

Effect of 1Hz Motor Nerve Electrical Stimulation on Joint Range of Motion

Jong Ho Kang 

Department of Physical Therapy, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan, Busan, Republic of Korea

Objective: This study aims to compare the range of motion of the joints by applying the contraction and relaxation techniques used in manual therapy as electrical stimulation treatment. Based on this, we would like to propose the possibility of using motor nerve electrical stimulation therapy for musculoskeletal physical therapy.

Design: Single-arm interventional study

Methods: Active and passive straight leg raising tests were performed on 20 healthy men and women in their 20s to measure the angle of hip joint flexion. Then, the electrical stimulation time was set to 10 seconds and 5 seconds of rest, and motor nerve electrical stimulation of 1 Hz was applied with the maximum strength that could withstand the hamstring muscles for 10 minutes. After electrical stimulation, straight leg raising tests again to confirm the range of motion of the hip joint flexion.

Results: As a result of this study, it was confirmed that the joint range of motion was significantly improved for both active and passive straight leg raising tests after application of motor nerve electrical stimulation ($p < .05$).

Conclusions: With a strong electrical stimulation treatment of 1 Hz, the effect similar to the contraction and relaxation technique used in manual therapy was confirmed through the joint range of motion. In the future, motor nerve electrical stimulation therapy can be used for musculoskeletal physical therapy to provide a new approach for patients with reduced pain and joint range of motion due to muscle tension.

Key Words: Electric stimulation therapy, Range of motion, Straight leg raising test, Transcutaneous electrical nerve stimulation

서론

전기치료는 전기치료기에서 생성된 전기를 인체에 적용하는 물리치료방법이다. 전기치료가 인체에 적용되면 전기자극의 강도에 따라 순차적으로 감각신경, 운동신경, 통증신경이 자극된다. 전기 자극 강도가 작으면 감각신경, 중간은 운동신경, 높으면 통증신경을 흥분시킬 수 있다. 이러한 전기자극 특성을 활용하면 인체의 신경을 흥분시켜 특정 생리학적 효과와 임상적 효과를 얻는 것이 가능하다[1].

일반적으로 사용되는 전기자극은 낮은 강도로 감각신경을 자극하는 전기자극이다. 감각신경이 흥분되면 관문조절설 이론에 따라 손상된 지점의 통증을 척수 상위신경으로 흥분을 전도하지 않고 차단시킬 수 있어 널리

사용되는데 이를 경피신경전기자극(transcutaneous electrical nerve stimulation, TENS) 치료라고 부른다[1]. 또한 높은 강도의 전기자극으로 불편감과 통증감을 유발하는 전기자극도 사용되고 있는데, 인체에 불편한 수준의 강한 자극이 중추신경계에 엔돌핀과 엔케팔린과 같은 물질들을 생성, 유리시킨다. 이 물질들은 내재적 천연 아편제로 통증을 감소시키는 중요한 역할을 수행한다. 이와 같이 전기자극은 감각신경 또는 통증신경을 흥분시켜서 급성통증 또는 만성통증을 관리하는데 사용되고 있다[2, 3]. 그리고 최근 운동, 스포츠 물리치료 분야에서 근육의 컨디션을 개선시키기 위해 운동신경 전기자극을 널리 사용하고 있다. 운동신경 전기자극은 운동신경을 흥분시켜 근수축을 유도하여 위축예방, 근력, 근지구력 증강에 사용된다[4, 5]. 이러한 전기자극을 근육신

Received: Nov 9, 2022 Revised: Nov 22, 2022 Accepted: Dec 5, 2022

Corresponding author: Jong Ho Kang (ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2915-6853>)

Department of Physical Therapy, Catholic University of Pusan

57 Oryundae-ro, Geumjeong-gu, Busan 609-757, Republic of Korea

Tel: +82-51-510-0579 Fax: +82-51-510-0578 E-mail: swithun@cup.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

Copyright © 2022 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

경전기자극, 신경근전기자극으로 부르며 이를 기능적으로 활용하여 기능을 증진하는데 사용할 경우 기능적전기자극(functional electrical stimulation, FES)이라고 부른다[6].

일반적으로 운동신경전기자극은 근력, 지구력 그리고 근육의 기능 증진을 위해 근육을 강축시킨다. 낮은 주파수의 전기자극은 연속 또는 불완전 강축을 일으키고 높은 주파수의 전기자극은 완전 강축을 일으킬 수 있다. 따라서 근력, 근지구력 또는 기능증진에 사용되는 운동신경전기자극은 30-100Hz의 높은 주파수 대역을 사용하는 것이 일반적이다[1]. 그러나 운동신경전기자극의 생리학적 역할을 고려한다면 근력, 근지구력 증진과 같은 전통적 목적 이외에 다른 목적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 전통적인 도수치료 분야에서 근육 과긴장으로 인한 통증을 해결하기 위하여 근육을 일정시간동축성으로 수축 후 이완시키는 치료를 실시하고 있다[7]. 이것은 근육의 강한 수축 후 이완이 오는 신경생리학적 원리를 활용하는 치료방법이다. 이 치료로 근육의 과도한 긴장이 완화되면 환자가 호소하는 통증의 수준이 감소하고 과긴장된 근육이 붙잡고 있는 관절의 움직임을 개선시켜 관절가동범위가 증진된다[8].

일반적으로 자동화된 경피신경전기자극 치료에서 이러한 패턴의 수축과 이완을 유도하는 전기자극 프로토콜이 내재되어 있지만 근육의 강한 수축에 이어 찾아오는 이완을 유도하는 경피신경전기자극 치료 연구는 찾아보기 어렵다. 그러나 전기자극의 파형과 주파수 그리고 진폭 등의 전기자극 변수를 조절하면 도수치료와 같이 짧고 강한 수축을 유발시킬 수 있다. 그러나 사람이 능동적으로 수축하는 것과 전기자극으로 인한 수동적으로 수축하는 것의 질은 분명히 다르다. 1-1000Hz의 특정 주파수에서 전기자극에 대한 근육의 반응은 사람이 능동적으로 수축할 때처럼 신경동원이 순차적으로 증가하는 패턴으로 반응하지 않고 전기자극 양에 따라 동시 수축 패턴으로 반응하는 생리학적 차이가 있기 때문이다[1].

그럼에도 불구하고 적절한 전기자극 변수를 선택하면 물리치료사들이 수행하는 수축과 이완의 치료기술을 신

경생리학적으로 적용할 수 있다고 사료된다. 즉, 운동신경전기자극에 의한 근육 수축도 골지 힘줄 기관(golgi tendon organ)을 자극하여 이완을 유도할 수 있을 것이다[9]. 따라서 본 연구는 낮은 주파수와 높은 강도의 운동신경전기자극을 적용하여 근육의 변화를 일으킬 수 있는지 관절가동범위를 측정하여 알아보고, 근골격계치료를 운동신경전기자극의 활용 가능성을 확장하는데 보탬이 되고자 한다.

연구방법

대상자

본 연구는 B시에 거주하는 20대 성인 남녀 20명으로 실험에 대한 충분한 설명을 듣고 자발적으로 연구 참여에 동의한 사람들을 대상으로 실시하였다. 연구에 참여한 대상자들은 정형외과적, 신경외과적 질환이 없으며, 정기적으로 병원을 방문하여 근골격계 치료를 받고 있지 않는 자, 과거 수술 경험이 없는 자들 중 하지직거상 검사(straight leg raising Test, SLR Test)에서 각도가 70°이하인 일반인들로 구성하였다(Table 1).

실험절차

본 연구는 하지직거상 검사에서 엉덩관절의굽힘 각도가 70° 이하로 뒤넙다리근이 단축된 20명의 대상자들에게 운동신경전기자극을 1회, 10분간 뒤넙다리근에 적용하였으며, 중재 전과 후에 하지직거상 검사를 실시하여 엉덩관절의 각도 변화를 살펴보았다.

실험과정

전기자극

운동신경 전기자극을 통한 근육을 수축시키기 위하여 전기자극기(ES-420, ITO, JAPAN)을 사용하였다(Figure 1). 전기자극기는 경피신경전기자극, 운동신경전기자극(electrical muscle stimulation, EMS), 미세전기자극(microcurrent stimulation, MCR)을 선택할 수 있도록 되어 있으며 본

Table 1. General characteristics of subjects

Gender	Male: 8	Female: 12
Age (years)	23±2.1	
Height (cm)	164±4.9	
Weight (kg)	65±7.2	

Mean±standard deviation



Figure 1. Electrotherapy equipment (ES-420, ITO, JAPAN)

연구에서는 운동신경전기자극 모드를 사용하였다. 운동신경전기자극 모드의 전기자극 변수는 대칭성 이상성 직사각형파(symmetry biphasic rectangular wave), 펄스 폭(pulse width) 300us, 주파수 1Hz로 설정하였다. 전기자극 강도는 대상자의 관절이 움직이지 않는 수준에서 대상자가 견딜 수 있는 최대강도로 설정하였으며 최소 10mA에서 최대 20mA이내 범위에서 자극하였다. 1Hz 전기자극시간은 10초이며 자극후 휴식시간은 5초로 하여 10분간 전기자극을 실시하였다. 전기자극에 사용된 전극은 가로 10cm, 세로 5cm 크기의 부착형 표면전극이며 우측 뒤넙다리근 내측 상부와 뒤넙다리근 외측 하부의 운동점에 각각 부착하여 뒤넙다리근을 수축시켰다[1].

하지직거상 검사

하지직거상 검사는 능동과 수동으로 측정하였다. 능동하지직거상 검사는 대상자를 바로 눕히고 3분간 휴식을 취하게 하여 긴장을 풀도록 한 후, 검사자의 지시에 따라 무릎을 곧바로 편 상태에서 통증 없이 최대로 가능한 범위로 다리를 위로 들어 올리게 하였다. 이때 동시에 대형 관절각도계(stainless steel goniometer 7517, jarmar, USA)를 이용하여 엉덩관절 각도를 측정하였다 [10]. 수동하지직거상 검사는 대상자를 바로 눕힌 상태에서 치료사가 대상자의 무릎을 고정시켜 무릎이 구부

러지지 않도록 손으로 고정한 상태에서 우측 다리를 위로 들어올렸다. 이 때 대상자가 통증을 호소하지 않는 최대한의 가동범위로 들어 올리고 검사자가 관절각도계로 엉덩관절 각도를 측정하게 하였다[11].

분석방법

본 연구의 통계처리는 SPSS 프로그램(version 21, IBM Co., USA)을 이용하였다. 모든 데이터는 평균과 표준편차로 표기하였다. 운동신경전기자극 전과 후의 하지직거상 검사 결과 차이를 비교하기 위하여 윌콕슨 부호 순위 검증(wilcoxon signed-rank test)을 실시하였다. 통계학적 유의수준 α 는 .05로 하였다.

결과

본 연구 결과 운동신경 전기자극 적용 후 능동, 수동 하지직거상검사 모두 엉덩관절 굽힘 각도가 유의하게 개선된 것을 확인할 수 있었다($p < .05$)(Table 2).

고찰

사람이 능동적으로 근육을 수축하는 것과 전기자극으로 인한 근육수축의 효과차이의 경우동시수축 패턴과 비동시수축이라는 단계적 신경근동원 패턴의 차이가 존재한다[12-14]. 전기자극, 특히 근육수축에 사용되는 1-1000Hz 대역의 저주파 전기자극은 신경단위를 순차적으로 동원하지 못하는 것으로 알려졌다[12]. 즉, 사람이 능동적으로 근육을 수축할 때에는 적은 수의 운동단위가 활성화된 다음, 점진적으로 많은 수의 운동단위들이 활성화가 되어 운동 단위 동원(motor unit recruitment)이 일어나게 되며 작은 단위에서부터 큰 단위로 활성화가 이루어 진다. 그러나 전기자극으로 근육을 수축하게 되면 사람이 능동적으로 근육을 수축하는 것과는 반대 형태로 운동 단위의 활성화가 일어나게 된다[12-14].

이러한 근육수축의 질적 차이는 본 연구의 결과에도 반영된 것으로 생각된다. 수축과 이완을 활용하는 수축-

Table 2. SLR Test results pre and post electrical stimulation

	Pre	Post	p
Active SLR	43.35±3.46	72.85±4.31	.001*
Passive SLR	68.85±2.94	77.25±3.29	.003*

*= $p < .05$, Mean±standard deviation, SLR: straight leg raising

이완 기법은 자율 억제 이론에 근거를 하여 짧게 근육을 수축하여 지속적인 이완 효과를 발생시키는 것으로 골지 힘줄기관과 억제 신경원의 자극이론에 근거하고 있다[15, 16]. 이렇게 수축-이완 기법을 적용하여 운동 치료를 진행한 연구에서 뒤넵다리근의 유연성, 관절가동범위 증가가 본 연구의 결과보다 큰 것은 인체 신경계 자극, 즉 사람이 능동적으로 수축을 하는 것이 전기자극으로 인한 근육 수축보다 효율적이라는 것을 보여주는 것이다[17]. 그러나 운동신경 전기자극도 근육을 효과적으로 수축시킬 수 있고 근육의 이완과 유연성, 관절가동범위를 증가시킬 수 있음을 본 연구 결과로 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구와 같이 전기자극을 이용한 근육자극은 통증이 심하여 대상자 스스로 근육의 수축, 이완 운동이 힘들 때 또는 질병으로 움직임이 제한된 대상자에게 활용한다면 수축-이완 기법에 도움을 줄 수 있다고 생각된다.

국내에서 전기자극치료는 대부분 경피신경전기자극만 이루어지고 있다. 통증관리를 위한 전기자극만 의료보험 수가로 인정하기 때문이다. 이에 대부분 물리치료실에서 근육신경을 자극하여 근육을 수축시키는 치료는 거의 이루어지지 않고 있다. 의료보험 수가 체계에 포함된 근육 전기자극은 기능적전기자극 뿐이고, 이 전기자극은 신경계 질환 대상자의 기능개선에 적용되고 있을 뿐이다. 그러나 물리치료실을 찾아오는 많은 환자는 근육의 과긴장으로 인한 만성근골격계 통증을 호소하고 있다는 것은 임상 경험적으로 잘 알려져 있다. 감각신경 흥분을 통한 관문조절 진통은 효과적으로 통증을 낮출 수는 있지만, 10~15분 적용으로 지속적인 진통효과를 얻기 어려운 단점이 존재하며, 근육경련 순환(muscle spasm cycle)을 해결하기엔 부족한 현실이다. 본 연구에서는 10분의 짧은 시간에 근육신경 전기자극으로 근육을 수축시킨 결과 능동 및 수동 하지직거상검사 결과가 유의하게 개선된 것을 관찰하였다. 이것은 근육의 적절한 수축, 이완으로 인한 관절가동범위 증가가 유추해 볼 수 있다. 현재 우리나라의 짧은 시간 전기자극을 적용하도록 하는 보험 수가 체계에서 근육신경 전기자극은 근긴장으로 인한 통증과 관절가동범위 감소를 호소하는 대상자에게 접근하는 새로운 방법으로 활용할 수 있을 것이다.

근육을 수축시키는 전기자극 변수는 경피신경전기자극과 차이가 있다. 감각신경은 낮은 역치에서 자극되므로 전기자극 맥동폭이 100-150us로 충분히 자극될 수 있다. 하지만 감각신경보다 역치가 높은 운동신경은 150-300us의 맥동폭을 가져야 한다[1]. 이것은 운동신경 자극엔 더 큰 전하량을 적용해야한다는 것이다. 이것은 경피신경전기자극기는 근육신경을 자극하는데 적합하지

않을 수 있을 수 있다는 오해를 받게 한다. 신경의 자극 강도는 전기자극의 시간변수 증가뿐만 아니라 진폭변수 증가로 높일 수 있다[18]. 전기자극의 총 전하량은 맥동폭과 진폭이 비례하기 때문이다. 이러한 전기자극 변수의 특성을 이용하면 진폭을 높은 경피신경전기자극기로도 충분히 근육신경을 자극할 수 있게 되는 것이다. 경피신경전기자극 치료를 하고 있으면 근육이 움직이면서 수축하는 것을 관찰할 수 있는데, 경피신경전기자극도 근육신경을 자극하여 근육을 수축시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있는 부분이다. 단지, 이론상 경피신경전기자극이 관문조절 진통에 국한되어 사용된다는 고정관념에서 적극 활용하지 못하고 있는 것이라 사료된다. 경피신경전기자극기의 맥동폭이 100-150us이므로 본 연구에서 사용한 300us와 유사한 수준으로 운동신경을 자극하려면 전기자극 진폭을 2~3배 높이면 가능하다. 이러한 점들을 고려한다면 현재 물리치료실에 널리 보급된 경피신경전기자극기로도 본 연구의 결과와 유사한 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 강축을 유발시키지 않고 연속을 반복적으로 10초간 유발시키고 5초간 휴식시키기 위해서 전기자극 주파수 변수를 1Hz로 채택하였다. 30Hz 이상의 강축을 유발하는 전기자극을 사용할 경우 신경자극에 의한 순차적 근동원 패턴을 만들 수 없다는 판단으로 가능한 생리학적 수축과 유사한 형태의 수축 유발을 고려하여 1Hz를 선정하였다. 또한 흉부 수술 후 통증을 관리하기 위하여 intercostal muscle에 1Hz 주파수의 전기자극을 2mA 강도로 8~10초씩 적용하여 반복적인 연속을 일으킨 결과 자가통증조절기(intravenous patine-controlled analgesia, IV-PCA)보다 우수한 진통관리가 이루어졌다는 연구결과를 참고하였다. 특히 이 선행연구는 흉곽수술로 짧아진 늑간근으로 호흡운동이 어려워질 수 있는 부작용을 예방할 수 있었다[19]. 이것은 1Hz 주파수를 이용한 반복적 근육신경 자극이 통증완화와 근길이 변화에 영향력이 있다는 것을 증명한 것이다. 본 연구의 하지직거상검사 각도 증가도 이와 같은 맥락의 결과로 생각되며, 물리치료의 근골격계 질환에서 활용이 가능하다는 것을 보여주는 것이다.

본 연구는 몇 가지 제한점이 있었다. 먼저 전기자극을 준 다음 직후에 하지직거상검사를 통하여 효과를 비교하였는데 전기자극의 효과가 얼마나 지속되는지에 대한 부분을 확인하지 못하였다. 또한 하지직거상 검사 이외에 다른 측정방법을 활용하지 못하였으며 대조군이 없었기 때문에 다양한 효과 검증에는 어려움이 있었다. 추후 연구에서는 이러한 부분들을 고려하여 다양한 측정방법을 활용하여 전기자극의 효과를 검증할 필요성이 있을 것이다.

이해충돌

본 연구의 저자는 연구, 저작권 및 출판과 관련하여 잠재적인 이해충돌이 없음을 선언합니다.

참고문헌

- Lee JH. Latest Electrical Therapy (Evidence-Based): DAIHAKS; 2016.
- Lee J-W, Han D-W. The Change of Pressure Pain Threshold of Myofascial Trigger Points by Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation. *J Kor Acad Clin Elec.* 2003;1:69-76.
- Tashani O, Johnson MI. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) a possible aid for pain relief in developing countries? *LJM.* 2008;4:62-5.
- Woen-Sik Chae, Han-All Lee, Jong-Geun Kim, Jae-Hu Jung. Effects of Applying EMS on Femoral Musculoskeletal System according to Different Types of Muscular Contraction. *JCD.* 2020;22:178-85.
- Youn-Hee Son, Hee-Seork Park. The effects of electrical muscle stimulation on lower body muscular function and balance ability of elderly. *KSSS.* 2016;25:1371-83.
- Eom GM. Fundamental Characteristics of Isometric Muscle Force Potentiation induced by Surface Stimulation in FES. *Journal of Biomedical Engineering Research.* 2001;22:151-64.
- Tae Dong Jeon, Han Gil Lee, Seo Yuong Hong, Dong Seok Heo, Il Ji Yoon. The Clinical Studies for Muscle Energy Techniques on Patients with Nuchal Pain Caused by Traffic Accidents *JKMR.* 2009;19:125-34.
- Sang-Hoon Lim, Jung-Min Son, Dong-Su Park, Su-Hyen Jeng, Soon-Joong Kim. A Comparative Study on the Muscle Energy Technique(MET) and Stretching Exercise Effect of Hamstring Flexibility Improvement. *JKMR.* 2009;19:201-11.
- Proske U. The Golgi tendon organ. *Trends Neurosci.* 1979;2:7-8.
- Herrington L, Bendix K, Cornwell C, Fielden N, Hankey K. What is the normal response to structural differentiation within the slump and straight leg raise tests? *Man Ther.* 2008;13:289-94.
- Ylinen JJ, Kautiainen HJ, Häkkinen AH. Comparison of active, manual, and instrumental straight leg raise in measuring hamstring extensibility. *J Strength Cond Res.* 2010;24:972-7.
- Paillard T. Combined application of neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscular contractions. *SPORTS MED.* 2008;38:161-77.
- Solomonow M. External control of the neuromuscular system. *EEE TRANS BIOMED ENG.* 1984;752-63.
- Henneman E, Somjen G, Carpenter DO. Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J Neurophysiol.* 1965;28:560-80.
- Olivo SA, Magee DJ. Electromyographic assessment of the activity of the masticatory using the agonist contract-antagonist relax technique (AC) and contract-relax technique (CR). *Manual therapy.* 2006;11:136-45.
- Sang-Su Kim, Hae-Jin Seo. The Influence of Contract-Relax Technique of PNF and Taping treatment on Pain and Range of Motion of osteoarthritis of Knee. *PNF and Movement.* 2009;7:27-35.
- Lee M-H, Park M-C, Bae S-S. Effect of contract-relax technique of proprioceptive neuromuscular facilitation on hamstring flexibility. *PNF & Mov.* 2008;6:13-20.
- Committee ETTC. *Electrotherapy: HYUNMOON Publishing; 2016.*
- Moon DH, Park J, Kang D-Y, Lee HS, Lee S. Intramuscular stimulation as a novel alternative method of pain management after thoracic surgery. *J Thorac Dis.* 2019;11:1528.