

Research Article

Open Access

종아리 전기근육자극을 이용한 트레드밀 보행이 20대 성인의 하지 근육 두께 및 근활성도에 미치는 영향: 무작위 대조 실험

김주학 · 김예지 · 김명권[†]

대구대학교 일반대학원 물리치료학과, ¹대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

Effects of Treadmill Walking with Calf Electrical Muscle Stimulation on Lower Extremity Muscle Thickness and Muscle Activation in Healthy Young Adults: A Randomized Controlled Trial

Ju-Hak Kim, PT, MS · Ye-Ji Kim, PT · Myoung-Kwon Kim, PT, PhD[†]

Department of Physical therapy, Graduate School, Daegu University

¹Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Sciences, Daegu University

Received: March 13, 2025 / Revised: March 17, 2025 / Accepted: April 4, 2025

© 2025 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study aimed to investigate the effects of treadmill walking with electrical muscle stimulation (EMS) on the muscle thickness and activation of the lower extremities. EMS has been widely used in rehabilitation settings to improve muscle function. However, its impact, when applied during gait training, remains unclear.

METHODS: A total of 12 healthy adults were randomly assigned to either the experimental group (n = 6), which performed treadmill walking with EMS applied to the calf

muscles, or the control group (n = 6), which performed treadmill walking without EMS. The intervention lasted for one week, with three sessions per week, each lasting 20 minutes. Muscle thickness was measured using ultrasonography, and muscle activation was assessed using electromyography (EMG). Statistical analysis was conducted to compare pre- and post-intervention differences within and between groups.

RESULTS: The experimental group showed a significant increase in medial gastrocnemius muscle thickness compared to the control group ($p < .05$). Muscle activation in the non-dominant leg significantly improved ($p < .001$), and the dominant leg also showed a trend toward increased activation ($p < .05$).

CONCLUSION: Treadmill walking with EMS was effective in increasing muscle thickness and activation in the lower extremities. These results indicate that EMS could be

[†]Corresponding Author : Myoung-Kwon Kim

skybird-98@hanmail.net, <https://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.

a valuable rehabilitation tool for addressing muscle imbalances and improving lower limb strength. Further studies with larger sample sizes and extended intervention periods are needed to explore its long-term effects in clinical settings.

Key Words: EMG, Ultrasonography, Walking

I. 서론

2022년 통계청 보도자료에 따르면 우리나라의 65세 이상 고령인구는 전체 인구의 17.5%인 901만 8천 명이며, 2025년에는 20.6%로 초고령사회로 진입할 것으로 전망된다[1]. 나이가 들어감에 따라 자연스럽게 발생하는 노화로 근력과 근육량에 점진적인 감소가 있고, 이는 보행능력과 신체활동 저하로 낙상의 위험을 증가시킨다[2]. 대부분 50세가 지나며 매년 1~2%의 근육량이 감소하는 근감소증(Sarcopenia)을 나타내고[3,4]. 이러한 근감소증은 진행성으로 발병하여 근육량의 점진적인 감소로 근력 저하를 동반하고 신체기능에 장애를 발생시켜[5-7]. 노인의 일상생활에 부정적인 영향을 미치는 것과 밀접한 관계가 있다[8]. 근육량이 감소되면 면역기능의 감소와 폐렴, 대사증후군, 순환기 질환 등의 만성 질환의 발병률이 높아진다고 알려져있고[9,10]. 특히 하지 근육량과 근력의 감소는 균형능력과 보행능력의 감소로 이어져 낙상의 주 요인으로 보고되고 있다[11-13]. 노인 또는 근감소증이 있는 노인의 장딴지근은 젊은 사람에 비해 근육의 크기가 작고 탄력성이 낮으며[14], 발바닥 굽힘근인 장딴지근의 약화는 이동 시 발의 추진력의 감소를 가져와 노인의 이동능력을 제한시키고, 신체적 기능을 감소시켜 낙상 위험을 증가시키는 것으로 나타난다[15-16]. 이러한 이유로 발생하는 낙상사고는 의료비 증가뿐만 아니라 이로 인한 합병증으로 사망률이 높아지는 주 원인 중 하나로[17], 개인과 사회 모두에 부담을 주게 된다[18]. 따라서, 하지의 근육량과 근력은 노인이 정상적인 일상생활을 영위하고 기능적인 능력을 수행하기 위함과 밀접한 관련이

있으며[19], 만성질환과 부상 예방, 독립적인 일상생활을 영위하기 위해서 하지의 근육량을 유지 또는 증가시키는 것은 중요하다.

기존의 하지의 근육량을 증가시키기 위한 운동으로는 탄력밴드, 케틀벨 등을 사용한 저항성 운동이 주를 이루고 있고, 이러한 저항성운동은 근육의 양과 근력을 증가시키는데 긍정적인 영향이 있다[20]. 하지만 노인들에게 저항운동을 적용하는 것이 근육량과 근력, 운동능력에 긍정적인 효과를 준다는 연구에도 불구하고 정확하지 않은 동작의 저항운동은 부상의 위험을 줄 수 있으며, 정확한 교육과 관리 감독 없이 저항운동을 수행하게 된다면 상해를 입을 수 있다[21].

이러한 문제를 해결하기 위해 환자 및 노인들을 대상으로 전기자극요법(electrical muscle stimulation: EMS)을 적용한 운동법이 고려되고 있다. 여기서 전기자극요법(EMS)이란 전기적 자극을 통해 인위적으로 근육의 수축을 유발하는 것으로, 근육에 직접 적용되는 전기자극이 근 기능을 향상시키고 길항근의 억제방지와 같은 근 위축을 방지하며, 정상적인 신경 지배를 받고 있는 근섬유와 감각 및 운동신경을 자극하여 수의적 운동보다 더 큰 능력을 생성시킴으로써 유용한 치료적 이점이 있다고 알려져있다[22,23]. 이는 저항성 운동과 달리 수의적인 최대 근수축이 어려운 대상자에게도 쉽게 근육량 향상을 유도할 수 있다는 장점이 있고, 특히 고령자나 신경 또는 근골격계 기능 저하로 인해 능동적인 운동 수행이 제한적인 경우 효과적인 대안으로 활용될 수 있다.

Segers 등(2021)의 연구에서는 장기 입원 중증 환자의 대퇴사두근에 전기 자극을 주는 것이 환자의 근육량 손실을 감소시킨다고 보고하였고[24], Nishikawa 등(2021)의 연구에서는 치매 노인을 대상으로 일반적인 균형 및 보행 훈련이 끝나고 EMS를 적용하였을 때 EMS를 적용한 군에서 유의하게 근육량이 증가하였다고 보고하였다[25]. 이와 같이 EMS와 근육량의 상관관계에 대한 연구는 활발하게 이루어지고 있지만 EMS를 부착한 상태로 보행하였을 때의 근육량을 확인한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 EMS를 적용한 상태로 트레드밀을 보행했을 때 하지의 근육 두께 및

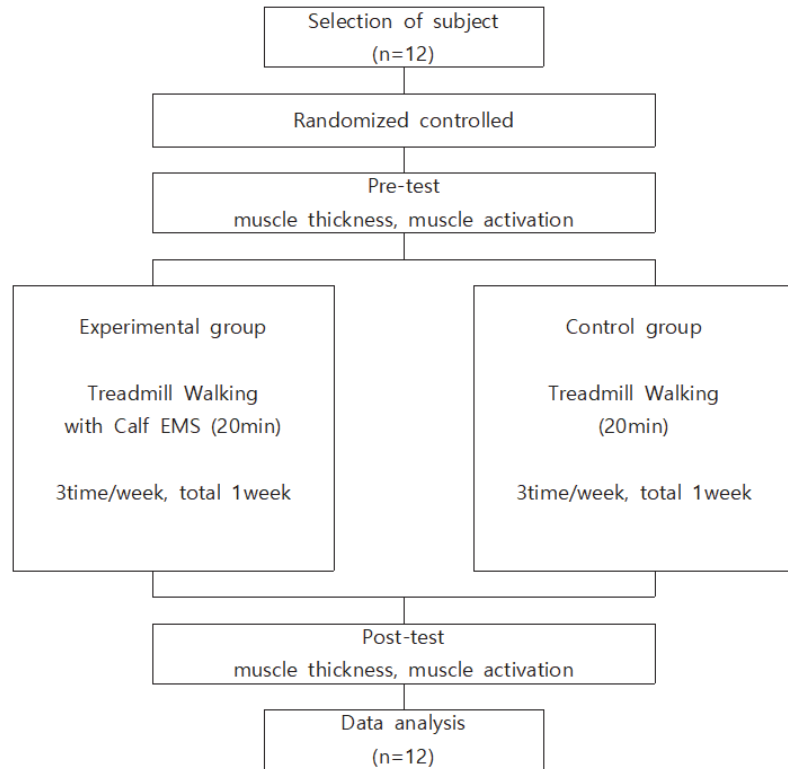


Fig. 1. Study flow chart.

근활성도 증가가 가능할 것인지를 알아보고자 한다.

본 연구는 향후 고령인구 및 근감소증 대상자에게 적용할 수 있는 중재법의 기초자료를 마련하고자 생리학적 반응이 안정적인 20대 성인을 대상으로 EMS를 이용한 트레드밀 보행이 하지의 근육 두께 및 근활성도 증가에 영향을 미칠 수 있는지에 대한 효과를 탐색하는 것을 목적으로 하였다. 이는 EMS를 이용한 트레드밀 보행이 실제로 유의미한 생리적 변화를 유도할 수 있는지를 확인하기 위한 사전적 단계의 연구 단계로 의의가 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구에 참여한 대상자는 모두 대구광역시에 거주하는 20대 성인으로, 자발적으로 참여의사를 밝힌 남녀 12명을 무작위로 모집하였다. 대상자 크기는 파

일럿 테스트 결과를 G*power analysis program 3.1을 사용하여 산출하였으며 유의수준 .05, 검정력 95%, 효과 크기 0.5로 하여 10명이 결정되었고 탈락률 20%를 고려하여 12명을 모집하였다. 실험군과 대조군에 무작위로 할당하기 위하여 제비뽑기를 통하여 배정하였고 전체적인 실험 절차는 다음과 같다(Fig. 1). 연구 대상자의 포함기준은 20분 이상 트레드밀 보행이 가능한 성인으로, 신경학적 및 근골격계 병변이 없는 성인을 모집하였다. 연구를 수행하기 위해 생명윤리위원회에서 승인(IRB: 1040621-202405-HR-036)을 받은 후 실험을 진행하였다.

2. 측정방법

1) 근육 두께

내측 장딴지근(medial gastrocnemius) 근육의 두께를 측정하기 위하여 초음파기기(SONON 300L, Healcerion,



Fig. 2. Ultrasound.

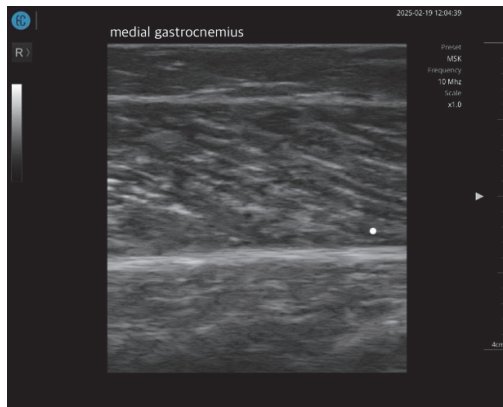


Fig. 3. Ultrasound image.

South Korea)를 사용하였다(Fig. 2). 영상 수집을 위하여 엎드린 자세에서 발목을 베드 밖으로 나오게 한 후 90도 중립 자세를 유지한 상태로 내측 장딴지근의 가장 두꺼운 부위를 선택한 후 가로방향으로 근육 두께를 측정하였다[26]. 근육 두께의 측정은 실험 전, 실험 후 총 2회 측정되었으며, 모든 측정은 동일한 물리치료사에 의해 진행되었다(Fig. 3).



Fig 4. Electromyographic measurement system.

2) 근활성도

내측 장딴지근의 근활성도를 측정하기 위하여 근전도기(DELSYS, Doo Ree system Technology, South Korea)를 사용하였다(Fig. 4). 내측 장딴지근의 최대 자발적 기준 수축 백분율(maximum voluntary contraction, %MVC)을 측정하기 위해 대상자에게 한 다리로 선 자세(one leg calf raise)에서 벽에 두 손을 붙인 상태로 발뒤꿈치를 들어올리며 5초간 최대 수축을 요청하였고, 전극은 내측 장딴지근의 가장 두꺼운 부위에 근섬유 방향에 따라 부착한 후 측정하였다[27-29]. 표면근전도 신호에 대한 피부저항을 감소시키기 위하여 부착부위의 털을 제거한 후 소독용 알코올로 피부를 깨끗이 하였다. 처음과 마지막 1초를 제외한 3초를 총 3번 측정하여 평균값을 사용하였고, 최대로 일정한 수축을 유지하기 위해 구두로 격려했다[30]. 근전도의 표본 수집율은 2000Hz이며 주파수 대역폭(bandpass-filter)은 20~500Hz 영역으로 필터링 하였고, 실효값(root mean square, RMS) 처리를 하였다. 근활성도의 측정은 실험 전, 실험 후 총 2회 측정되었으며, 모든 측정은 동일한 물리치료사에 의해 진행되었다(Fig. 5).



Fig. 5. Posture for electromyographic measurement.

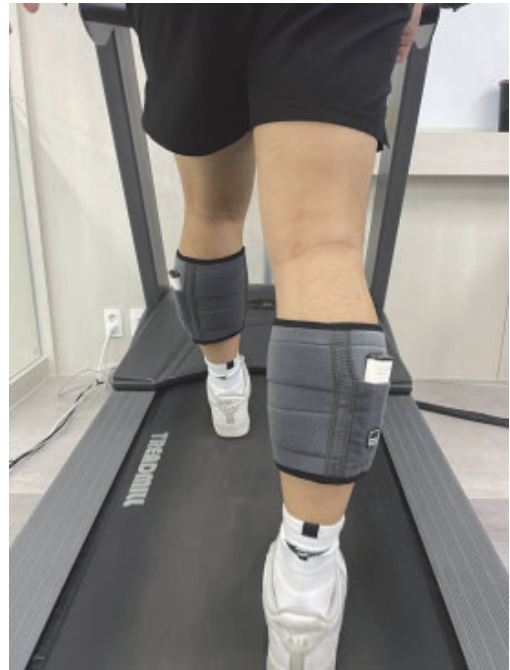


Fig. 6. Double walking.

3. 중재

1) 실험군

본 실험에는 실험군에만 종아리에 전기자극기(Double Walking, GOS, South Korea)를 적용하였다(Fig. 6). 본 제품은 보행 주기 중 유각기(swing phase)에는 전기자극이 발생하지 않고, 입각기(stance phase) 동안에만 전기자극이 오도록 설계된 제품으로 보행 시 장딴지근이 수축하는 타이밍에 맞추어 전기 자극을 제공함으로써 근수축을 보조할 수 있는 장비이다. 주파수 80Hz, 펄스 폭 500 μ s로 설정되어 있고, 자극 강도는 1~40mA 사이로 대상자의 주관적인 느낌에 따라 통증 없이 전기 자극이 느껴질 정도로 설정하였다. 실험군에 분류된 참가자는 보행 시 전기자극기를 양쪽 종아리에 착용한 후 일반적인 트레드밀 위를 4.0km/H~5.0km/H 사이 대상자가 편안하다고 느끼는 속도로 설정하였고, 트레드밀의 경사를 10도 올려서 보행하였다[31]. 트레드밀 보행은 실험이 진행되는 1주간 3회씩, 1회에 20분간 보행이 이루어졌으며, 물리치료사의 관리 및 감독 하에 이루어졌다.

2) 대조군

대조군은 전기자극기를 착용하지 않고 일반적인 트레드밀 위를 4.0km/H~5.0km/H 사이 대상자가 편안하다고 느끼는 속도로 설정하였고, 트레드밀의 경사를 10도 올려서 보행하였다[31]. 트레드밀 보행은 실험이 진행되는 1주간 1주에 3회씩, 1회에 20분간 보행이 이루어졌으며, 물리치료사의 관리 및 감독 하에 이루어졌다.

4. 통계분석

본 연구에서 측정된 자료는 그룹별로 6명씩 총 12명을 대상으로 1주간 수집된 데이터를 SPSS 28.0 program을 사용하여 분석하였고 모든 변수는 샤피로-윌크 검정(Shapiro-Wilk test)으로 정규성 검정을 하였으며 정규성이 만족되었다($p > .05$). 따라서 중재 전-후의 그룹 내 비교를 하기 위하여 대응 표본 t-test를, 그룹 간 비교를 하기 위하여 독립 표본 t-test를 실시하였다. 통계적 유의수준(α)은 .05로 설정하였다.

III. 연구결과

1) 일반적 특성

본 연구에 참여한 대상자는 20대 성인 총 12명으로 실험군 6명, 대조군 6명이다. 실험군과 대조군의 평균 나이, 키, 몸무게, 성별, 우세 다리 모두에서 그룹 간 통계학적으로 유의한 차이는 없었다($p > .05$)(Table 1).

2) 근육 두께

실험군과 대조군의 내측 장딴지근의 두께를 측정하기 위하여 초음파를 사용하였다. 근육 두께의 중재 전·후 비교에서 실험군과 대조군 우세 다리와 비우세 다리 모두에서 유의한 차이가 있었고($p < .05$), 실험군과 대조군의 그룹 간 변화량 비교에서도 우세 다리와 비우세 다리 모두에서 유의한 차이가 있었다($p < .05$)(Table 2).

Table 1. General Characteristics of Participants

Variable	EG	CG	p
Age (yrs)	27.60 ± 4.36	28.20 ± 3.70	.855
Height (cm)	168.80 ± 7.83	169.80 ± 6.85	.748
Weight (kg)	64.20 ± 12.41	65.60 ± 13.30	.732
Gender (M/F)	2/4	2/4	1.000
Dominant side (Rt/Lt)	6/0	6/0	1.000

EG: experimental group, CG: control group

Table 2. Comparison of Muscle Thickness

(unit: mm)

	Group	Pre	Post	Value difference	t	p
Right	EG	16.77 ± 2.38	19.13 ± 1.94	2.36 ± .89	5.90	.004*
	CG	16.32 ± 3.35	17.49 ± 3.14	1.17 ± .63	3.93	.017*
	t	.245	.990	2.420		
	P	.813	.78	.042*		
Left	EG	17.12 ± 2.15	19.43 ± 2.22	2.31 ± .37	13.80	.000*
	CG	16.60 ± 3.49	18.00 ± 3.18	1.40 ± .52	3.59	.023*
	t	.284	.822	3.154		
	P	.783	.435	.014*		

* $p < .05$, EG: experimental group, CG: control group

Table 3. Comparison of Muscle Activation

(unit: %MVC)

	Group	Pre	Post	Value difference	%MVC	t	p
Right	EG	.88 ± .24	1.26 ± .43	.37 ± 0.21	140.57 ± 16.52	4.146	.014*
	CG	1.06 ± .22	1.25 ± .28	.18 ± .20	118.26 ± 20.27	2.015	.114
	t	-1.204	.043	1.442	1.913		
	P	.263	.967	.018*	.092		
Left	EG	.81 ± .19	1.15 ± .34	.34 ± .21	140.97 ± 25.05	5.996	.004*
	CG	1.08 ± .18	1.37 ± .08	.28 ± .19	128.62 ± 22.71	3.205	.033*
	t	-2.287	-1.352	.449	.817		
	P	.052	.241	.665	.437		

* $p < .05$, EG: experimental group, CG: control group, MVC: maximum voluntary contraction

3) 근활성도

실험군과 대조군의 내측 장딴지근의 근활성도를 측정하기 위하여 근전도기를 사용하였다. 근활성도의 중재 전-후 비교에서 실험군의 우세 다리와 비우세 다리, 대조군의 비우세 다리에서 유의한 차이가 있었고($p < .05$), 실험군과 대조군의 그룹 간 변화량 비교에서는 우세 다리에서만 유의한 차이가 있었다($p < .05$)(Table 3).

IV. 고 찰

본 연구에서는 EMS를 적용한 트레드밀 보행 훈련이 안쪽 장딴지근의 두께와 근활성도에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 실험군에서는 EMS를 적용한 트레드밀 보행 훈련을 시행하였고, 대조군에서는 EMS를 적용하지 않은 상태로 트레드밀 보행 훈련을 시행하였다.

본 연구의 근육 두께 결과에서 실험군과 대조군의 중재 전-후 비교와, 실험군과 대조군간 변화량 비교에서 모두 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 이는 EMS를 적용한 상태로 이루어지는 저항도 운동이 근육량 증가에 유의한 효과가 있었다고 보고한 선행 연구 결과와 일치한다[32]. EMS 적용은 전기 자극을 통해 근육 활성화에 기여할 수 있기 때문에, 움직임을 통해 자발적으로 일어나는 근육 활성화와 결합되어 적용된다면 근육에 더 높은 자극을 적은 불편감으로 줄 수 있을 것이라는 선행 연구에 따라[33-35], 본 연구에서도 EMS 적용이 근육 두께를 늘리는데 효과적이라는 결과가 있었던 것으로 사료된다. EMS는 전기 자극으로 인공적인 근수축을 유발하여 재활 및 훈련의 시간을 단축시키며 근력을 기를 수 있는 훈련법으로[36], 현재까지는 근력과 근육량이 부족한 환자를 대상으로 사용되고 있었지만 선수 또는 일반 성인에게도 효과적일 수 있음이 여러 연구에서 꾸준히 제시되고 있고[37], 본 연구 결과로도 선행 연구의 주장을 뒷받침할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 근활성도 결과 중 실험군과 대조군의 중재 전-후 비교에서 실험군 우세측 다리($p < .05$)와 비우세

측 다리($p < .001$)에서는 유의한 차이가 있었지만, 대조군 우세측 다리에서는 유의한 차이가 없었고, 비우세측 다리에서만 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 이 결과는 우세측 다리와 비우세측 다리의 최대 근활성도를 비교한 선행 연구에서 우세측이 더 높게 나온 결과와 상반된 결과이다[38]. 또 다른 선행 연구에서도 우세 다리의 근활성도가 비우세 다리의 근활성도보다 높게 나타났다[39]. 선행 연구 결과와 본 연구 결과에서 상반된 결과가 나온 것은 EMS 사용 여부의 차이 때문인 것으로 판단된다. 선행 연구에서는 중재 시 EMS를 사용하지 않았고, 본 연구의 중재에서는 EMS를 사용하였다. EMS는 능동적인 움직임 시 상대적으로 덜 활성화되는 비우세 다리의 근육을 전기 신호를 이용하여 인위적으로 근육을 수축시켰기 때문에 본 연구에서 EMS를 적용한 보행 훈련 시 비우세 다리의 근활성도를 증가시킨 것으로 사료된다. 이러한 결과는 우세 다리와 비우세 다리 간의 근육 불균형을 조정하는 목적으로 EMS를 활용할 수 있음을 시사한다. 또한 본 연구 결과로 EMS를 사용한 보행이 하지의 근육 두께 및 근활성도를 높이는 데 효과적일 수 있음을 뒷받침하는 근거로 제시할 수 있다. 결과를 종합하여 볼 때, EMS를 이용한 보행 훈련은 하지 근육의 구조적 및 기능적 향상에 기여할 수 있으며, 근감소증의 예방 및 개선을 위한 효과적인 중재법으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점은 1) 대상자의 수와 연령대가 한정적이었기 때문에 일반화가 어렵다는 점이고, 2) 중재의 총 횟수도 3회로 충분한 중재의 효과가 나타나기까지 시간이 짧았다고 판단되고, 3) 추적 조사가 이루어지지 않았기 때문에 효과의 지속을 판단하기가 어렵다는 점이 있다. 향후 연구에서는 더욱 다양한 대상자들로 장기간의 중재 이후 효과의 지속을 파악할 수 있다면 더욱 의미 있는 연구 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 향후 고령인구 및 근감소증 대상자에게 근육 두께 및 근활성도를 증가시키기 위한 목적으로

쉽게 적용할 수 있는 중재법의 기초자료를 마련하고자 일반적인 20대 성인 12명을 대상으로 EMS를 적용한 트레드밀 보행을 수행하는 실험군과 EMS를 적용하지 않고 트레드밀 보행을 수행하는 대조군의 효과를 알아보기 위하여 내측 장딴지근의 근육 두께와 근활성도를 조사하였다. 연구 결과, 실험군과 대조군 두 군 간의 근육 두께와 근활성도의 변화량 차이에서 유의한 차이가 있었다.

이러한 결과는 EMS를 적용한 보행 훈련이 하지의 근육 두께와 근활성도를 증가시키는데 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 시사하며, 이러한 효과를 바탕으로 실제 임상에서 보행 훈련 시 EMS를 적용한다면 하지 근육 강화에 효과적인 재활 프로그램으로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

References

- [1] Korea National Statistical Office, Social Survey, 2022.
- [2] Emilio EJML, Hita-Contreras F, Jiménez-Lara PM et al. The association of flexibility, balance, and lumbar strength with balance ability: risk of falls in older adults. *Journal of sports science & medicine*, 2014;13(2):349.
- [3] Hughes VA, Frontera WR, Roubenoff R, et al. Longitudinal changes in body composition in older men and women: role of body weight change and physical activity. *Am J Clin Nutr*. 2002;76(2):473-81.
- [4] Sehl ME, Yates FE. Kinetics of human aging: I Rates of senescence between ages 30 and 70 years in healthy people. *The Journals of Gerontology*. 2001;56(5):198-208.
- [5] Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer JM, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing*. 2019;48:16-31.
- [6] Chen LK, Woo J, Assantachai P et al. Asian Working Group for sarcopenia: 2019 consensus update on sarcopenia diagnosis and treatment. *J Am Med Dir Assoc*. 2020;21:300-07 e302.
- [7] Zuo X, Li X, Tang K, et al. Sarcopenia and cardiovascular diseases: a systematic review and meta-analysis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2023;14(3):1183-98.
- [8] Cruz-Jentoft AJ, Sayer AA. Sarcopenia. *The Lancet*. 2019;393(10191):2636-46.
- [9] Boyle PA, Buchman AS, Wilson RS, et al. Association of muscle strength with the risk of Alzheimer disease and the rate of cognitive decline in community-dwelling older persons. *Arch Neurol*. 2009;66(11):1339-44.
- [10] Woo J, Leung J, Morley JE. Defining sarcopenia in terms of incident adverse outcomes. *J Am Med Dir Assoc*. 2015;16(3):247-52.
- [11] Wolfson L, Judge J, Whipple R, et al. Strengthening is a major factor in balance, gait and the occurrence of fall. *J Geronto*. 1995;50:64-7.
- [12] Kim YH, Yang KH, Park KS. Fall experience and risk factors for falls among the community-dwelling elderly. *Journal of muscle and joint health*. 2013;20(2):91-101.
- [13] Won CW. Diagnosis of sarcopenia in primary health care. *Journal of the Korean Medical Association*. 2020;63(10):633-41.
- [14] Saito A, Wakasa M, Kimoto M, et al. Age-related changes in muscle elasticity and thickness of the lower extremities are associated with physical functions among community-dwelling older women. *Geriatr Gerontol Int*. 2019;19: 61-5.
- [15] Cofré LE, Lythgo N, Morgan D, et al. Aging modifies joint power and work when gait speeds are matched. *Gait Posture*. 2011;33(3):484-89.
- [16] Franz JR, Kram R. Advanced age affects the individual leg mechanics of level, uphill, and downhill walking. *J Biomech*. 2013;46(3):535-40.
- [17] Rubenstein LZ, Josephson KR. Falls and their prevention in elderly people: What does the evidence show?. *Med Clin North Am*. 2006;90(5):807-24.
- [18] Landi F, Calvani R, Tosato M, et al. Age-related variations of muscle mass, strength, and physical performance in community-dwellers: results from the Milan EXPO survey.

- J Am Med Dir Assoc. 2017;18(1):88-e17.
- [19] Schlicht J, Camaione DN, Owen SV. Effect of intense strength training on standing balance, walking speed, and sit-to-stand performance in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2001;56(1):281-6
- [20] Agergaard J, Bülow J, Jensen JK et al. Light-load resistance exercise increases muscle protein synthesis and hypertrophy signaling in elderly men. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2017;312(4):E326-E338.
- [21] Son YH, Park HS. 2016. The effects of electrical muscle stimulation on lower body muscular function and balance ability of elderly. *The Korea Journal of Sports Science*, 2016;25(1):1371-83.
- [22] Doucet BM, Lam A, Griffin L. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function. *Yale J Biol Med*. 2012;85(2):201-15
- [23] Pekindil Y, Sarıkaya A, Birtane M, et al. 99m Tc-sestamibi muscle scintigraphy to assess the response to neuro muscular electrical stimulation of normal quad- riceps femoris muscle. *Ann Nucl Med*. 2001;15(4):397-401.
- [24] Segers J, Vanhorebeek I, Langer D, et al. Early neuromuscular electrical stimulation reduces the loss of muscle mass in critically ill patients—a within subject randomized controlled trial. *J Crit Care*. 2021;62:65-71.
- [25] Nishikawa Y, Takahashi T, Kawade S, et al. The effect of electrical muscle stimulation on muscle mass and balance in older adults with dementia. *Brain Sci*. 2021;11(3):339.
- [26] Legerlotz K, Smith HK, Hing WA. Variation and reliability of ultrasonographic quantification of the architecture of the medial gastrocnemius muscle in young children. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2010;30(3):198-205.
- [27] Hermens HJ, Freriks B, Merletti R, et al. SENIAM 8: European recommendations for surface electromyography, deliverable of the SENIAM project. Enschede, Netherlands: Roessingh Research and Development. 1999.
- [28] Kwon YJ, Song NY. Activation of the triceps surae during heel raising depend on the knee joint flexion angles. *Journal of The Korean Society of Physical Medicine*. 2013;8(4):497-503.
- [29] Park JS, Nam YK, Kim MJ, et al. Analysis of muscular activity of tibialis anterior muscle and gastrocnemius muscle in functional reach test of elderly according to different surfaces. *The Korean Academy of Clinical Electrophysiology*. 2011;9(2):25-30.
- [30] Hanten DM, Harris BA, Jette AM. A strength training program for postmenopausal women: a pilot study. *Arch Phys Med Rehabil*. 1994;75(2):198-204.
- [31] McIntosh AS, Beatty KT, Dwan LN, et al. Gait dynamics on an inclined walkway. *J Biomech* 2006;39(13):-2491-2502.
- [32] Ahmad MF, Hasbullah AH. The effects of electrical muscle stimulation (EMS) towards male skeletal muscle mass. *Int J Sport Health Sci*. 2015;9(12):864-73.
- [33] Gerovasili V, Tripodaki E, Karatzanos E, et al. Short-term systemic effect of electrical muscle stimulation in critically ill patients. *CHEST*. 2009;136:1249-56
- [34] Paillard T. Training based on electrical stimulation superimposed onto voluntary contraction would be relevant only as part of submaximal contractions in healthy subjects. *Front Physiol*. 2018;9:1428.
- [35] Lee MC, Ho CS, Hsu YJ, et al. Effect of 8-week frequency-specific electrical muscle stimulation combined with resistance exercise training on muscle mass, strength, and body composition in men and women: a feasibility and safety study. *PeerJ*. 2023;11:e16303.
- [36] Kemmler W, Weissenfels A, Willert S, et al. Efficacy and safety of low frequency whole-body electromyostimulation (WB-EMS) to improve health-related outcomes in non-athletic adults. A systematic review. *Front Physiol*. 2018;9:573.
- [37] Filipovic A, DeMarees M, Grau M, et al. Superimposed whole-body electrostimulation augments strength adaptations and type II myofiber growth in soccer players during a competitive season. *Front Physiol*. 2019;10:1187.
- [38] Willems ME, Ponte JP. Divergent muscle fatigue during

- unilateral isometric contractions of dominant and non-dominant quadriceps. J Sci Med Sport. 2013;16(3): 240-4.
- [39] Eum YB, Lee JH, Lee HS. Effects of bilateral and unilateral weight-bearing exercises on asymmetry index of muscle activity, muscle fatigue and muscle tone in healthy men. The Korean journal of physical education. 2020;59(3):375-386.