

# TENS는 근력을 효과적으로 증진시킬 수 있는가?: 예비연구

강종호<sup>1</sup> · 김충유<sup>2\*</sup> · 이소정<sup>3</sup>

<sup>1</sup>부산가톨릭대학교 물리치료학과 교수, <sup>2\*</sup>부산노인전문제3병원 재활치료팀 팀장,

<sup>3</sup>부산가톨릭대학교 물리치료학과 대학원생

## Effectiveness of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) in Improving Muscle Strength: A preliminary study

Jongho Kang, PT, Ph.D<sup>1</sup> · Chungyoo Kim, PT, M.S<sup>2\*</sup> · Sojung Lee, B.S<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Physical Therapy, Catholic University of Pusan, Professor

<sup>2\*</sup>Dept. of Rehabilitation Therapy, Busan Geriatric Tertiary Hospital, Manager

<sup>3</sup>Dept. of Physical Therapy, Graduate School of Catholic University of Pusan, Student

### Abstract

**Purpose** : This study aims to transcend the conventional applications of transcutaneous electrical nerve stimulation by exploring its potential to enhance muscle strength. The objective of this research is to systematically review the parameters of TENS electrical stimulation and apply them to propose innovative approaches for improving muscle strength.

**Methods** : Seventy-four healthy adult participants underwent TENS intervention targeting the quadriceps muscle three times a week for one week. The TENS electrical stimulation parameters employed in the experiment were as follows: frequency of 60 Hz pulse width of 150  $\mu$ s, duty cycle of 50 %, and stimulation intensity adjusted to achieve a knee flexion angle of 0~15 °. The intervention protocol included one set of 15 repetitions of quadriceps femoris muscle contraction and relaxation over 5 minutes, with a total of 3 sets performed in each session for a duration of 15 minutes, allowing for 30 seconds of rest between sets. Muscle strength was assessed by measuring the maximum isometric contraction strength of the quadriceps femoris using a digital muscle strength measurement device. Additionally, a visual analog scale (VAS) was employed to evaluate the subjective perception of electrical stimulation required to activate motor nerves. We also examined the occurrence of delayed onset muscle pain (DOMS) experienced during the experimental period.

**Results** : Muscle strength prior to the TENS intervention was 63.34 $\pm$ 30.16 lbs, while post-intervention muscle strength increased to 74.39 $\pm$ 31.84 lbs, reflecting a strength improvement of 16.98 $\pm$ 17.05 % over one week. These changes were statistically significant ( $p < .000$ ). The average intensity of the TENS electrical stimulation was 17.78 $\pm$ 1.92 mA and the subjective discomfort level from the electrical stimulation, measured at the end of the experiment, was 3.59 $\pm$ 1.40 points. Additionally, 33 participants experienced delayed onset muscle soreness.

**Conclusion** : This study statistically validated the muscle strength-enhancing effects of TENS. Future research should focus on identifying more appropriate and personalized electrical stimulation parameters.

**Key Words** : EMS, motor nerve stimulation, muscle strength improvement, TENS

\*교신저자 : 김충유, friday861@naver.com

제출일 : 2024년 12월 10일 | 수정일 : 2025년 2월 12일 | 게재승인일 : 2025년 2월 14일

# I. 서론

## 1. 연구의 배경 및 필요성

전기자극은 물리치료에서 가장 흔하게 사용되는 치료 기법으로 전기자극을 통해 신경을 자극하여 다양한 생리적 반응을 유도시킨다. 특히 1~1,000 Hz 대역의 저빈도 주파수를 사용하는 저주파 전기자극의 효과는 전하량에 따라 달라지며, 전하량은 펄스폭(pulse width)과 펄스 진폭(pulse amplitude), 펄스파형(pulse waveform)과 같은 전기자극 변수에 의해서 결정된다(Lee, 2021). 일반적으로 신경 손상이 없는 정상일 경우, 감각신경은 자극 역치가 가장 낮고 통증신경은 자극 역치가 가장 높으며, 운동신경은 이 두 신경사이의 자극 역치를 가지고 있다. 즉, 전기자극의 크기가 작을 경우 감각신경이 흥분하고 전기자극의 크기가 크면 통증신경이 흥분하며, 이 둘 사이의 전기자극 양이라면 운동신경이 자극받게 된다(Prentice 등, 2017). 감각신경을 자극하면 척수의 관문조절로 통증이 억제되고 통증신경이 자극되면 내재성 마약에 의한 진통이 일어나며 운동신경을 자극하면 근육이 수축되어 근력과 근육량을 증가시킨다(Sluka & Walsh, 2003). 이러한 저주파 전기자극과 신경반응의 관계는 강도-시간 곡선에서 잘 표현되어 있고(Geddes & Bourland, 1985), 이러한 전기자극의 크기 즉, 전하량에 대한 다양한 효과는 전기자극을 통증 관리와 근력 및 지구력 증진 등 물리치료의 중요한 도구로 자리 잡게 만들었다.

임상에서 흔히 사용되는 저주파 전기자극 기법은 경피신경전기자극(transcutaneous electrical nervous stimulation; TENS)과 전기근육자극(electrical muscle stimulation; EMS)이 있다. TENS는 EMS와 비교하여 작은 전하량을 통해 감각신경을 자극하여 통증을 완화하는데 사용되며, EMS는 TENS와 비교하여 큰 전하량으로 운동신경을 자극하여 근력 향상 및 근육량 증가, 근기능 개선에 사용된다(David 등, 2020). 신경 순응을 막기 위한 다양한 프리셋 기능을 내장하여 감각신경 자극에 적절하게 설계되면 TENS, 순환주기(duty cycle) 기능을 내장하여 운동신경 자극에 적절하면 EMS로 분류하는 것이 일반적인 분류이지만, 두 치료기법은 서로 감각신경과 운동신경을 모두 자극할 수 있다는 공통점을 가지고

있다(Michelle, 2022). 그러나 임상에서는 TENS의 사용 목적을 명확하게 구분하여 사용하고 있다. 비록 국민건강보험의 의료수가기준에 따라 통증 완화에만 사용하도록 국한되었다고 하지만, 이러한 관행은 전기자극이 전하량에 따라 모든 신경을 자극할 수 있다는 과학적 공통점을 간과하게 만들었고, 이로 인해서 TENS는 운동신경을 자극하는데 사용하면 안 된다는 인식이 강하게 자리 잡게 하였다. 그럼에도 불구하고 대부분의 임상 물리치료실은 EMS를 준비하고 있지 않아 인구 고령화 등으로 인한 근감소증, 불용(disuse)으로 인한 근위축 등에 대비한 전기치료 준비가 부족한 실정이다. 감각신경과 운동신경 자극 여부는 저주파 전기치료기 종류에 상관없이 주어진 전기자극이 목표 신경의 역치를 넘어서는가에 따라서 결정되므로(Bellew 등, 2022), TENS도 EMS와 마찬가지로 적절한 전기자극 변수만 수정된다면 운동신경 자극이 가능하고 이를 통해 근력 증진 가능성이라는 새로운 활용 가능성을 찾게 될 것이다.

선행연구들을 살펴보면 TENS와 EMS는 모두 독립적인 적용 효과에 초점을 맞추어 시행되었다. TENS와 관련된 연구들은 주로 감각신경 흥분에 의한 관문조절 기반의 통증 완화 효과에 대해 집중하고 있고, EMS 연구는 운동신경 자극을 통한 근력 및 근기능 향상을 입증하는 데 집중하고 있다(Arhos 등, 2024; Hunili & Erden, 2023). 그러나 TENS를 독립적 변수로 설정하여 운동신경을 자극할 수 있는 가능성을 직접적으로 비교한 연구는 매우 드물다. 기존 연구들은 TENS의 고유 목적만 전제하여 수행되어 TENS의 새로운 활용 가능성은 충분히 연구되지 않았다. 이러한 한계는 TENS의 다양한 가능성과 임상 확장성에 대한 과학적 근거를 마련하는 것을 어렵게 만들고 있다.

## 2. 연구의 목적

본 연구는 TENS의 관행적 사용 구분을 넘어, 저주파 대역 TENS의 근력증진 근거를 마련하고자 한다. TENS의 전기자극 변수를 체계적으로 고찰하고 적용하여, 근력 증진에 대한 새로운 활용 가능성을 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상 및 연구기간

본 연구는 건강한 20대 성인으로 동질 집단으로 표집한 단일 집단 사전-사후 연구이다. 연구 대상자는 연구의 목적과 방법, 연구 참여와 중도 탈락, 이익과 불이익에 대해 자세히 설명 듣고 자발적으로 연구 참여에 동의한 76명으로 구성되었다. 대상자 표집은 6개월 이내 수술, 약물치료와 같은 병력이 없고 근육뼈대계 및 신경계 질환이 없는 건강한 성인을 기준으로 하였다. 실험 중재는 11월 1일부터 11월 31일까지 수행하였고, 각 대상자는 연구기간 동안 1주 만 실험에 참여하였다. 치료 참여시 모든 대상자는 실험 전 48시간 동안 운동에 참여하지 않았으며, 실험 전 충분한 휴식을 취하게 하여 근피로의 영향을 통제하였다. 연구의 표본수는 G-power 3.1.9.7을 이용하여 유의수준 .01, 검정력 0.95, 효과크기 0.50으로 설정하여 66명이 도출되었으며, 연구 난이도에 따라 탈락자 등을 고려하여 80명을 모집하였고, 실험도중 6명이 불참 의사를 밝혀 74명이 최종적으로 연구에 참여하였다.

### 2. 측정도구 및 연구방법

#### 1) 근력 측정

TENS 자극 후 근력 변화를 알아보기 위하여 매 회차 TENS 중재 10분 후 근력을 측정하였다. 근력은 디지털 근력측정기(AP1110A-2, Jtech Inc., USA)를 이용하여 최대 수의적 등척성 수축(maximal voluntary isometric contraction; MVIC)을 측정하였다. 먼저 대상자를 치료용 테이블 위에 앉혀 오금 부분이 테이블 가장자리에 오도록 하고, 무릎과 엉덩관절을 90° 굽힘 자세를 취하게 하였다. 검사자의 한 손에는 디지털 근력측정기 착용시켜 대상자의 정강뼈 아래쪽 1/3부위의 발목관절 주름 윗부분에 위치시키고, 나머지 한 손을 디지털 근력측정기를 착용시킨 손위에 덧대게 하여 양쪽 팔을 쭉 뻗게 한 뒤, 검사자의 등을 벽에 기대게 하여 검사 안정성을 높였다(Pinto-Ramos 등, 2022)(Fig 1). 이어 검사자는 대상자의 맞은편에서 ‘시작’ 구호로 무릎 관절을 최대 펴 노력을

시킨 상태에서 펴의 반대 방향으로 5초간 저항을 제공하여 근력을 측정하였고, 30초씩 휴식 후에 두 번 더 반복하여 3회 측정값을 평균하였다. 근력측정에 사용된 값은 lbs로 표기하였으며, 모든 과정은 보상에 대한 통제를 포함하여 실험 전 충분히 교육을 하여 정확한 측정이 되도록 하였다.



Fig 1. Digital dynamometer

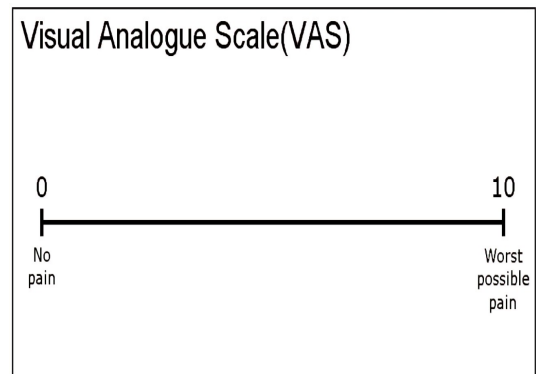


Fig 2. VAS

#### 2) 전기자극 감각 및 지연성근육통 조사

낮은 역치의 감각신경을 자극하는 전기의 전하량은 불편감을 유발하지 않지만 운동신경 역치에 도달하는 전기자극은 개인에 따라 불편감을 호소할 수 있다. 특히 근력을 높이기 위해 높은 전하량을 통전시킬 때 불편감은 커질 수 있다. 따라서 TENS로 운동신경을 자극하고 목표 근육수축에 도달할 때, 대상자가 느끼는 주관적 감각을 시각 사상척도(visual analogue scale; VAS)(Fig 2)로 표기하게 하였다. 왼쪽 끝은 아무런 느낌이 없음을 뜻하고 오른쪽 끝은 참을 수 없을 정도의 불편함을 뜻하며 대상자가 직접 표현하도록 하였다(Geng 등, 2012). 또한

운동신경 자극에 의한 근수축으로 발생 될 수 있는 지연성근육통(delayed onset muscle pain; DOMS) 발생 여부를 조사하였다. 전기자극 감각 및 지연성근육통 발생 여부는 최종 실험 후 기술하게 하였다.

### 3. TENS 전기자극 절차

전기자극기는 경피신경 전기자극기(ES-420, ITO Inc., Japan)를 사용하였고 기기에 내장된 TENS mode를 사용하였다. 정확한 전기자극을 제공하기 위하여 실험실 온도를 25 ℃, 습도는 50~60 %로 유지시켰다. 먼저 대상자의 가쪽 및 안쪽 넓은근의 운동점(motor point)을 찾기 위하여 단속직류 전기자극기(Mioelectole, ITO Inc., Japan)와 지름 1 cm의 원형 활성전극을 이용하여 주파수 1 Hz, 단상성 직사각형 펄스파(monophasic rectangular pulse wave), 펄스폭 500 ms로 자극하여 운동점을 찾아 표시하였다. 대상자를 테이블에 앉혀 다리를 자연스럽게 아래로 내려 무릎 관절이 90 ° 굽힘되는 자세를 취하게 하고 3 cm × 3 cm 크기의 젤형 접착성 전극(gel adhesive electrode)을 가쪽 및 안쪽 넓은근 운동점에 부착하였다. 전기자극 변수는 TENS의 가장 보편적인 대칭성 이상성 직사각형 펄스파(symmetry biphasic rectangular pulse wave)와 펄스폭 150 μs를 사용하였다. 운동신경 자극 사이 휴식시간을 제공하는 기능이 TENS에 없으므로 통전 시간 10초, 비통전시간 10초의 순환주기(duty cycle) 50 %를 타이머를 이용하여 실험자가 10초 간격으로 수동으로 조작하여 적용시켰다(Choi & Han, 2001). 전기자극 강도는 대상자가 견딜 수 있는 최대 자극 수준 이하에서

무릎 관절이 0~15 °가 될 수 있는 강도로 제공하였고, 목표 각도에 도달하였을 때 전기자극기의 강도를 함께 표기하였다. 근육 수축을 10초 동안 지속하고 이어서 10초 동안 휴식을 제공하여 20초 당 1회씩 근육 수축과 이완이 되도록 구성하였다. 20초당 1회씩의 수축-이완을 15회, 총 5분 적용한 것을 1세트로 하였으며, 하루에 3세트, 총 45회, 15분 동안 근육 수축을 실시하였다. 세트 사이 휴식시간은 30초씩 제공하였으며, 주 3회 1주 적용으로 시행하였다.

### 4. 통계분석

본 연구의 통계적 분석은 SPSS 프로그램(26.0 version, SPSS Inc., USA)을 이용하였다. 연구를 통해 획득한 데이터는 평균과 편차, 최대값과 최소값, 중위수로 기술통계로 표시하였고 TENS 중재 전과 중재 후 근력의 평균 차이를 통계적으로 비교하기 위하여 대응 t검정을 실시하였다. 통계적 유의성을 확인하기 위한 유의수준은 .01로 설정하였다.

## III. 결 과

### 1. 연구 대상자의 일반적 특성

대상자는 남성 33명, 여성 41명으로 구성되었으며 평균 연령은 22.57±4.64세, 평균 신장 163.58±9.12 cm, 평균 체중 57.81±12.21 kg이었다(Table 1).

Table 1. General characteristic of subjects

(n= 74)

Category	Description
Gender (male/female)	33/41
Ages (years)	22.57±4.64
Height (cm)	163.58±9.12
Weight (kg)	57.81±12.21

### 2. TENS 적용 전과 적용 후 분석 데이터 분석

TENS를 적용하기 전 평균 근력은 63.34±30.16 lbs이었

고, 1주간 3회 TENS를 적용한 후 평균 근력은 74.39±31.84 lbs이었으며, 통계적으로 유의한 변화를 보였다(p<.000). 그리고 TENS 중재 후 근력의 상승률은

16.98±17.05 %이었다. 사전 근력 측정에서 최대값은 127.00 lbs, 최소값 19.05 lbs, 중앙값은 62.00 lbs이었으며, 사후 근력 측정에서 최대값은 135.00 lbs, 최소값 19.00 lbs, 중앙값은 69.87 lbs이었다. 대상자의 넙다리네갈래근을 0~15 °로 수축시키는데 필요한 전기자극 강도는 평균

17.78±1.92 mA이었고, 대상자가 최종 실험에서 주관적으로 느끼는 전기자극의 불편한 정도는 3.59±1.40 점이었으며, 1주간 진행된 실험에서 지연성근육통이 유발된 인원은 총 33명(44 %)이었다(Table 2).

Table 2. Analyzing data before and after applying TENS (n= 74)

Category	Pre			Post			P
	Mean±SD	Range	Median	Mean±SD	Range	Median	
Strength (lbs)	63.34±30.16	19.05~127.00	62.00	74.39±31.84	19.00~135.00	69.87	.000
Increase (%)	16.98±17.05						
Intensity (mA)	17.78±1.92						
VAS (point)	3.59±1.40						
DOMS occurrence (n %)	33 (44.00 %)						

DOMS; delayed onset muscle soreness, increase; ratio of increase of posterior value to prior value, VAS; visual analogue scale

#### IV. 고 찰

운동신경을 흥분시키는 전기자극과 감각신경을 흥분시키는 전기자극의 변수는 분명한 차이를 가지고 있다. 본 연구는 감각신경을 흥분시키는데 사용하는 TENS의 전기자극 변수를 운동신경을 자극할 수 있는 변수로 설정하기 위하여 여러 가지 선행연구들을 검토하여 자극 변수를 설정하였다. 일반적으로 수술 후 환자의 NMES를 이용한 근력 증진 프로토콜은 50~100 Hz 사이의 주파수를 이용하여 지속적인 강축을 유발할 수 있어야 하고 주파수 범위 내에서 낮은 주파수를 선택하여 근피로를 예방하면서 근력을 증진시킬 수 있어야 한다(Fitzgerald 등, 2003; Vanderthommen & Duchateau, 2007). 본 연구는 이러한 NMES 주파수 선택에 대한 선행연구와 In 등(2021)의 전기자극 강도 용량, 근피로 발생, 건강한 성인 대상자 채택 등의 문제를 고려하여 TENS의 주파수를 60 Hz로 설정하였다. 국제통증연구협회(international association for the study of pain)는 전통적 TENS의 펄스폭을 50~200  $\mu$ s로 기술하고 있으며(Charlton, 2005), 이는 A $\beta$  신경섬유를 충분히 자극할 수 있을 뿐만 아니라 진

폭에 따라 A $\gamma$  신경섬유와 A $\alpha$  신경섬유를 충분히 자극할 수 있는 변수이다(Johnson, 2007). 따라서 본 연구는 TENS의 펄스폭 범위 내에서 감각신경보다 역치가 큰 운동신경을 자극하기 위하여 펄스폭을 150  $\mu$ s로 설정하여 진폭을 조절하여 자극하였으며, 그 결과 TENS 적용 후 16.98±17.05 %의 최대 등척성 근력 이득을 관찰하는데 성공하였다.

In 등(2021)은 뇌졸중 환자의 종아리 신경에 하루 30분, 주 5일, 6주간 TENS를 적용할 경우 근력 이득이 발생한다고 보고하였다. 본 연구에서도 TENS 적용 후 상당한 근력 이득을 관찰하였는데, 사전 근력이 63.34±30.16 lbs이었고 사후 근력이 74.39±31.84 lbs로 증가하였고 대응 t검정을 통해 통계적으로 유의성을 검증하였다. 다만 선행연구는 대상자 모두에게 기능훈련과 운동훈련을 실시하여 TENS를 순수한 독립변인으로 사용하지 않았고, 중재량도 본 연구보다 많았으며 전기자극 변수도 본 연구의 변수보다 높은 중재량인 펄스폭 200  $\mu$ s와 주파수 100 Hz를 사용하여 일반화하여 비교하기는 어려웠다. 본 연구에서 사전 및 사후 근력 값의 편차가 각각 큰 것으로 나타나서 근력 중앙값을 함께 분석한 결과, 사전 근력 중앙값이 62.00 lbs이었고 사후 중앙

값은 69.87 lbs로서 근력 중앙값에서도 상대적으로 증가한 것으로 나타났다. 우리의 연구는 특별한 질병이 없는 남녀 성인을 무작위로 모집함으로써 개개인의 근력 변동성이 매우 커질 수 있다는 연구의 한계를 보였다. 하지만 이번 예비연구에서 TENS를 단독 독립변인으로 처리하였고 검정력 0.95와 유의수준 .01 수준으로 검정하였다. 또한 보다 더 많은 대상자를 참여시켜 74명의 자료를 분석함으로써 관찰된 결과의 통계적 신뢰성을 높여 TENS의 잠재적 효과를 적절하게 검정하였다고 판단된다. 하지만 향후 연구에서 보다 신뢰할 수 있는 결과를 위해서 TENS를 순수한 독립변인으로 하여 참가자의 체중, 기본 근력, 지방량, 기타 관련 요인 등을 정교하게 층화시켜 대상자를 채택하여 보다 더 신뢰성을 확보해야 할 것이다.

근력을 증가시키기 위한 전기자극의 중요한 변수는 전기자극의 강도이다. 전기자극의 강도는 진폭(amplitude) 또는 강도(mA)로 표기한다. 강도가 높을수록 탈분극의 효과가 커지므로 전류의 강도를 높일수록 근력 증가 효과는 많아진다(Gondin 등, 2011). 실험적으로는 동일한 중재가 이루어지도록 동일한 전기자극 강도를 설정하는 것이 필요하지만, 전기자극에 대한 반응은 피부, 지방, 근육 두께 등에 따라 개인마다 매우 상이하므로(Enoka 등, 2020), 전기자극의 강도를 특정 mA의 정량 값으로 설정하는 것은 어려운 문제를 가지고 있다. Fitzgerald 등(2003)은 수술 환자의 넙다리네갈래근에 NMES를 적용할 경우 무릎뼈의 활주를 직접 눈으로 관찰할 수 있거나 촉지할 수 있을 정도의 강도를 적용해야 근력에 이득이 발생한다고 강조하였고, Spector 등(2016)은 수술 후 NMES 적용 시 무릎 관절이 적어도 60 °~75 ° 정도 굽힘 될 수 있도록 적용해야 한다고 주장함으로써 대상자 개인의 움직임 반응 중심으로 전기자극 강도를 결정하는 개념을 보여주었다. 본 연구에서는 건강한 대상자임을 고려하여 대상자가 테이블에 앉아 무릎을 90 ° 굽힘시킨 자세에서 0~15 ° 굽힘 자세가 될 때까지 TENS의 전기자극 강도를 증가시켰다. 즉, 선행연구와 같이 정량 값이 아닌 대상자가 모두 동일한 반응을 일으키는 개인 맞춤형 전기자극 강도를 중재 값으로 설정하였다. 본 연구에서 위의 반응을 일으키는데 필요한 전기자극의 평균 강도는 17.78±1.92 mA이었다. 하지만 최소

전기강도는 13 mA, 최대 전기 강도는 24 mA로 대상자마다 전기자극의 강도가 매우 상이한 것을 관찰하였다. 이 결과는 근력 증진을 위해 동일한 반응을 일으키는 전기자극의 강도는 개개인에 적절히 맞추어 적용해야 함을 확인시켜 주었다. 비록 전기자극기의 종류가 다르지만, 우리의 결과는 사인과 전류를 이용한 Petrofsky 등(2009)의 연구에서 넙다리네갈래근의 15 % MVIC를 유발하는데 20 mA면 충분하다는 연구결과와 유사하였는데, 근력 증진에는 전기자극기의 종류 보다는 전기자극 변수가 무엇인가가 보다 중요한 것으로 보인다.

본 연구에서는 TENS를 이용한 1주간의 근수축 훈련 결과, 약 16.98 %의 근력 증가가 관찰되었다. 이러한 근력 증가가 기존 연구와 비교하여 적절한 수준으로 평가될 수 있는지 여러 가지 검토가 필요하다. Bellomo 등(2013)의 연구에서는 복합 운동 프로그램을 12주간 시행한 결과, 주당 약 3.75 %의 근력 증가가 보고되었고, Lai 등(2021)의 연구에서는 밴드를 이용한 저항 운동 프로그램을 통해 주당 약 3.21 %의 근력 증가가 확인되었으며, Nasifah 등(2024)의 연구에서는 기능적 복합 운동을 통해 주당 약 8.4 %의 근력 증가가 나타났다. 이에 본 연구의 결과는 이러한 기존 운동 프로그램들 보다 더 높은 수준의 근력 증가율을 보인바 효과의 크기가 다소 컸음을 보여준다. 이러한 결과는 본 연구에서 적용된 전기 자극의 순환 주기, 근수축 시간, 휴식 시간과 같은 자극 변수 설정에 기인한 것으로 판단된다. 일반적으로 정상 성인을 대상으로 한 전기 자극의 순환 주기는 약 33 %(근수축 10초, 휴식 20초)로 설정되며, 여러 가지 질환, 노화로 인한 근위축 대상자는 순환 주기 16 %(근수축 10초, 휴식 50초)로 설정되는 일반적이다. 본 연구에서는 보인 높은 수준의 근력 이득은 건강한 성인을 대상으로 50 % 순환 주기를 적용하여 고강도 훈련을 시행한 결과로 보인다. 본 연구는 기존 연구에서 언급한 적이 없는 순응에 대한 처치를 시행하였는데, 운동신경의 순응을 방지하기 위해 대상자 근육의 반응이 감소하면 즉시 전기자극 강도를 1 mA씩 증가시켰다. 이러한 조치는 전기 자극의 효율성을 높이는 데 기여했을 것이나, 운동신경에게는 강한 자극으로 작용했을 것이다. 이와 관련하여 본 연구에서는 훈련 후 DOMS(지연성 근육통)의 발생 여부도 인터뷰하였는데, 1주간의 훈련 이후 DOMS를 경험한 대상자는 33

명으로 나타나 약 44 %가 DOMS를 경험하여 본 연구의 전기자극 변수가 고강도 훈련에 속했던 것으로 판단된다. 이에 반해서 기존 연구들은 노인을 대상으로 수행되었고 DOMS가 발생하지 않는 범위에서 주당 3~9 %의 근력이득을 보고하였다. 이에 따라, 향후 연구에서는 DOMS를 유발하지 않으면서도 효과적인 근력 증가를 도모할 수 있는 전기자극 변수를 규명하여, 개인 맞춤형 전기자극 프로토콜의 기초를 확립할 필요성이 있다. 또한, 추후 연구에서는 EMS나 NMES와의 비교를 통해 타당한 효과를 검증 할 것이다.

## V. 결 론

본 연구는 근력을 증진시키기 위한 전기자극 치료는 전기치료기기의 종류 보다 전기자극 프로토콜이 중요하다는 것을 보여주었다. 즉, TENS도 근력 향상에 효과적임을 통계적으로 검증되었다. 본 연구의 결과는 준비되지 않은 임상현장에서 TENS를 활용한 근력 향상 프로그램 수립에 도움이 될 것으로 보인다. 또한 향후 연구에서 보다 객관적이고 체계적인 개인 맞춤형 프로토콜 개발을 위한 연구 설계에 중요한 시사점을 제공할 것이며 웨어러블 전기 자극기의 개발에 맞추어 정밀하고 개인화된 전기 자극 변수를 규명하는 연구를 지속하여 전기 자극 변수의 표준화 및 체계화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- Arhos EK, Ito N, Hunter-Giordano A, et al(2024). Who's afraid of electrical stimulation? let's revisit the application of NMES at the knee. *J Orthop Sports Phys Ther*, 54(2), 101-106. DOI: 10.2519/jospt.2023.12028
- Bellew JW, Michlovitz SL, Nolan Jr TP(2022). *Michlovitz's modalities for therapeutic intervention*. 7th ed, Philadelphia, F.A DAVIS, pp.318-340.
- Bellomo RG, Iodice P, Maffulli N, et al(2013). Muscle strength and balance training in sarcopenic elderly: a pilot study with randomized controlled trial. *Eur J Inflamm*, 11(1), 193-201. DOI: 10.1177/1721727X1301100118
- Charlton J(2005). *Core curriculum for professional education in pain*. 3rd ed, Seattle, IASP press, pp.93-96.
- Choi JC, Han DU(2001). The effects of quadriceps setting exercise and electrical stimulation on improvement of quadriceps muscle strength. *J Kor Soc Phys Ther*, 13(2), 273-280.
- David OD, Lisa SJ, Kenneth LK(2020). *Therapeutic modalities: the art and science*. 3rd ed, Philadelphia, Wolters Kluwer, pp.300-318.
- Enoka RM, Amiridis IG, Duchateau J(2020). Electrical stimulation of muscle: electrophysiology and rehabilitation. *Physiology*, 35(1), 40-56. DOI: 10.1152/physiol.00015.2019
- Fitzgerald GK, Piva SR, Irrgang JJ(2003). A modified neuromuscular electrical stimulation protocol for quadriceps strength training following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther*, 33(9), 492-501. DOI: 10.2519/jospt.2003.33.9.492
- Geddes LA, Bourland JD(1985). The strength-duration curve. *IEEE Trans Biomed Eng*, 32(6), 458-459. DOI: 10.1109/tbme.1985.325456
- Geng B, Yoshida K, Petrini L, et al(2012). Evaluation of sensation evoked by electrocutaneous stimulation on forearm in nondisabled subjects. *J Rehabil Res Dev*, 49(2), 297-308. DOI: 10.1682/jrrd.2010.09.0187
- Gondin J, Cozzone PJ, Bendahan D(2011). Is high-frequency neuromuscular electrical stimulation a suitable tool for muscle performance improvement in both healthy humans and athletes?. *Eur J Appl Physiol*, 111(10), 2473-2487. DOI: 10.1007/s00421-011-2101-2
- Hunili T, Erden S(2023). Effect of TENS on vacuum pain in acute soft tissue trauma. *Pain Manag Nurs*, 24(4), e13-e17. DOI: 10.1016/j.pmn.2023.02.001
- In TS, Jung JH, Jung KS, et al(2021). Effectiveness of transcutaneous electrical nerve stimulation with taping

- for stroke rehabilitation. *Biomed Res Int*, 2021, Printed Online. DOI: 10.1155/2021/9912094
- Johnson M(2007). Transcutaneous electrical nerve stimulation: mechanisms, clinical application and evidence. *Rev Pain*, 1(1), 7-11. DOI: 10.1177/204946370700100103
- Lai X, Bo L, Zhu H, et al(2021). Effects of lower limb resistance exercise on muscle strength, physical fitness, and metabolism in pre-frail elderly patients: a randomized controlled trial. *BMC Geriatr*, 21(1), Printed Online. DOI: 10.1186/s12877-021-02386-5
- Lee JH(2021). Evidence based electrotherapy, 5th ed, Seoul, Daehakseorim, pp.60-100.
- Michelle HC(2022). Physical agents in rehabilitation: an evidence-based approach to practice. 6th ed, St. Louis, MO, Elsevier, pp.45-66.
- Nasifah IW, Satyawati R, Sari DI, et al(2024). The effect of adding VIVIFRIL© exercises to conventional exercises on quadriceps muscle strength and endurance in elderly people with frailty syndrome at surabaya nursing homes. *J Med Pharm Chem Res*, 6(6), 739-755. DOI: 10.48309/jmpcr.2024.435628.1090
- Petrofsky J, Laymon M, Prowse M, et al(2009). The transfer of current through skin and muscle during electrical stimulation with sine, square, Russian and interferential waveforms. *J Med Eng Technol*, 33(2), 170-181. DOI: 10.1080/03091900802054580
- Pinto-Ramos J, Moreira T, Costa F, et al(2022). Handheld dynamometer reliability to measure knee extension strength in rehabilitation patients-a cross-sectional study. *PLoS One*, 17(5), Printed Online. DOI: 10.1371/journal.pone.0268254
- Prentice WE, Quillen WS, Underwood F(2017). Therapeutic modalities in rehabilitation. 5th ed, New York, McGraw Hill Education, pp.110-119.
- Sluka KA, Walsh D(2003). Transcutaneous electrical nerve stimulation: basic science mechanisms and clinical effectiveness. *J Pain*, 4(3), 109-121. DOI: 10.1054/jpai.2003.434
- Spector P, Laufer Y, Elboim Gabyzon M, et al(2016). Neuromuscular electrical stimulation therapy to restore quadriceps muscle function in patients after orthopaedic surgery: a novel structured approach. *J Bone Joint Surg Am*, 98(23), 2017-2024. DOI: 10.2106/JBJS.16.00192
- Vanderthommen M, Duchateau J(2007). Electrical stimulation as a modality to improve performance of the neuromuscular system. *Exerc Sport Sci Rev*, 35(4), 180-185. DOI: 10.1097/jes.0b013e318156e785