

신경근 전기자극에 의한 척수운동신경원의 흥분성 변화

이정우

(동신대학교 대학원 물리치료학과)

김태열

(동신대학교 물리치료학과)

이인학

(대전보건대학 물리치료과)

이준희

(가천길대학 물리치료과)

The Change of Spinal Motor Neuron Excitability by Neuromuscular Electrical Stimulation

Lee Jeong-Woo, P.T.

(Dept. of Physical Therapy, Graduate School, Dongshin University)

Kim Tae-Youl, P.T., Ph.D

(Dept. of Physical Therapy, Dongshin University)

Lee In-Hak, P.T. Ph.D

(Dept. of Physical Therapy, Daejeon Health Science College)

Lee Joon-Hee, P.T., M.E.

(Dept. of Physical Therapy, Gachongil College)

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the effect of neuromuscular electrical stimulation(NMES) on the alteration of spinal motor neuron excitability.

In this article, I would like to experiment on a standard capacity of clinical electrophysiology, a difference in applying methods and a clinical efficiency of NMES by nerve conduction velocity. We used normal eight subjects without neuromuscular disease and all subjects participated 3 session, which at least 1 week between session. Participants classified according to each group in Antagonist, Agonist, Antagonist-Agonist by the NMES. The test was measured continuously pre test, post-test, post 20 minute test by EMG including H reflex, F wave, motor nerve conduction velocity(MNCV). The following results were obtained;

1. H-reflex latencies and H/M intervals were significantly increased in agonist and antagonist-agonist group($p < .01$).
2. H-reflex amplitudes and H/M ratios were significantly decreased in agonist and antagonist-agonist group($p < .01$). In agonist group, H-reflex amplitudes and H/M ratios were more significantly decreased than antagonist group.
3. F-wave latencies were significantly increased in agonist and antagonist-agonist group($p < .01$). F/M interval were significantly increased in antagonist-agonist group($p < .01$). F wave conduction velocities were significantly increased in agonist and antagonist-agonist group($p < .01$) but F/M ratios were not significant.
4. MNCV were significantly decreased in agonist($p < .01$).

These results lead us to the conclusion that agonist and antagonist-agonist was significantly decreased excitability of spinal motor neuron. Conversely, Antagonist does not decreased. Therefore, a further direction of this study will be to provide more evidence that NMES have an effect on excitability of spinal motor neurons in UMN syndrome.

Key word: Neuromuscular Electrical Stimulation, H reflex, F wave, Motor neuron excitability

1. 서론

운동신경원의 흥분성(excitability) 증가는 경직(spasticity)의 원인으로 알려져 왔으며(Ashby et al., 1987), 경직성과 긴장증(spastic hypertonia)에서 발견되는 반사역치(reflex threshold)의 감소는 운동신경원의 흥분성 증가와 관련되어져 왔다(Sax & Johnson, 1980). 과도한 근 긴장은 뇌졸중, 척수손상, 외상성 뇌 손상, 다발성 경화증, 뇌성마비와 같은 환자들의 운동기능을 방해하며(Kuen-Horng et al., 2001), 근 긴장도와 신전에 대한 저항의 증가는 결국 기능적 활동을 약화시키는 원인이 된다(Carr et al., 1995).

운동신경원의 흥분성은 특정한 약물이나 물리적 자극에 의하여 변화를 가져올 수 있다고 알려져 있다. 약물로는 baclofen 등(Orsnes et al., 2000)이 있고, 물리적 자극으로는 냉 치료(Bell & Lehmann, 1987), 압박(Leone & Kakulka, 1988), 근육타진(Belanger, 1989), 마사지(Sullivan et al., 1991), 전기자극(Bajd et al., 1985; Levin & Hui-Chan, 1992), 진동(Sabine, 1999)과 신장(Avela et al., 1999) 등이 사용되고 있다. 근 경직에 대한 전기자극의 효과는 1871년 Duchenne에 의해 보고되었으나, 현대적 개념의 전기자극을 이용한 근 경직의 조절은 Levine 등(1952)에 의하여 이루어 졌다. Peter 등(2000)은

신경전도로에 대한 전기자극은 운동신경원 저장고(motoneuron pool)의 흥분성을 억제시켜 신장반사를 감소시키는 효과가 있다고 하였으나, Kukulka (1994)은 비복신경에 대한 저장도의 경피신경전기자극이 척수운동신경원 저장고를 촉진 할 수 있다고 하여 다양한 방식의 전기자극이 척수운동신경원의 흥분성 변화에 영향을 주는 것으로 보고되고 있으나, 이러한 전기자극이 척수운동신경원의 흥분성을 감소시키는 효과에 대해서는 아직도 논란이 많다. Daly 등(1996)은 연구대상자, 전기자극 매개변수와 적용부위에 따라 차이가 있는 것으로 보고하였으며, Hardy 등(2002)은 자극강도의 차이 등을 이유로 들었다.

본 연구에서는 척수운동신경원의 흥분성 변화를 근전도 장치를 이용하여 H 반사와 F파를 측정하였는데, 현재 근전도를 이용한 임상전기생리학적 평가는 신경회로망에 자극으로 유발된 반응과 반사를 연구하기 위한 가장 확실한 방법으로 사용되어 오고 있다(Timothy, 1999). H 반사에 대한 연구는 주로 임상적으로 연관성이 많은 잠복시(latency)와 진폭(amplitude) 및 H/M 비(H/M ratio) 등을 중심으로 이루어져 왔다. 특히 H 반사의 진폭은 척수신경원의 흥분성을 평가하는데 신뢰도가 매우 높은 평가항목으로 정상인이나 신경근계 환자 모두에게서 얻어낼 수 있으며, 분절과 상척수의 영향에 의존하여

변화한다(Rosenbaum & Henning, 1995). H/M 비는 두 개의 활동전위에 대한 각각의 최대진폭의 비이며 경직에 대한 진단이나 치료에 대한 효과를 평가하는 객관적 지표로 이용될 수 있다(Mattews, 1966). H 반사, F파 등의 후기반응(late response)들은 다양한 신경근계 병변의 진단에 유용하게 사용되고 있다(Jeffrey et al., 2001). 운동신경전도속도는 운동신경의 전도성을 측정하기 위한 전형적 임상전기생리학적 평가로 유발 신경활동전위는 운동신경섬유를 따라 전도되며 자극된 운동축삭의 신경근접합부를 활성화시킨다 (Robinson & Snyder-Mackler, 1995).

지금까지 대부분의 선행연구들은 경피신경전기자극을 이용하여 다양한 자극강도와 자극위치에 따른 H 반사의 변화에 대하여 보고하였다(Hardy et al., 2002; Joodaki et al., 2001). 그러나, 신경근전기자극을 이용한 선행 연구들은 대부분이 근 긴장도 변화를 주관적 척도로 평가한 임상연구로 척수운동원의 흥분성 변화에 대한 H 반사와 F파의 연구는 아직까지 매우 미진한 상태이다(Robinson et al., 1988; Schecker et al., 1999). 현재 임상에서 근 경직 억제를 위한 신경근전기자극 적용방식에는 길항근 자극(Alfieri, 1982), 주동근 자극(Bowman & Bajd, 1981), 길항근-주동근 자극(Vodovnik et al., 1984) 등이 있으나 각각의 적용방식들이 척수운동신경원의 흥분성 변화에 미치는 효과에 대한 임상

전기생리학적 비교평가가 이루어지지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 정상 성인을 대상으로 신경근전기자극의 적용방식에 따라 실험군을 길항근 자극군, 주동근 자극군, 길항근-주동근 자극군으로 나누어 척수운동신경원의 흥분성 변화를 H 반사와 F파 측정을 통하여 정량화시키고 적용방식간의 차이를 비교 평가하여 중추신경계 병변으로 인한 경직성 근 긴장을 억제시키기 위해 적용되고 있는 신경근전기자극 적용방식들의 임상적 효율성을 평가하는데 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 실험 대상 및 기기

1) 실험 대상

본 실험에 자원한 남자 대학생 중 8명을 대상으로 실시하였다. 실험에 영향을 주는 물리적, 화학적 요인은 최대한 제한시켰다. 선행 실험으로부터 영향을 받지 않도록 하기 위해서 적어도 일주일 이상의 휴지기를 가지고 신경근전기자극 적용방식에 따라 I군을 길항근 자극군, II군을 주동근 자극군, III군을 길항근-주동근 자극군으로 정하였다. 실험대상자는 실험 시작 전 30분간 침대에서 안정을 취하게 하였으며, 실험실

온도는 18~24℃를 유지하였다. 실험대상자의 평균 연령은 23.25±2.09세, 평균 신장은 174.13±4.75 cm, 평균체중은 67.25±7.48 kg 이었고 F파 전도속도 측정시에 필요한 자극부위에서 흉추 12번까지의 평균거리는 68.41±2.14 cm 였다.

2) 실험 기기

전기자극기는 단상직사각형파의 맥동전류가 발생되며, 주파수, 맥동기간, 순환주기, 경사증감시간의 변조가 가능한 신경근전기자극기(Best, Dynatens 301, Korea)를 사용하였다. H 반사를 측정하기 위해 사용된 기기는 고필터(high filter) 10 kHz, 저필터(low filter) 50 Hz, 기록 감응도(gain) 100~2,000 μ V인 근전도기(Cadwell, 6200A, USA)이며, 전극은 일회용 접착식 전극을 사용하였다.

2. 실험 방법

전기자극은 15분으로 하였으며 척수운동신경원의 흥분성에 대한 평가는 적용 전(pre-test), 적용 직후(post-immediate test), 적용 후 20분(post-20 minute test)으로 총 3회에 걸쳐 반복 측정하였다. 기록된 활동전위의 원위 잠복기는 자극 artifact로부터 음성파의 기시부까지의 전도시간을, 진폭은 음성파의 정점과 양성파의 정점사이의 전위차이를 각각 기록하였다.

1) 전기자극

전극배치는 일회용 전극을 사용하여 양극배치법(bipolar placement)으로 적용하였다. I 군은 전경골근 근복에 20 cm간격으로 배치하였으며, II 군은 하퇴삼두근 근복에 20 cm간격으로 배치하였으며, III 군은 전경골근과 하퇴삼두근 근복에 배치하였다. 전기자극은 200 μ s 맥동시간의 주파수 50 pps인 맥동전류로 경사증가시간을 2초로, 경사감소시간을 0.5초로 하여 10초의 통전시간(on-time)과 10초의 단전시간(off-time)으로 설정하였다. III 군에서는 전기자극을 휴식시간 없이 전경골근과 하퇴삼두근에 교대로 10초씩 자극하였다. 매개변수는 근경직과 과반사 감소에 효과적이었다고 보고한 선행연구(Peterson et al., 1988; Scheker et al., 1999)들을 참고하여 설정하였다.

전기자극은 우측 하지의 전경골근과 하퇴삼두근으로 한정하였으며, 자세는 바로 누운 자세에서 무릎과 발목아래에 받침대를 받혀주어서 발목의 자유로운 운동이 일어날 수 있도록 하였다. 자극강도는 대상자가 참을 수 있는 한도 내에서 가시적 근수축이 충분히 일어날 수 있는 강도로 하였으며, 평균전류 강도는 길항근 자극이 17.88±4.30 mA, 주동근 자극이 15.19±3.17 mA 였다.

2) H 반사 및 F파의 측정

H 반사는 Johnson 방법(Braddom, 1974)으로, F파는 Kimura(1989) 방법으

로 측정하였다. 소인(sweep) 속도는 1회 당 10 msec, 기록 감응도는 100~1,000 $\mu V/div$ 의 범위에서 반응의 고도에 따라 조절했다. H/M 비는 두 개의 활동전위에 대한 각각의 최대치의 비율을 측정하였다.

대상자의 자세는 H 반사와 F파 모두 복과위(prone position)로 하고 무릎을 약간 굴곡 시킨 상태에서 발목 밑에 받침대를 놓고 대상자를 완전히 이완시킨 상태에서 발목이 중립위치에 놓이도록 주의했다. F/M 비(ratio)와 F파 전도속도(F wave conduction velocity; F WCV)의 산출 공식은 다음과 같다.

$$\frac{F}{M} \text{ ratio} = \frac{(F \text{ latency} - M \text{ latency } 1\text{msec})}{(M \text{ latency} \times 2\text{msec})}$$

$$F \text{ WCV} = \frac{D \times 2\text{mm}}{(F \text{ latency} - M \text{ latency} - 1\text{msec})}$$

※ D=the distance from the stimulation site to the T12 spinous process

3) 운동신경 전도속도 측정

운동신경 전도속도(motor nerve conduction velocity, MNCV)는 후경골신경을 측정하였으며 대상자의 측정자세는 H 반사 및 F파 측정자세와 동일하였다. 운동신경전도속도의 산출공식은 다음과 같다.

$$MNCV = \frac{\text{Distance between stimulation sites(mm)}}{\text{Difference between latencies(ms)}}$$

3. 자료 분석

신경근전기자극에 의한 실험군의 H 반사와 F파의 변화에 대한 유의성을 검증하기 위하여 반복측정 분산분석(repeated measures analysis of variance)을 실시하였으며 사후검정은 Duncan test로 실시하였고, 측정시간에 따른 H 반사의 변화에 대한 유의성을 검증하기 위하여 짝비교 T검정(paired t-test)을 실시하였으며 모든 통계학적 유의수준은 $p < .05$ 수준에서 채택하였다.

III. 결과

1. H 반사의 변화

1) H 잠복시의 변화

H 잠복시의 변화를 반복측정 분산분석한 결과 실험군 간에서는 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 측정시간 간의 비교에서는 유의한 차이가 나타났다($p < .01$). 각 실험군의 측정시간 변화를 짝비교 T검정을 한 결과 I군에서는 유의한 차이가 나타나지 않았으나, II군에서 적용 전과 적용 직후($p < .01$), 적용 전과 적용 후 20분($p < .05$)에서 유

의한 차이를 나타내었다. III군에서는 적용 전과 적용 직후($p < .01$), 적용 전과 적용 후 20분($p < .05$)에서 유의한 차이를 나타내었다(Fig 1).

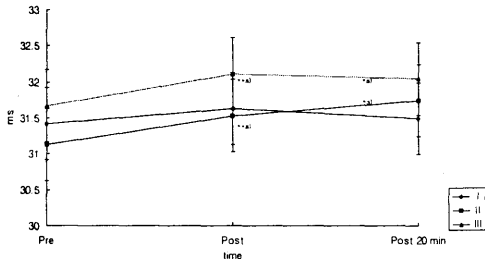


Fig 1. Change of H latencies after electrical stimulation

^{a)}Significantly different from pre * : $p < .05$
** : $p < .01$

I : antagonist group

II : agonist group

III : agonist-antagonist group

2) H 진폭의 변화

H 진폭의 변화를 반복측정 분산분석한 결과 실험군($p < .01$)과 측정시기($p < .01$)에 유의성이 나타났으며, 사후검정을 한 결과 I군과 II군에서 유의하게 차이가 있었다. 각 실험군의 측정시간 변화를 짝 비교 T검정을 한 결과 I군에서는 유의한 차이가 나타나지 않았으나, II군에서는 적용 전과 적용 직후($p < .001$), 적용 전과 적용 후 20분($p < .01$)에서 유의한 차이를 나타내었다. III군에서는 적용 전과 적용 직후($p < .01$), 적용 전과 적용 후 20분($p < .05$)에서 유의한 차이를 나타내었다(Fig 2).

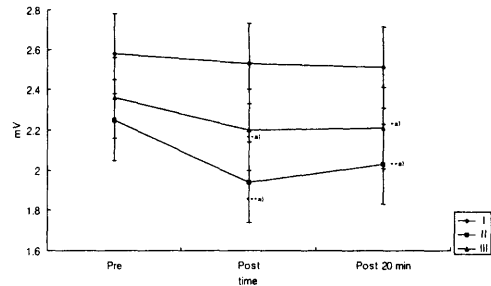


Fig 2. Change of H amplitudes after electrical stimulation

^{a)}Significantly different from pre * : $p < .05$

** : $p < .01$ *** : $p < .001$

I : antagonist group

II : agonist group

III : agonist-antagonist group

3) H/M 비의 변화

H/M 비의 변화를 반복측정 분산분석한 결과 실험군($p < .05$)과 측정시기($p < .01$)에서 유의성이 나타났으며, 사후검정을 한 결과 I군과 II군에서 유의한 차이를 나타내었다. 각 실험군의 측정시간의 변화를 짝 비교 T검정을 한 결과 I군에서는 유의한 차이가 나타나지 않았으나, II군에서는 적용 전과 적용 직후, 적용 후 20분($p < .001$)에서 각각 유의한 차이를 나타내었다. III군에서는 적용 전과 적용 직후($p < .01$), 적용 후 20분($p < .05$)에서 유의한 차이를 나타내었다(Fig 3).

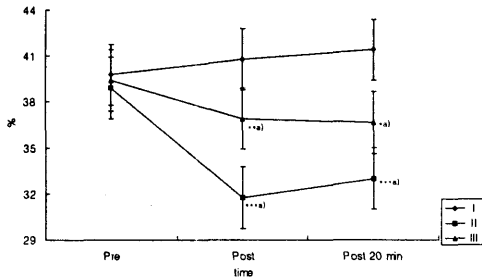


Fig 3. Change of H/M ratio after electrical stimulation

a) Significantly different from pre *: $p < .05$

** : $p < .01$ *** : $p < .001$

I : antagonist group

II : agonist group

III : agonist-antagonist group

2. F파의 변화

1) F 잠복시의 변화

F 잠복시 변화를 반복측정 분산분석을 한 결과 측정시기($p < .001$)에서만 유의하게 나타났다. 각 실험군의 측정시간의 변화를 짝 비교 T검정을 한 결과 I군에서 유의한 차이가 나타나지 않았으며, II군에서는 적용 전과 적용 직후($p < .01$), 적용 후 20분($p < .05$)에서 유의한 차이를 나타내었다. III군에서는 적용 전과 적용 직후($p < .01$), 적용 후 20분($p < .05$)에서 유의한 차이를 나타내었다(Fig 4).

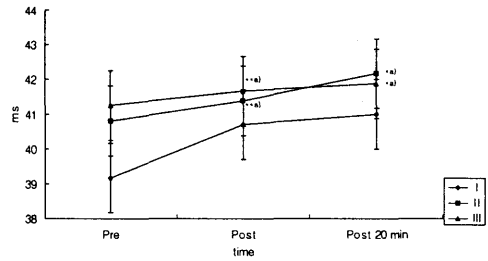


Fig 4. Change of F latencies after electrical stimulation

a) Significantly different from pre *: $p < .05$

** : $p < .01$

I : antagonist group

II : agonist group

III : agonist-antagonist group

2) F/M 비의 변화

F/M 비의 변화에 대한 반복측정 분산분석을 한 결과 실험군과 측정시기 모두에서 유의한 차이가 나타나지 않았다(Fig 5).

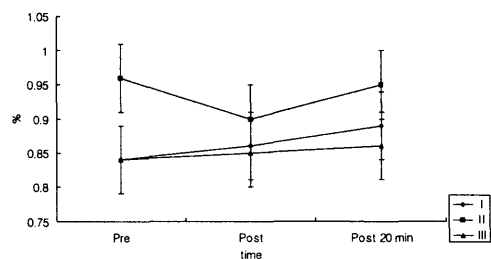


Fig 5. Change of F/M ratio after electrical stimulation

I : antagonist group

II : agonist group

III : agonist-antagonist group

3) F파 전도속도의 변화

F파 전도속도의 변화를 반복측정 분산 분석을 한 결과 측정시기($p < .01$)에서 유의한 차이가 나타났다. 각 실험군의 측정 시간의 변화를 짝 비교 T검정을 한 결과 I군에서는 적용 전, 적용 직후, 적용 후 모두에서 유의한 차이가 나타나지 않았으나, II군에서는 적용 전과 적용 후 20분($p < .05$)에서 유의한 차이를 나타내었다. III군에서는 적용 전과 적용 직후($p < .01$), 적용 전과 적용 후 20분($p < .05$)에서 유의한 차이를 나타내었다(Fig 6).

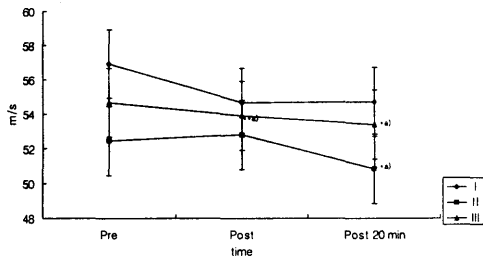


Fig 6. Change of F wave conduction velocity after electrical stimulation

a) Significantly different from pre * : $p < .05$

** : $p < .01$

I : antagonist group

II : agonist group

III : agonist-antagonist group

3. 운동신경 전도속도의 변화

운동신경 전도속도의 변화를 반복측정 분산분석 한 결과 측정시기($p < .05$)에서

유의한 차이가 나타났다. 각 실험군의 측정 시간의 변화를 짝 비교 T검정을 한 결과 I군과 III군에서는 적용 전, 적용 직후, 적용 후 모두에서 유의한 차이가 나타나지 않았으나, II군에서는 적용 전과 적용 후 20분, 적용 직후와 적용 후 20분($p < .01$)에서 각각 유의한 차이를 나타내었다(Fig 7).

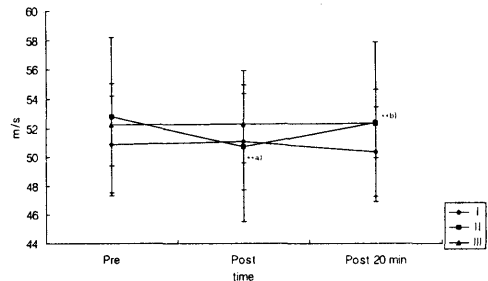


Fig 7 . Change of motor conduction velocity after electrical stimulation

a) Significantly different from pre

b) Significantly different from post ** : $p < .01$

I : antagonist group

II : agonist group

III : agonist-antagonist group

IV. 고찰

본 연구에서는 신경근전기자극이 척수운동신경원의 흥분성 변화에 미치는 효과와 적용방식에 따른 차이를 임상전

기생리학적 실험을 통하여 비교 평가하여 신경근전기자극 적용방식들의 임상적 효율성을 평가하기 위한 기초자료를 제공하고자 실시하였다.

신경근전기자극은 구심성 신경섬유인 A β , A δ 등을 선택적 전기자극(selective electrical stimulation)하는 경피신경전기자극과는 달리 원심성 신경섬유 및 근 섬유를 선택적으로 전기자극해야 하기 때문에 매개변수의 구성에 차이가 있다. 신경근전기자극은 근수축과 이완을 반복 유발시키기 위한 순환주기(duty cycle) 조절기능과 운동단위의 비동시성 탈분극을 유발시켜 수의적 수축과 유사한 부드러운 근 수축을 유발시키기 위한 경사증감시간(ramp up-down) 조절기능이 필요하며, 맥동기간도 운동신경이 흥분하기에 충분한 범위까지 조절이 가능해야 한다(Meryl, 1992). 신경근전기자극은 임상에서 주로 근력과 근지구력의 증진(Ferguson et al., 1989), 관절가동범위 증진(Munsat, 1976)과 근 경직의 완화(Scheker et al., 1999), 중추신경계환자의 기능적 근활동의 증진(Granat et al., 1992) 등에 사용되고 있다. 신경근전기자극의 매개변수 설정방법은 치료 목적이나 전극의 배치 등에 따라 매우 다양한데, 본 연구에 사용된 매개변수는 근 경직과 과반사 감소에 효과적이었다고 보고한 선행연구(Peterson & Klemar, 1988; Scheker et al., 1999)들을 참고하여 설정하였다.

H 반사의 변화에서 길항근 자극군인

I 군은 H 잠복시의 지연과 H 진폭이 감소하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으며, 주동근 자극군인 II 군과 길항근-주동근 자극군인 III 군은 H 잠복시의 지연과 H 진폭이 유의하게 감소되었으며 H/M 비는 II 군과 III 군에서 유의하게 감소되어 신경근전기자극이 적용방식에 따라 어느 정도의 차이는 있지만 척수운동신경원에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 정상인들의 비복신경에 고강도 자극을 적용한 후에 H 반사의 진폭이 잠시 감소되었다는 Delwaide 등(1981)의 보고나 Hardy 등(2002)의 정상인을 대상으로 한 실험에서 자극강도가 척수운동신경원의 흥분성에 더 많은 영향을 주는 것으로 보고 된 바와 같이 본 연구에서도 근 강축이 유발될 정도의 고강도로 자극하였기 때문에 나타난 것으로 생각된다. 또한 실험군 중 주동근 자극군인 II 군과 길항근-주동근 자극군인 III 군의 측정시간에 따른 변화가 유의하였는데, King(1996)은 뇌졸중환자를 대상으로 근 경직이 있는 수근굴근에 직접 적용한 직후 수근굴근의 근 긴장도가 유의하게 감소되었다고 하여 본 연구와 마찬가지로 주동근 자극이 임상실험에서도 효과적인 것으로 나타났다. 주동근 자극방식에 의해 근 경직이 감소되는 이유로 King(1996)은 근 피로도의 증가와 풀지건기관의 자가억제(autogenic inhibition)를 들고 있으며, 자가억제의 기전은 전기자극이나 근 장

력의 증가로 건이 신장될 때 발생하는 골지전기관의 구심성 섬유 활성화도가 비연접 억제(disynaptic inhibitory)를 이루어 발생하는 것으로 설명하였다. 그러나 Baker(1987)는 신경근전기자극에 의해 운동신경 축삭에 야기되는 역방향성 활동전위의 효과 때문에 근 경직이 감소되어진다는 가설을 주장하였는데, 그 기전은 경직이 유발된 근육의 운동신경을 따라 역방향성으로 활동전압이 투입되어 척수에 있는 억제성 개재신경원(renshaw cell)을 활성화시켜 운동신경원을 억제하는 것으로 설명하고 있다.

F파의 변화는 F 잠복시에서 II군과 III군에서 지연되었으나 F/M 비에는 변화가 없는 것으로 나타났다. F파 전도속도는 II군과 III군에서 감소되었다. Fox와 Hitchcock(1982)은 전기자극이 F파의 크기를 감소시키는 것으로 보고하였으며, 이청기와 한수정(1998)은 잠복시를 증가시키는 것으로 보고하였다. 본 실험에서도 주동근 자극군과 길항근-주동근 자극군의 F파 잠복시는 증가되고, 전도속도는 감소된 것으로 나타났다.

후경골신경의 운동신경전도속도는 II군에서 적용 직후에 감소되었다가 20분 후에 다시 회복되었는데, 이러한 결과는 II군이 후경골신경의 주행구간에 전극을 배치하기 때문에 후경골신경을 직접 자극하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 김태열 등(1994)의 연구에서도 신경간(nerve trunk)에 직접 극최대역치(brief suprathreshold)의 강도로 자극을

주었을 때 신경전도속도가 지연되는 것으로 보고하였다. 이러한 신경전도의 지연현상을 Kimura(1989)는 신경세포막의 탈분극 유지에 의해 전도가 방해를 받는 음극차단효과(cathodal block effect)와 신경세포막의 과분극 유지에 의해 전도가 방해를 받는 양극차단효과(anodal block effect)로 설명하였다. Lee 등(1950)은 주동근에 대한 신경근전기자극이 신경근 연결부에서 피로를 유발시키고 연결 후 부위에서 Ca^{++} 이온의 고갈을 초래한다고 주장하였다.

본 연구에서 나타난 결과를 통해서 신경근전기자극에 의한 H 반사와 F파의 변화는 H 반사에서 진폭과 H/M 비가 가장 크게 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 또한 이러한 실험결과로 볼 때 주동근 자극방식이 척수운동신경원의 흥분성 감소에 의해 중추신경계 병변으로 인한 근 경직을 억제하는데 가장 효과적일 것으로 생각된다. 그러나, 본 연구에서 얻어진 실험결과들은 정상인만을 대상으로 한정하였기 때문에 이 결과들을 확대 해석하여 임상에서 경직이 있는 환자에게 그대로 적용하기에는 제한점이 있다. 따라서 향후에는 경직이 있는 환자를 대상으로 한 다양한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각되며 본 연구가 중추신경계 병변으로 인한 경직성 근 긴장을 억제시키기 위해 적용되는 신경근전기자극 치료방식의 임상적 효율성을 높이는데 기초적 자료를 제공할 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구는 신경근전기자극이 척수운동신경원의 흥분성 변화에 미치는 효과와 적용방식에 따른 차이를 임상전기생리학적 실험을 통하여 비교 평가하고자 실시하였다. 대상자는 신경근계질환이 없는 정상성인 남자를 대상으로 하였으며, 척수운동신경원의 흥분성을 나타내는 H 반사의 흥분성변화를 신경근전기 자극 적용 전, 적용 직후, 적용 후 20분에 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. H 반사의 잠복시 비교에서 II군과 III군이 각각 유의한 차이를 나타내었다($p<.01$).
2. H 진폭 및 H/M 비의 측정시기간 비교에서 II군과 III군이 각각 유의한 차이를 나타내었으며($p<.01$), 실험군간 비교에서 I군과 II군 사이가 유의한 차이를 나타내었다.
3. F파의 측정시기간 비교에서 F 잠복시는 II군과 III군($p<.01$)이 각각 유의한 차이를 나타내었으며, F파 전도속도는 II군과 III군에서 유의한 차이를 나타내었다($p<.01$).
4. 운동신경전도속도의 측정시기간 비교에서 II군이 유의한 차이를 나타내었다($p<.01$).

참고문헌

- 김태열, 황대연, 허춘복 : Brief, Intense TENS 자극이 신경전도, 통증역치의 변화에 미치는 효과. 대한물리치료학회지. 6(1);171-183, 1994.
- 이청기, 한수정 : 전기자극에 대한 신경생리학적 반응 : 척수주변 말초신경자극. 대한재활의학회지. 22(2);399-407, 1998.
- Alfieri V : Electrical treatment of spasticity-reflex tonic activity in hemiplegic patients and selected specific electrostimulation. Scand J Rehab Med. 14;177-182, 1982.
- Ashby P, Mailis A, Hunter J : The evaluation of "Spasticity". Can J Neurol Sci, 14: 497-500, 1987.
- Avela J, Kyroainen H, Komi PV et al. : Reduced reflex sensitivity persists several days after long-lasting stretch-shortening cycle exercise. J Appl Phys. 86;1292-1300, 1999.
- Bajd T, Gregoric M, Volovnik L, Benko H : Electrical stimulation in treating spasticity resulting from spinal cord injury. Arch Phys Med Rehabil. 66;515-517, 1985.
- Baker LL : Clinical uses of neuromuscular electrical stimulation. In: Nelson RM, Currier DP, eds. Clinical electrotherapy. Norwalk, CT:

- Appleton and Lange. 1987.
- Belanger AY : Manual muscle tapping decreases soleus H reflex amplitude in control subjects. *Physilther Can.* 41;192-196, 1989.
- Bell KR, Lehmann JE : Effect of cooling on H and T reflexes in normal subjects. *Arch Phys Med Rehabil.* 68;490-493, 1987.
- Bowman BR, Bajd T : Influence of electrical stimulation on skeletal muscle spasticity. In: *Proceedings of the International Symposium on External Control of Human Extremities*, Belgrade, Yugoslav Committee for Electronics and Automation. 561-576, 1981.
- Braddom RL, Johnson EW : Standardization of H reflex and diagnostic use in S1 radiculopathy. *Arch Phys Med Rehabil.* 55;161-166, 1974.
- Carr JH, Shepherd RB, Ada L : Spasticity; research findings and implications for intervention. *Physiotherapy.* 81;421-429, 1995.
- Daly JJ, Marsolais EB, Mendell LM et al. : Therapeutic neural effects of electrical stimulation. *IEEE Trans Rehabil Eng.* 4;218-230, 1996.
- Delwaide PJ, Crenna P, Fleron MH : Cutaneous nerve stimulation and motoneuron excitability, I : soleus and tibialis anterior excitability after ipsilateral and contralateral sural nerve stimulation. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 44;699-707, 1981.
- Ferguson JP, Blackley MW, Knight RD et al. : Effects of varying electrode site placement on the Torque output of an electrically stimulated involuntary quadriceps femoris muscle contraction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 11;24-29, 1989.
- Fox JE, Hitchcock ER : Changes in F wave size during dentatotomy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 45;1165-1167, 1982.
- Granat M, Keating JF, Smith ACB et al. : The use of functional electrical stimulation to assist gait in patients with incomplete spinal cord injury. *Disability and Rehabil.* 14;93-97, 1992.
- Hardy SG, Spalding B, Hao Liu et al. : The effect of transcutaneous electrical stimulation on spinal motor neuron excitability in people without known neuromuscular diseases: The roles of stimulus intensity and location. *Phy Ther.* 82;354-363, 2002.
- Jeffrey A, Strakowski, Deidre D et al. :

- H reflex and F wave latencies to soleus normal values and side to side differences, *Am J Phys Med Rehabil.* 80(7);491-493, 2001.
- Joodaki MR, Olyaei GR, Bagheri H : The effects of electrical nerve stimulation of the lower extremity on H-reflex and F-wave parameters. *Electromyogr Clin Neurophysiol.* 41(1);23-28, 2001.
- Kimura J : *Electrodiagnosis in diseases of nerve and muscle: principles and practice*, ed 2. F.A. Davis, Philadelphia, 157:519, 1989.
- King TI 2nd. : The effect of neuromuscular electrical stimulation in reducing tone. *Am J Occup Ther.* 50;62-64, 1996.
- Kuen Horng TSAI, Chun Yu Yeh, Hui Yi Chang et al. : Effects of a single session of prolonged muscle stretch on spastic muscle of stroke patients. *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(B).* 25(2);76-81, 2001.
- Kukulka CG : The reflex effects of nonnoxious sural nerve stimulation on human triceps surae motor neurons. *J Neurophysiol.* 71;1897-1906, 1994.
- Lee WJ, McGovern JP, Duvall EN : Continuous tetanizing (low voltage) currents for relief of spasm. *Arch Phys Med.* 31;766, 1950.
- Leone JA, Kakulka CG : Effects of tendon pressure on alpha motoneuron excitability in patients with stroke. *Phy Ther.* 68;475-480, 1988.
- Levin MF, Hui-Chan CWY : Relief of hemiparetic spasticity by TENS is associated with improvement in reflex and voluntary motor functions. *Electro Clinic Neurophy.* 85;131-142, 1992.
- Levin MG, Knott M, Kabot H : Relaxation of spasticity by electrical stimulation of antagonist muscles. *Arch Phys Med.* 33;668-673, 1952.
- Mattews WB : Ratio of maximum H reflex to maximum M response as a measure of spasticity. *J Neurol Neurosurg Psychiat.* 29;201, 1966.
- Meryl RG : *Electrotherapy in rehabilitation.* F.A. Davis Co. 218-244, 1992.
- Munsat TL, McNeal DR, Waters RL : Preliminary observations on prolonged stimulation of peripheral nerve in man. *Arch Neurol.* 33;608-617, 1976.
- Orsnes G, Crone C, Kaup C et al : The effect of baclofen on the transmission in spinal pathways in synaptic multiple sclerosis patients. *Clin Neurophysiol.* 111;1372-1379, 2000.

- Peter H Veltink, Mechel Ladouceur, Thomas Sinkjaer : Inhibition of the triceps surae stretch reflex by stimulation of the deep peroneal Nerve in persons with spastic stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 81;1016-1024, 2000.
- Peterson T and Klemar KB : Electrical stimulation as a treatment of lower limb spasticity. *J Neuro Rehab.* 2;103-108, 1988.
- Robinson CJ, Kett NA, Bolam JM : Spasticity in spinal and injured patient: short term effects of surface electrical stimulation. *Arch Phy Med Rehabil.* 69;598-604, 1988.
- Robinson AJ and Snyder-Mackler L : Clinical electrophysiology. Lippincott Williams and Wilkins. 1995.
- Rosenbaum D and Henning EM : The influence of stretching and warm-up exercise on achilles tendon reflex activity. *J Sports Sci.* 13;481-490, 1995.
- Sabine Meunier : Modulation by corticospinal volleys of presynaptic inhibition to Ia afferents in man. *J Physiol(Paris).* 93;387-394, 1999.
- Sax DS, Johnson TL : Spinal reflex activity in man. Measurement in relation to spasticity. In: Feldman RG, Young RR, Loella WP, editors. *Spasticity : Disordered Motor Controll.* Chicagok Year Book. 301-313, 1980.
- Scheker LR, Chesher SP, Ramirez S : Neuromuscular electrical stimulation and dynamic bracing as a treatment for upper-extremity spasticity in children with cerebral palsy. *J. Hand Surgery(British and Europeon Volume).* 24B;2;226-232, 1999.
- Sullivan ST, Williams LRT, Seaborne DE et al. : Effects of massage on alfa motoneuron excitability. *Phy Ther.* 71;555-560, 1991.
- Timothy S Miles : Studies of stimulus-evoked responses in single motoneurons in humans. *J Physiol(Paris).* 93;61-69, 1999.
- Vodovnik L, Bowman BR, Hufford P : Effects of electrical stimulation on spinal spasticity, *Scand J Rehab Med.* 16;29-34, 1984.