가능했던 것으로 사료된다.

본 연구에서 사용한 근긴장도 측정기는 안정 시 근육의 상태를 객관적으로 수치화 하여 근긴장도 및 뻣뻣함을 양적으로 손쉽게 측정할 수 있는 장비이다(Chuang 등, 2012). 근긴장도 평가에 관한 선행연구에서는 중재 전 마비측비마비측 노쪽손목굽힘근 긴장도 및 뻣뻣함이 유의했던 차이가, 중재 후 유의한 차이가 나타나지 않는다는 것은 양측 간 긴장도가 정상화됨을 의미한다고 하였다(Chuang 등, 2012). 하지만 본 연구의 마비측비마비측 근긴장도 및 뻣뻣함 비교에서 두 군 모두 중재 전과 중재 후 유의한 차이가 없었다. 초음파 검사로 마비측비마비측 발목관절 인대와 힘줄의 면적을 비교한 연구에서 뇌졸중 환자는 뒤정강근 힘줄을 제외한 나머지 구조물에 유의한 차이가 없었다(Park 등, 2010). 선행연구에서는 대상자가 독립적 보행, 체중 부하, 관절 운동이 가능한 환자였고, 보호자를 통한 수동 관절 운동을 매일 실시한 대상자였기 때문에 이러한 환자에게 나타날 수 있는 결과라 하였다. 본 연구의 대상자 또한 매일 운동치료를 받아왔던 대상자였기 때문에 좌우측 근긴장도 및 뻣뻣함 차이가 나지 않았던 것으로 사료된다. 그 외에 좌우측 비교에서 비마비측이 마비측보다 근긴장도 및 뻣뻣함이 다소 높았던 차이가 있었는데, 이는 뇌손상 후 일상생활 시 비 마비측으로 과도한 보상작용을 하는 비정상적 움직임 패턴 때문예(Wang 등, 2016), 나타난 것으로 사료된다.

본 연구의 FES군과 TENS군 간에 장딴지근 긴장도 및 뻣뻣함, BBS 점수에 유의한 차이가 없었다. 전기자극기와 TENS를 각각 운동점 배치법과 침점배치법으로 하여 비교한 Kumar와 Kulkarni (2014)의 연구에서 전기자극군과 TENS군 모두 MAS, TUG, 동적 보행 지수 (dynamic gait index, DGI)에 유의한 개선을 보였고, 군간 유의한 차이를 보이지 않아 본 연구결과와 일치하였다. 본 연구의 기능적 전기자극군과 경피신경전기자극군 간에 유의한 차이가 나지 않았던 이유로는 뇌졸중 환자의 발목 장애에서 앞정강근 마비와 장딴지근 경직이 움직임 장애를 유발하는데(Lin 등, 2006), 본 연구의 발목관절 근육약화와 2이하의 MAS 등급으로 모집된 환자는 발목관절 움직임에 장애가 있었으므로 두 전기치료 방법 모두 필요한 방법이었기 때문에 나타난 결과일 수도 있지만, 각 중재와 함께 실시하였던 과제-지향 훈련이 경직 및 신체기능을 개선시키는 영향으로(Ng와 Hui-Chan, 2007) 생긴 결과 일 수도 있다.

지금까지 연구를 통해 운동치료와 동시에 시행한 기능적전기자극과 경피신경전기자극이 뇌졸중 환자의 근긴장도 및 뻣뻣함 감소와 균형능력 증진에 효과적인 중재방법인 것을 알 수 있었고, 두 전기치료 방법 간 효과의 차이가 없음을 확인 할 수 있었다. 하지만 건강인이나 노인보다 고유수용감각 저하와(Kwon 등, 2013), 회복단계에 따라 근피로가 쉽게 발생하는 뇌졸중 환자에게(Tu 등, 2016), TENS를 통한 전기자극은 근수축 유발 없이도 감각입력이 가능하여 경직을 감소하고 이로 인해 운동기능을 개선할 수 있는 이점이 있다(Potisk 등, 1995). 장딴지근 근피로가 균형능력 감소 및 근력감소를 야기하는데, TENS의 적용은 이러한 근피로, 근력, 균형 능력 개선에 효과를 보인다(Cho 등, 2011). 반면 뇌졸중 환자는 발바닥 부위에 피부감각 장애가 발생하기도 하여(Jeon, 2014), 심각한 감각결손이 있는 자라면 TENS의 자극을 인식하지 못하게 된다. 따라서 피부에 전기자극을 느낄 수 있는 뇌졸중 환자라면, 발등굽힘의 약화가 주된 문제로 균형능력 감소가 나타난 환자의 경우에는 기능적전기자극을 선택할 수 있지만, 퇴원 후 가정에서 치료를 할 경우, 경피신경전기자극기는 금기사항이 적고 쉽게 적용할 수 있는 방법

이므로(Sluka와 Walsh, 2003), 기능적 전기자극치료를 대안 할 수 있는 방법으로 사용될 수 있을 것이다. 본 연구의 중재기간을 짧았고, 대상자의 수가 적어 모든 뇌졸중 환자에게 일반화 시킬 수 없는 제한 점이있다. 또한 일반적인 운동치료가 추가적으로 적용되었기 때문에 전기치료 이외의 다른 치료효과를 배제하지 못하였다. 하지만 본 연구에서는 마비측과 비 마비측 근긴장도를 비교하였고 중재 후 근긴장도 및 뻣뻣함 감소에 따른 좌우측 대칭성에 관한 근긴장도 상태를 확인 했으므로 전기치료 후 근긴장도 변화에 관한 기초자료로 사용될 수 있을 것이다. 앞으로의 연구에서는 더 많은 대상자와 즉각적 및 장기적 연구를 한다면 두 전기치료 방법 간 더욱 효과적인 차이점을 알 수 있을 것이라 사료된다.

## V. 결론

본 연구는 경직이 있는 뇌졸중 환자 30명을 대상으로 4주간 치료적 운동에 기능적 전기자극과 경피신경전기 자극을 결합 적용하여 안쪽·가쪽 긴장도 및 뻣뻣함, 균형능력(BBS)에 미치는 영향을 확인하기 위해 시행되었다. 연구 결과는 기능적전기자극군과 경피신경전기 자극군 모두 마비측 안쪽 장딴지근 긴장도 및 뻣뻣함에 유의한 감소와 균형능력이 유의하게 개선되었다. 하지만 두 군간 긴장도 및 뻣뻣함, 균형능력에 유의한 차이는 없었다. 따라서 감각을 느낄 수 있는 뇌졸중 환자의 경직을 감소시키기 위해 치료적 운동에 더한 경피신경 전기자극이 기능적 전기자극을 대안 할 수 있는 방법으로 사용될 수 있을 것이다.

## References

- Bae SH, Lee JI, Kim KY. Usefulness of myotonometer for measurement of tissue compliance on medial gastrocnemius in patients with stroke. JKASIS. 2012; 13(3):1129-37.



- Berg K, Wood-Dauphine S, Williams JI, et al. Measuring balance in the elderly: preliminary development of an instrument. *Physiother Can.* 1989;41(6):304-11.
- Chen SC, Chen YL, Chen CJ, et al. Effects of surface electrical stimulation on the muscle-tendon junction of spastic gastrocnemius in stroke patients. *Disabil Rehabil.* 2005;27(3):105-10.
- Cho HY, In TS, Cho KH, et al. A single trial of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) improves spasticity and balance in patients with chronic stroke. *Tohoku J Exp Med.* 2013;229(3):187-93.
- Cho HY, In TS, Lee SH, et al. Immediate effects of high-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation on the lower limb spasticity and the balance in the stroke Patient. *J Korean Soc Phys Med.* 2010;5(3):487-98.
- Cho HY, Lee SH, In TS, et al. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on changes in postural balance and muscle contraction following muscle fatigue. *J Phys ther Sci.* 2011;23(6):899-903.
- Cho MS. The Effect on ankle Joint movement by FES application on tibialis anterior muscle in chronic stroke patients. *J Korean Soc Phys Med.* 2011;6(3):277-86.
- Chuang LL, Wu CY, Lin KC. Reliability, validity, and responsiveness of myotonometric measurement of muscle tone, elasticity, and stiffness in patients with stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 2012;93(3):532-40.
- De Vlugt E, de Groot JH, Schenkeveld KE, et al. The relation between neuromechanical parameters and Ashworth score in stroke patients. *J Neuroeng Rehabil.* 2010;7:35.
- Do AH, Wang PT, King CE, et al. Brain-computer interface controlled functional electrical stimulation system for ankle movement. *J Neuroeng Rehabil.* 2011;8:49.
- Go JH. Effects of task-oriented progressive resistance strength training and task-oriented progressive resistance strength training with functional electrical stimulation on balance and gait in hemiplegic patients. Master's Degree. Yong-in University. 2015.
- Jeon HJ. A study of the sensory threshold in hemiparetic patients after stroke. Master's Degree. Yong-in University. 2014.
- Kang MK, Nam BR, Lee YS, et al. Relationship between the application of TENS to the lower limbs and balance of healthy subjects. *J Phys ther Sci.* 2103;25(9):1079-81.
- Kang YW, Na DL, Hahn SH, A validity study on the Korean mini-mental state examination(K-MMSE) in dementia patients. Korean Neurological Association. *J Korean J Korean Neurol Assoc.* 1997;15(2):300-8.
- Kumar C, Kulkarni CM. Comparison between electrical stimulation over motor point and TENS over acupuncture point in reducing spasticity and improving function after stroke: Randomized Clinical Trial. *Int J Phys Med Rehabil.* 2014;2:237.
- Kwon OS, Lee SW, Seo DK, et al. The effects of exercise-induced fatigue on knee joint position sense in the young, elderly adults and stroke patients. *J Korean Soc Phys Med.* 2013;8(4):619-25.
- Laufer Y, Elboim-Gabyzon M. Does sensory transcutaneous electrical stimulation enhance motor recovery following a stroke? A systematic review. *Neurorehabil Neural Repair.* 2011;25(9):799-809.
- 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.
- Levin MF, Hui-Chan CW. Conventional and acupuncture-like transcutaneous electrical nerve stimulation excite similar afferent fibers. *Arch Phys Med Rehabil.* 1993;74(1):54-60.
- Lin PY, Yang YR, Cheng SJ, et al. The relation between ankle impairments and gait velocity and symmetry in people with stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87(4):562-8.
- Liston RA, Brouwer BJ. Reliability and validity of measures obtained from stroke patients using the Balance Master. *Arch Phys Med Rehabil.* 1996;77(5):425-30.

- Maeda Y, Lisi TL, Vance CG, et al. Release of GABA and activation of GABA A in the spinal cord mediates the effects of TENS in rats. *Brain Res.* 2007;1136:43-50.
- Meesen RL, Cuyppers K, Rothwell JC, et al. The effect of long term TENS on persistent neuroplastic changes in the human cerebral cortex. *Hum Brain Mapp.* 2011;32(6):872-82.
- Mirbagheri MM, Settle K, Harvey R, et al. Neuromuscular abnormalities associated with spasticity of upper extremity muscles in hemiparetic stroke. *J Neurophysiol.* 2007;98(2):629-37.
- Nather A, Neo SH, Chionh SB, et al. Assessment of sensory neuropathy in diabetic patients without diabetic foot problems. *J Diabetes Complications.* 2008;22(2):126-31.
- 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.
- Niam S, Cheung W, Sullivan PE, et al. Balance and physical impairments after stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80(10):1227-33.
- Park JH, Seo DK, Choi WJ, 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;10(20):1890-6.
- Park JW, An JK, Park YB, et al. The Comparison of sonographic features of ankle ligament and tendon in affected side with non-affected side ambulatory of hemiplegic patients. *Phys Ther Kor.* 2010;17(2):60-6.
- Potisk KP, Gregoric M, Vodovnik L. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on spasticity in patients with hemiplegia. *Scand J Rehabil Med.* 1995;27(3):169-74.
- 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.
- Sabut SK, Sikdar C, Kumar R, et al. Functional electrical stimulation of dorsiflexor muscle: effects on dorsiflexor strength, plantarflexor spasticity, and motor recovery in stroke patients. *NeuroRehabilitation.* 2011;29(4):393-400.
- Sheean G, McGuire JR. Spastic hypertonia and movement disorders: pathophysiology, clinical presentation, and quantification. *PM R.* 2009;1(9):827-33.
- Sluka KA, Walsh D. Transcutaneous electrical nerve stimulation: basic science mechanisms and clinical effectiveness. *J Pain.* 2003;4(3):109-21.
- Thompson AK, Stein RB. Short-term effects of functional electrical stimulation on motor-evoked potentials in ankle flexor and extensor muscles. *Exp Brain Res.* 2004;159(4):491-500.
- Tu Y, Zhang Z, Gu X, et al. Surface electromyography based muscle fatigue analysis for stroke patients at different Brunnstrom stages. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2016;3781-4.
- van der Salm A, Veltink PH, IJzerman MJ, et al. Comparison of electric stimulation methods for reduction of triceps surae spasticity in spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87(2):222-8.
- Vattanasilp W, Ada L, Crosbie J. Contribution of thixotropy, spasticity, and contracture to ankle stiffness after stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2000;69(1):34-9.
- Wang JS, Lee SB, Moon SH. The immediate effect of PNF pattern on muscle tone and muscle stiffness in chronic stroke patient *J Phys Ther Sci.* 2016;28(3):967-70.
- Wang JS, Um GM, Choi JH. Immediate effects of kinematic taping on lower extremity muscle tone and stiffness in flexible flat feet. *J Phys Ther Sci.* 2016; 28(4):1339-42.