

편마비 환자의 보행훈련 시 기능적 전기자극 병용이 척수신경원의 흥분성 변화에 미치는 효과

강양훈, 윤세원¹, 서삼기², 박경순³, 김용억, 김태열⁴

동신대학교 목포한방병원, ¹진주국제대학교 보건·자연과학부 물리치료학과, ²효인요양병원 물리치료실, ³충남대학병원 재활의학과, ⁴동신대학교 보건복지학부 물리치료학과

The Effect on Change of Spinal Neuron Excitability during Gait Training of Hemiplegia Patients by the Functional Electrical Stimulation

Yang-Hoon Kang, PT, MPT; Se-Won Yoon, PT, PhD¹; Sam-Ki Seo, PT, MPT²; Keyong-Soon Park, PT, MPT³; Yong-Eok Kim, MD; Tae-Youl Kim, PT, PhD⁴

Department of Physical Therapy, Dongshin University Mokpo Oriental Hospital; ¹Department of physical Therapy, College of Health and Natural Science, Jinju International University; ²Department of Physical Therapy, Hyoin Sanatorium Hospital; ³Department of Rehabilitation, Chungnam National University Hospital; ⁴Department of Physical Therapy, College of Health and Welfare, Dongshin University

Purpose: The purpose of this study were to analysis the effect on change of spinal neuron excitability during gait training of hemiplegia patients by the functional electrical stimulation. **Methods:** Thirty six hemiplegia patients participated in this study. Stimulation conditions of FES were pulse rate 35pps, pulse width 250 μ s, and on-time 0.3 second, treatment hour was 30 min. and treatment period was once a day for five days a week through six weeks. For functional evaluations before and after treatment, Modified Ashworth Scale (MAS), active range of motion (AROM), Hmax threshold, H/Mmax ratio were measured and the following conclusions were obtained. **Results:** Functional evaluation showed significant changes in experimental group as MAS(p<0.01), AROM(p<0.001), compared to control group. In spinal neuron excitability evaluation, change of Hmax threshold was significantly reduced in both non weight bearing (p<0.001) and bearing condition (p<0.05), H/Mmax ratio was significantly reduced in non weight bearing (p<0.05) and bearing condition (p<0.05). **Conclusion:** In conclusion, application of FES to hemiplegia patients in recovery stage during gait training improved mitigation of muscular spasticity, balance adjustment and moving ability and it was interpreted that it was caused by mitigation of muscular spasticity by the spinal neuron excitability. (*J Kor Soc Phys Ther 2007;19(1):11-22*)

Key Words: Spinal neuron excitability, FES, H-reflex

1. 서론

뇌졸중(stroke)은 우리나라 성인의 사망 원인

논문접수일: 2006년 8월 30일
수정접수일: 2006년 12월 9일
게재승인일: 2007년 1월 15일
교신저자 : 김태열, ptcep@hanmail.net

중 암 다음으로 가장 높은 빈도를 차지하는데(통계청, 2004), 고령화의 가속화로 뇌졸중 환자의 발생은 증가되고 의학의 발달에 따른 생존 가능성이 높아지면서 뇌졸중 환자의 기능장애 회복이 의학적으로 해결해야 할 중요한 과제가 되었다.

따라서 뇌졸중으로 인한 기능장애를 최소화 시

키고 일상생활의 독립적 능력을 향상시키기 위해 적용되는 물리치료는 환자의 재활에 있어 매우 중요한 위치를 차지하며, 뇌졸중으로 인해 상·하지 운동조절의 어려움을 나타내는데 근력 약화와 경직(spasticity)이나 과긴장(hypertonicity)이 관절의 움직임을 감소하게 하고 움직임을 제한하게 되어 (Sullivan & Hedman, 2004; Kluding과 Billinger, 2005) 편마비(Patten 등, 2004), 환자의 자세 및 균형조절 장애(Vearrier 등, 2005), 보행 장애(Teasell 등, 2003) 등이 나타난다.

뇌졸중으로 인한 보행 능력의 저하는 독립적 일상 활동을 저해하는 주요 원인 중에 하나로 대다수의 환자는 재활과정을 통해 보행이 가능할 정도로 회복은 되지만 뇌손상 이전의 상태로 돌아가는 경우는 드물다. 그러므로 물리치료 중재 과정에서 보행훈련은 기능회복과 관련된 예후에 지대한 영향을 미치게 된다(Lennon, 2001). 보행 능력을 향상시키기 위해 적용되는 물리치료로는 하지근력의 강화(Weiss 등, 2000)와 보행훈련(Liston 등, 2000; Pohl 등, 2002) 등과 같은 운동치료와 전기자극(Cozean 등, 1988; Bogataj 등, 1995), 근전도 생체피드백(EMG biofeedback)(Nilsson 등, 2001; Werner 등, 2002), 하지 고정법(Burnside 등, 1982; Morris 등, 1992) 등을 다른 치료와 병용하는 방법 등이 있다.

기능적 전기자극(functional electrical stimulation)은 주로 뇌졸중 등의 상위운동신경원의 손상 후 마비부위의 정상 움직임을 조절하고 기능적 동작을 회복시키는데 사용한다(Rushton, 2003). 기능적 전기자극을 이용한 편마비 환자의 보행훈련에 대한 연구로 Stanic 등(1978)은 다-채널 기능적 전기자극기(multi-channel functional electrical stimulator)를 이용하여 4주 간 적용하여 보행능력을 향상시켰으며, Bogataj 등(1989)은 다-채널 기능적 전기자극기를 이용하여 보행을 할 수 없었던 환자를 대상으로 3주 간 적용한 결과 보행능력이 개선되고 하지근육이 활성화 된 것으로 보고하였다.

또한 보행조절을 위해 Andrew 등(1988)은 장하지 보조기와 기능적 전기자극기를 조합시킨 하이브리드 기능적 전기자극기(hybrid functional electrical stimulation)를 적용하였다.

1990년대에 들어서면서 편마비 환자를 대상으로 하지기능의 회복 및 보행능력 향상을 목적으로 하는 기능적 전기자극 치료의 적용빈도가 증가하였는데, 편마비 환자를 대상으로 3주 간 기본적인 물리치료만 적용한 군과 기능적 전기자극을 적용한 군을 비교한 결과 기능적 전기자극군의 보행기능과 독립적 활동 능력이 더 향상된 것으로 나타났다(Bogataj 등, 1995). Fink 등(2004)은 만성 경직형 편마비 환자에게 침 전극을 이용하여 신경근전기자극을 적용한 결과 하지의 경직 완화와 기능개선이 위약자극군에 비하여 유의하게 변화된 것으로 보고하였다.

기능적 전기자극의 작용기전은 말초기전(peripheral mechanism)과 중추기전(central mechanism)으로 나누어지는데, 말초기전은 근력 및 지구력의 향상, 근 길이 및 결합조직의 신장, 근 경직의 감소 등이고(Glanz 등, 1996), 중추기전은 대뇌피질을 포함한 상척수에서의 피질 및 분절 재구성(cortical and segmental reorganization)이다(Rushton, 2003).

신경근에 대한 기능적 전기자극은 대뇌피질 접속성(cortical connectivity)을 변하게 하며, H-reflex와 cutaneomuscular reflex pattern에 변화를 가져오는 것으로 보고하고 있다(Ridding 등, 2000).

과거에는 편마비 환자들에게 기능적 전기자극의 적용은 보행 시 보조기의 기능을 대신 할 수 있으며 족부의 내반을 개선시키는데 효과적이라는 '신경의족(neural prosthesis)' 개념으로 사용되어 왔으나(Waters 등, 1985; Cozean 등, 1988), 근래에는 편마비 환자에게 기능적 과제 수행과 함께 기능적 전기자극의 적용이 '피질 가소성(cortical plasticity)'에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다(Liepert 등, 2000).

Sullivan과 Hedman(2004)은 기능적인 과제수행

과 동시에 신경근전기자극을 통한 근-재교육이 수동·능동 관절가동범위의 증진과 분리된 움직임의 향상을 시킨다고 보고하였다. 임상에서 기능적 전기자극은 뇌졸중, 척수손상(spinal cord injury) 등 중추신경계 병변을 가진 환자의 운동조절 능력 향상을 목적으로 한 적용이 증가하고 있는데 (Rushton, 2003), Yan 등(2005)은 급성기 편마비 환자 45명을 대상으로 한 임상실험에서 기본 물리치료군이나 위약 기능적 전기자극군에 비하여 기능적 전기자극군에서 근 경직의 억제, 주동근의 활성화, 기능적 이동성의 평가인 timed up and go (TUG) test에서 유의하게 향상된 것으로 보고하였다.

편마비 환자의 이학적 평가도구로 관절을 수동적으로 움직였을 때 측정자가 느끼는 저항의 정도를 주관적으로 측정하는 modified Ashworth scale(Bohannon과 Smith, 1987; Sloan 등, 1992), 기능적 운동성과 이동능력을 평가하는 TUG test (Podsiadlo 등, 1991), 보행수행능력의 척도인 10M walking test(Dean 등, 2001) 등이 사용되고 있다. 편마비 환자의 기능평가를 정량적으로 분석하기 위해 전기생리학적 측정 방법을 많이 사용하는데 H-reflex는 Ia 구심성 신경을 자극하여 척수에서 단 연결을 통해 운동신경원으로 전달되어 기록되는 활동전위로 중추신경계 병변으로 인한 근 긴장의 변화를 정량적으로 측정하는 방법으로 사용되며(Morita 등, 2001), 척수신경원의 흥분성 변화에 따른 근 긴장 정도를 알 수 있다(Pisano 등, 2000). H-reflex 진폭의 증가는 운동 신경원 저장소(motor neuron pool)의 흥분을 의미하고 진폭의 감소는 억제를 의미한다(Leonard, 1998). 기능평가와 관련하여 H-reflex의 흥분성 감소는 균형조절 능력의 향상과 관계가 있는 것으로 보고되고 있다(Trimble과 Koceja, 2001).

본 연구는 보행훈련이 가능한 회복기 편마비 환자를 대상으로 보행훈련 중 족관절의 배측굴곡근에 기능적 전기자극을 적용하고, 족관절 저축굴곡근의 근 긴장, 균형 및 보행능력 등의 기능평가와 중추신

경원의 흥분성에 대한 임상전기생리학적 평가를 통하여 보행 중 기능적 전기자극의 적용이 근 경직의 완화와 균형 및 보행기능 회복에 미치는 효과를 알아보고자 실시하였다.

II. 연구 방법

1. 연구대상

본 연구는 편마비 환자에게 보행훈련 중 족관절의 배측굴곡근을 자극하는 길항근 적용법을 이용한 기능적 전기자극 적용이 근 경직의 완화와 균형 및 보행기능 회복에 미치는 효과를 알아보고자 2006년 7월 1일부터 10월 31일까지 3개월 동안 목포에 소재한 한방병원에서 입원 치료중인 편마비 환자 36명을 대상으로 각각 18명씩 기능적 전기자극군과 대조군으로 나누어 실험설계에 의해 실시하였다(Table 1).

대상자는 적절한 의사소통과 이해가 가능한 환자로 뇌졸중 발병 후, 3개월에서 18개월 사이의 보행이 가능한 환자로 선정하였으며, 모든 대상자는 하지 보장구(PLS, AFO 등)를 착용하지 않고 보행이 가능하고 실험에 영향을 미칠 약물 등을 투여하지 않는 환자로 하였다. 실험 전 대상자들에게 연구의 취지 및 목적에 대해 설명한 후 동의를 얻어 실시하였다.

강양훈 외 5인 : 편마비 환자의 보행훈련 시 기능적 전기자극 병용이 척수신경원의 흥분성 변화에 미치는 효과

Table 1. General characteristic of subjects

Characteristic		Control(n=18)	FES(n=18)
Age ⁺		60.11±10.53	57.11±7.32
Since for month ⁺		9.39±6.00	11.72±5.73
Gender ⁺⁺	Male(%)	13(72.2)	14(77.8)
	Female(%)	5(27.8)	4(22.2)
Type of stroke ⁺⁺	Ischemia(%)	13(72.2)	11(61.1)
	Hemorrhage(%)	5(27.8)	7(38.9)
Paretic side ⁺⁺	LT(%)	11(61.1)	4(22.2)
	RT(%)	7(38.9)	14(77.8)

⁺ mean ± S.D., ⁺⁺ number (%)

2. 연구방법

1) 실험절차

본 연구는 다음과 같은 절차로 시행하였으며 처음 측정 후, 6주 동안의 치료 후 다시 동일한

방법으로 재 측정하였다. 대조군은 신경발달치료, 에르고메터, 매트운동 등이 포함된 물리치료와 보행훈련을 실시하였으며, 기능적 전기자극군은 대조군과 동일한 물리치료와 함께 보행훈련 시 기능적 전기자극을 병용하였다.

Table 2. Study design

	Control group	FES group
PT		Mat exercise (30min/day)
		Ergometer (30min/day)
		NDT (30min/day)
Gait training	Non-FES	FES(30min/day)

PT : Physical therapy, NDT : neurodevelopment treatment, FES : functional electrical stimulation

2) 기능적 전기자극(FES)의 적용

보행훈련 중 사용한 기능적 전기자극기는 주파수, 수축시간, 이완시간, 통전시간(on-time) 조절이 가능한 Microstim (Medel GmbH, inc., German), 족부스위치(foot switch), 일회용 표면전극(0.5×0.5 cm)으로 구성되어 있다. 전극배치는 보행 주기 중 유각기의 배측굴곡을 증가시킬 목적으로 길항근 촉진 배치법을 사용하였으며, 김봉욱 등(1996)의

연구를 참조하여 활동전극은 비골두 하방 1 cm에서 심비골신경(deep peroneal nerve)을 선택적으로 자극할 수 있도록 부착하였고, 기준전극은 비골두 전하방 약 10 cm 되는 장비골근과 전경골근 사이에 배치시켜 심비골신경의 신경 지배를 받는 족관절 및 족지의 근육들이 선택적으로 자극되도록 하였다.

자극조건으로 파형은 직사각형 이상파(biphasic

rectangular wave)를 사용하였으며, 맥동빈도(pulse rate)는 35 pps, 진폭(pulse width)은 250 μ V, 통전 시간(on-time)은 0.3 sec로 짧게 하여 발뒤꿈치가 땅에서 떨어질 때 바로 전기자극이 이루어 질 수 있도록 하였다.

3) 기능평가

기능평가의 획일성을 기하기 위해 실험에 앞서 연구의 내용을 알지 못하는 전공 학생으로 이루어진 연구 보조원 3명에게 평가방법에 대해서만 이론과 실습에 대한 교육을 시행하여 숙지시킨 후 실시하였다.

(1) Modified Ashworth scale (MAS)의 측정

하지 근 경직의 평가를 위해 MAS(Bohannon & Smith, 1987)를 사용하였다. 관절을 수동적으로 움직였을 때 측정자가 느끼는 저항의 정도를 평가하는 주관적인 측정방법으로(Sloan 등, 1992), 0점에서 5점까지 6점 척도로 기록하였으며 3회 반복 측정하여 평균치를 사용하였다.

(2) 족관절 관절가동범위 (AROM)의 측정

족관절의 관절가동범위를 측정하기 위해 MP100 system(BIOPAC Systems, Inc., USA)의 역동적 전기각도계(electrogoniometer)를 사용하였다. 부착 부위는 전기각도계의 중심부가 족관절의 내측과 중앙에 위치하도록 한 다음 양 끝의 센서를 양면테이프를 이용하여 피부에 밀착시키고 그 위를 종이테이프로 고정하여 측정 시 센서의 움직임을 방지 하였다. Cut off frequency는 3 Hz, sample rate는 400 Hz로 설정하여 측정하였다. 환자가 능동적으로 족관절을 굴곡하도록 하여 측정하였고, 각도의 변화는 Acqknowledge 3.72 소프트웨어에서 수집하였다.

(3) 척수신경원 활동전위의 측정

척수신경원 활동전위 측정은 척수 신경원의 흥분성을 나타내는 H-wave의 최대 진폭 유발 시의 자극강도인 Hmax threshold와 H-wave 및 M-wave의 최대 진폭비인 H/Mmax ratio를 진단용 근전도

기(Sierra, Cadwell, USA)를 이용하여 체중부하와 비 체중부하 상태에서 측정하였다.

측정을 위해 먼저 70% 알코올로 피부를 깨끗이 닦고 습기가 없도록 건조한 후 전극을 부착하였다. 기록전극으로 활동전극은 슬와부 주름 중앙과 족관절 내과의 가장 근위부를 연결하는 선상을 양분하는 중심점, 기준전극은 아킬레스건, 접지전극은 활동전극에서 3 cm 위의 외측 비복근 위에 일회용 전극(Medicotest A/S, Neuro line Disposable neurology electrodes 700 10-K, Denmark)을 이용하여 부착하였다. 기록조건으로 filter setting은 10 Hz~10,000 Hz, sweep speed는 15 msec/division, gain은 10 mV/division로 하였다. 전기자극은 후경골신경의 정중 슬와근 주름에서 이극전극을 사용하여 강도를 최대 하 자극(submaximal stimulation) 수준으로 하여 2초 간격으로 자극하였다. 비 체중부하 상태에서의 측정은 엎드려 누운 자세에서 무릎을 약간 굴곡 시킨 후 발목 밑에 받침대를 놓아 하퇴근이 완전히 이완되도록 하였으며 족관절 각도는 중립에 위치하게 하였다.

활동전위 수집은 먼저 H-reflex의 출현을 확인하고 나서 강도를 서서히 조절하면서 Hmax와 Mmax를 구하고 두 개의 활동전위에 대한 최대 진폭비율로 H/Mmax비를 산출하였다. Hmax 출현 시의 자극강도를 Hmax threshold로 기록하였다. 체중부하 상태에서의 측정은 마비측 하지로 체중을 지지하여 선 상태에서 비 체중부하와 동일한 방법으로 Hmax threshold와 H/Mmax ratio를 측정하였다.

3. 자료분석

기능적 전기자극이 근 경직의 완화와 균형 및 보행기능 회복에 미치는 효과에 대해 알아보하고자 측정항목의 실험 전·후 변화에 대한 군 간 비교는 공변량을 실험 전값으로 하여, 공분산분석(ANCOVA)을 실시하였다. 모든 통계학적 유의성을 검증하기 위해 유의수준 α 는 0.05로 하였다. 모든 통계는 윈도우즈용 SPSS 11.5 프로그램을 이용하여 분석하였다.

III. 결 과

1. 기능평가의 변화

1) MAS의 변화

하지 근 경직의 정도를 나타내는 MAS의 변화는 대조군의 실험 전 2.17 ± 0.38 과 실험 후 1.94 ± 0.54

실험 전에 비해 감소함을 보였으며, 실험 전 기능적 전기자극군 2.50 ± 0.51 과 실험 후 1.50 ± 0.51 로 실험 전에 비해 감소하였다. 또한 기능적 전기자극군에서 더 큰 감소가 있었다.

실험군 간의 차이를 알아보기 위하여 공분산분석을 한 결과 군 간에 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.01$)(Figure 1).

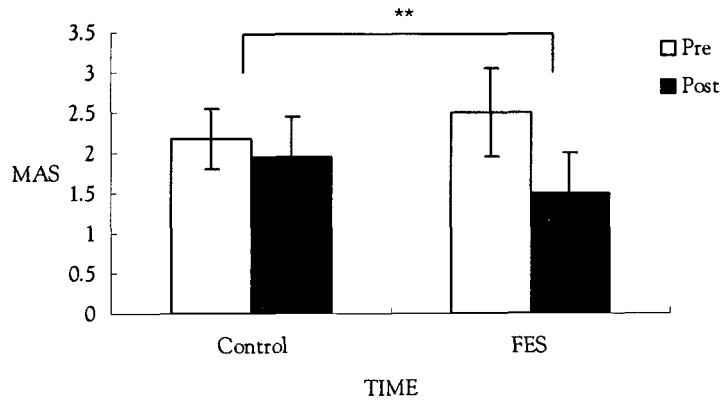


Figure 1. Comparison of MAS before and after experiment ($p < 0.01$).

2) AROM의 변화

족관절의 관절가동범위를 측정 한 AROM의 변화는 대조군의 실험 전 13.39 ± 2.66 과 실험 후 15.03 ± 2.92 로 실험 전에 비해 증가 하였으며, 실험 전 기능적 전기자극군 13.22 ± 3.24 과 실험 후

15.68 ± 4.03 로 실험 전에 비해 증가하였다. 또한 기능적 전기자극군에서 더 큰 증가가 있었다.

실험군 간의 차이를 알아보기 위하여 공분산분석을 한 결과 군 간에 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.001$)(Figure 2).

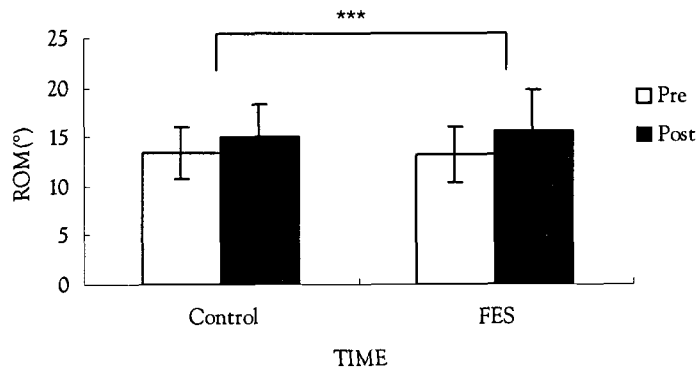


Figure 2. Comparison of AROM before and after experiment ($p < 0.001$).

2. 척수신경원 활동전위의 변화

1) 비 체중부하 시 Hmax threshold의 변화

척수신경원의 흥분성을 나타내는 Hmax시의 자극역치를 비 체중부하 시 측정된 결과 대조군의 실험 전·후에서 변화를 보이지 않았으며, 기능

적 전기자극군이 실험 전 23.50±9.75에 비해 실험 후 25.89±9.17로 증가하였다.

실험군 간의 차이를 알아보기 위하여 공분산분석을 한 결과 군 간에 유의한 차이를 보였다 (p<0.01)(Figure 3).

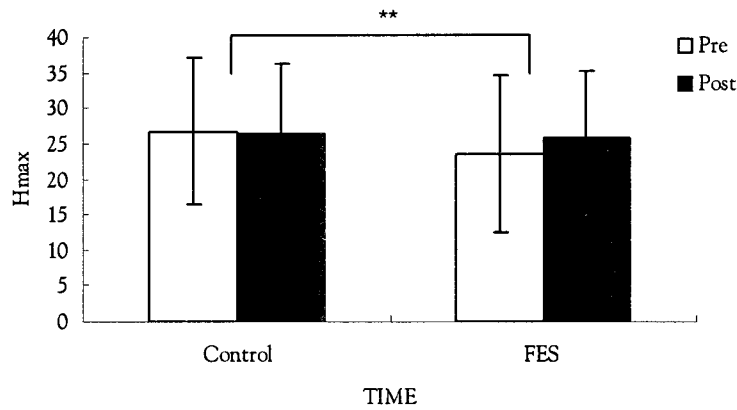


Figure 3. Comparison of Hmax threshold during non-weight bearing before and after experiment (p<0.01).

2) 체중부하 시 Hmax threshold의 변화

척수신경원의 흥분성을 나타내는 Hmax시의 자극역치를 체중부하 시 측정된 결과 대조군의 실험 전 25.69±8.80과 실험 후 24.61±9.40로 유의한 변화를 보이지 않았으며, 기능적 전기자극군의

실험 전 23.17±4.90과 실험 후 25.44±4.71로 기능적 전기자극군이 실험 전에 비해 증가하였다.

실험군 간의 차이를 알아보기 위하여 공분산분석을 한 결과 군 간에 유의한 차이를 보였다 (p<0.05)(Figure 4).

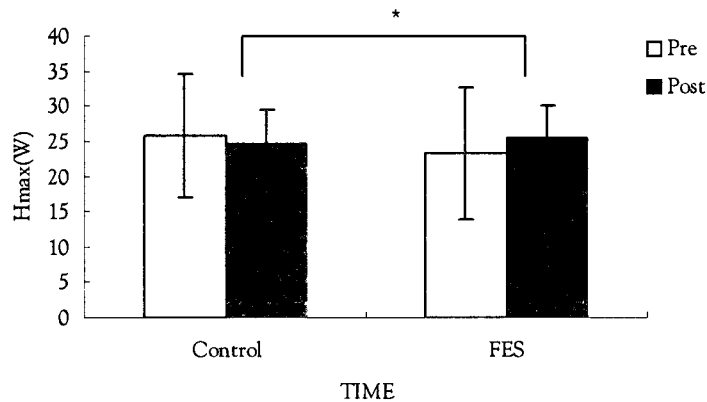


Figure 4. Comparison of Hmax threshold during weight bearing before and after experiment (p<0.05).

강양훈 외 5인 : 편마비 환자의 보행훈련 시 기능적 전기자극 병용이 척수신경원의 흥분성 변화에 미치는 효과

3) 비 체중부하 시 H/Mmax ratio의 변화

척수신경원 활동전위의 진폭으로 척수신경원의 흥분성을 나타내는 H/Mmax비를 비 체중부하 시 측정된 결과 대조군의 실험 전 0.32 ± 0.15 과 실험 후 0.31 ± 0.15 로 유의한 변화를 보이지 않았으며, 기능적 전기자극군의 실험 전 0.37 ± 0.19 과 실험

후 0.30 ± 0.15 로 기능적 전기자극군이 실험 전에 비해 큰 감소가 있었다.

실험군 간의 차이를 알아보기 위하여 공분산분석을 한 결과 군 간에 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$) (Figure 5).

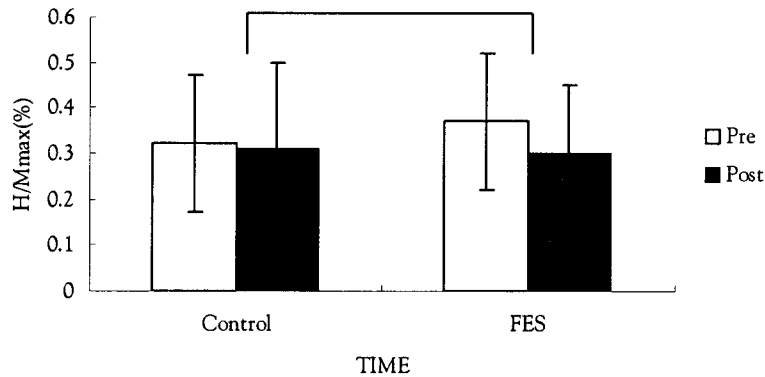


Figure 5. Comparison of H/Mmax ratio during non-weight bearing before and after experiment ($p < 0.05$).

4) 체중부하 시 H/Mmax ratio의 변화

척수신경원 활동전위의 진폭으로 척수신경원의 흥분성을 나타내는 H/Mmax비를 체중부하 시 측정된 결과 대조군의 실험 전 0.35 ± 0.27 과 실험 후 0.33 ± 0.21 로 작은 변화를 보였으며, 기능적 전기자극군의 실험 전 0.37 ± 0.19 과 실험 후 $0.30 \pm$

0.14 로 기능적 전기자극군에서 더 큰 감소가 있었다.

실험군 간의 차이를 알아보기 위하여 공분산분석을 한 결과 군 간에 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$) (Figure 6).

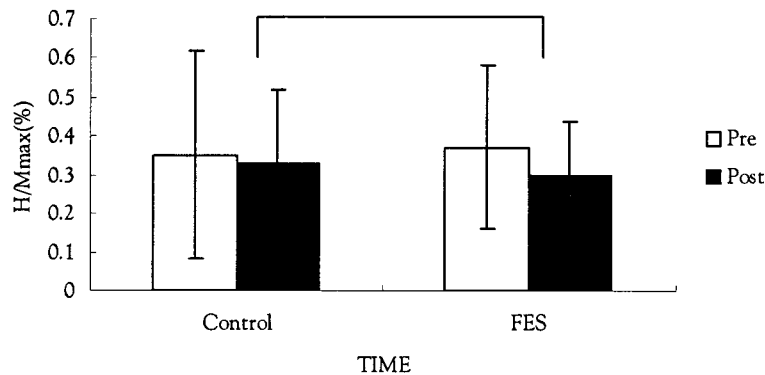


Figure 6. Comparison of H/Mmax ratio during weight bearing before and after experiment ($p < 0.05$).

IV. 고 찰

편마비 환자의 기능회복은 발병 후 첫 3개월 동안 신경학적 회복의 단계를 거치며, 뇌졸중 환자에 대한 물리치료는 주로 발병 후 3개월 이내에서 집중적으로 이루어지기 때문에 뇌졸중 환자를 대상으로 한 많은 선행연구는 초기 환자를 대상으로 하였다. Yan 등(2005)은 편마비 환자를 대상으로 발병 초 3주간 기능적 전기자극의 적용에 의한 기능회복을 연구하였으며, 김용선(2005)은 발병 초기 뇌졸중 환자를 대상으로 족관절의 배측굴근에 기능적 전기자극을 적용한 후 근활성에 미치는 효과에 대한 임상실험을 실시하였다. 그러나 뇌졸중 발생 후 신경학적 회복기를 지나 기능적 회복기에 들어선 환자들에게 적용한 기능적 전기자극의 효과에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았으며, 주로 기능평가를 중심으로 한 연구가 주를 이루었다. 따라서 본 연구는 3개월 이후의 편마비 환자를 대상으로 보행훈련과 병행한 기능적 전기자극이 근 경직의 완화, 균형능력과 보행수행 능력 등 기능적 회복에 미치는 효과를 알아보기 위하여 기능평가와 함께 전기생리학적 평가를 실시하였다.

뇌졸중 환자에서 경직을 완화시키기 위한 치료 방법 중 전기자극은 약물치료나 수술적 방법에 비하여 부작용이 적고 사용이 간편하기 때문에 현재 임상에서 널리 사용되고 있으며, 전기자극의 적용방식에는 주동근 자극방식, 길항근 자극방식, 경혈 자극방식 등이 있다. 본 연구에서는 보행 중 유각기에 족관절 배측굴곡을 유도하여 배측굴곡근의 근 활성을 촉진하고 저측굴곡근의 경직 억제를 유도하기 위한 목적으로 길항근 자극방식을 사용하였다. 임상연구에서 뇌졸중 환자의 기능적 전기자극과 기립대를 이용한 신장운동을 적용하고 근 경직도를 MAS로 측정된 결과 유의한 감소가 있는 것으로 보고하였으며(손영식, 2001), Alfieri(1982)는 경직형 편마비 환자를 대상으로 경직근의 길항근에 전기자극을 적용한 결과에서 대상 환자의 85%가 경직이 감소된 것으로 나타났다. 본 연구에서는 하지 근 경직의 정도를

나타내는 MAS의 변화는 대조군과 기능적 전기자극군 모두 실험 전에 비해 감소하였으나, 기능적 전기자극군에서 더 많이 감소한 것으로 나타나 근 경직의 감소에 보행훈련을 병행한 전기자극이 효과적인 것으로 나타났다. 조시철(2003)은 경직이 있는 근육에 전기자극을 적용하여 수동관절범위와 능동관절범위의 증가를 얻어 낼 수 있으며, 특히 능동관절범위는 치료기간에 비례해 유의한 증가를 보였다고 보고하였다. 본 연구에서도 족관절의 능동관절운동범위의 변화가 대조군과 기능적 전기자극군 모두에서 실험 전에 비해 증가하였으며, 특히 기능적 전기자극군에서 유의하게 증가하였다.

임상전기생리학적 평가로 척수운동신경원의 흥분성 변화를 알아보려고 H-reflex를 측정하여 Hmax 유발강도인 Hmax threshold와 H-wave와 M-wave의 최대진폭 비율인 H/Mmax ratio를 비 체중부하 시와 체중부하 시로 구분하여 측정하였다. 척수운동신경원의 흥분성 측정은 대부분 비 체중부하 방식을 사용하는데(Braddom, 1974), Knikou와 Rymer(2003)은 H-reflex의 흥분성이 바로 누운 자세보다 선 자세에서 흥분성이 증가되기 때문에 자세에 따라 흥분성이 달라진다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 바로 누운 상태에서와 다르게 기능적 이동과 보행을 위해 체중을 부하한 상태에서는 척수운동신경원의 흥분성에 미치는 영향을 다룰 것으로 생각하여 체중을 부하한 상태인 선 자세에서도 측정하였다. 뇌 병변에 의해 발생하는 과긴장근이나 경직근 신경학적 요소의 특성을 정량적으로 평가하기 위하여 Hmax나 H/Mmax ratio 등이 이용된다(Huang 등, 2005). Leonard 등(1998)은 뇌졸중으로 인한 경직성 편마비 환자를 대상으로 H-reflex를 이용하여 척수운동신경원의 흥분성을 평가하였으며, Morita 등(2001)은 족관절의 배측굴곡 시 최대 수의적 수축력에 따른 H-reflex의 변화를 측정하였다. 또한 뇌졸중 환자를 대상으로 신경절제술(Roujeau 등, 2003), 침(Fink 등, 2004), 전기자극(Hardy 등, 2002), 수동신장운동(Avela 등, 1999), 약물(Maupas, 등, 2004) 등이 근 긴장의 변화에 미치는 효과를 평가하는데 이용하고

있다. 본 연구의 결과에서 비 체중부하 시와 체중 부하 시 모두 기능적 전기자극군에서 대조군에 비하여 Hmax threshold는 증가하고 H/Mmax ratio는 감소하여 척수신경원의 흥분성이 억제되는 변화를 보였는데, Trimble과 Koceja(2001)는 H-wave의 흥분성 감소는 근 긴장을 완화시켜 균형조절 능력을 향상시키는 것으로 보고하였다. 따라서 본 연구의 기능평가에서 근 긴장도의 완화와 능동관절운동범위의 증가, 균형조절 능력의 향상은 척수신경원의 흥분성 감소에 의한 영향이 큰 것으로 생각된다.

이상에서 기능적 회복기에 들어선 뇌졸중 환자를 대상으로 길항근 자극방식의 기능적 전기자극을 적용하면 척수운동신경원 흥분성이 감소되고, 이로 인해 근 경직의 감소와 균형 및 이동능력을 향상시키는 효과가 있는 것으로 나타났다.

V. 결 론

본 연구는 기능적 회복기의 편마비 환자 36명을 대상으로 보행훈련 중 족관절 배측굴곡근에 길항근 자극방식으로 적용한 기능적 전기자극이 길항근인 족관절 저측굴곡근의 경직 완화, 균형 및 보행기능 회복에 미치는 효과를 알아보기 위하여 대조군과 기능적 전기자극군으로 나누어 6주 간 치료를 실시하였으며, 치료 전·후 기능적 평가와 전기생리학적 측정을 통하여 분석하였다.

기능적 평가에서 기능적 전기자극군이 대조군에 비하여 저측굴곡근의 긴장도는 감소하였으며 족관절 운동범위는 증가하였다. 또한 선 자세에서 균형조절과 이동능력도 유의하게 향상되었다. 전기생리학적 평가에서 척수신경원의 흥분성이 체중을 부하한 상태나 부하하지 않은 상태에서 모두 유의하게 감소하였다.

결론적으로 기능적 회복기에 들어선 편마비 환자에 대한 보행훈련 중 길항근 자극방식의 기능적 전기자극 적용은 족관절 저측굴곡근의 경직 완화를 가져와 균형조절 및 이동능력을 향상시키는 것으로 나타났으며, 이는 척수신경원의 흥분

성 감소에 의한 것으로 생각된다.

참고문헌

- 김봉옥, 모정옥, 정혜심 등. 편마비 보행에 대한 기능적 전기자극(FES) 치료효과 - 3차원 동작 분석기를 이용한 보행분석. 1996;23:217-22.
- 김용선. 기능적인 전기자극이 뇌졸중 환자의 발목배측 굴곡근의 근 활성도에 미치는 효과. 단국대학교 특수교육대학원 석사학위논문, 2005.
- 손영식. 기능적 전기자극이 뇌졸중 환자의 족저굴곡근 강직에 미치는 영향. 대구대학교 재활과학대학원 석사학위논문, 2001.
- 조시철. 뇌졸중 환자의 경직에 대한 전기자극의 치료효과. 부산대학교 대학원 의학과, 2003.
- 통계청. 사망 원인 통계, 2004.
- Alfieri V. Electrical treatment of spasticity Reflex tonic activity in hemiplegic patients and selected specific electrostimulation. Scand J Rehabil Med. 1982;14(4):177-82.
- Andrew BJ, Baxendale RH, Barnett GF. Hybrid FES orthosis incorporating closed loop control and sensory feedback. J biomedengin. 1988;10(2):189-95.
- Avela J, Kyrolainen H, Komi PV. Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. J Appl Physiol. 1999;86(4):1283-91.
- Berg K, Wood-Dauphinee S, Williams JI. Clinical and Laboratory measures of postural balance in an elderly population. Arch Phys Med Rehabil. 1992;73(11):1073-80.
- Bogataj U, Gros N, Malezic M et al. Restoration of gait during two to three weeks of therapy with multichannel electrical stimulation. Phy Ther, 1989;69(5):319-27.
- Bogataj U, Gros N, Kljajic M et al. The rehabilitation of gait in patient with hemiplegia: a comparison between conventional therapy and multichannel function electrical stimulation

- therapy. *Phys Ther.* 1995;75(6):490-502.
- Bohannon RW, Smith MB. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Phys Ther.* 1987;67(2):206-7.
- Braddom RL, Johnson EW. Standardization of H reflex and diagnostic use in S1 radiculopathy. *Arch Med Rehabil.* 1974;55(4):161-6.
- Burnside IG, Tobias HS, Bursill D. Electromyographic feedback in the remobilization of stroke patients: a controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 1982;63(5):217-22.
- Cozean CD, Pease WS, Hubbell SL, BiofeedBack and functional electric stimulation in stroke rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil.* 1988; 69(6):401-5.
- Dean CM, Richards CL, Malouin F. Walking speed over 10meter overestimates locomotor capacity after stroke. *Clin Rehabil.* 2001;15(4):415-21.
- Fink M, Rollnik JD, Bijak M et al. Needle acupuncture in chronic poststroke leg spasticity. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85(4):667-72.
- Glanz M, Klaansky S, Stason W et al. Funtional eletrostimulation in post stroke rehabilitation: a meta-analysis of the randomized controlled trials. *Arch Phys Med Rehabil.* 1996;77(6):549-53.
- Hardy S, Patrick G, Spalding TB 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. *Phys Ther.* 2002;82(4):354-63.
- Huang CY, Wang CH, Hwang IS. Characterization of the mechanical and neural component of spastic hypertonia with modified H reflex. *Electromyogr Kinesiol.* 2006;16(4):384-91.
- Kluding P, Billinger SA. Exercise-induced change of the upper extremity in chronic stroke survivors. *Top Stroke Rehabil.* 2005;12(1):58-68.
- Knikou M, Rymer WZ. Static and dynamic change in body orientation modulate spinal reflex excitability in humans. *Exp Brain Res.* 2003; 152(4):466-75.
- Lennon S. Gait re-education based on the Bobath concept in two patients with hemiplegia following stroke. *Phys Ther.* 2001;81(3):924-35.
- Leonard CT, Diedrich PM, Matsumoto T. H-reflex modulations during voluntary and automatic movements following upper neuron damage. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1998;109 (6):475-83.
- Liston R, Mickelborough J, Harrias B. Conventional physiotherapy and treadmill re-training for high-level gait disorders in cerebrovascular disease. *Age Ageing.* 2000;29(4):311-8.
- Liepert J, Bauder H, Wolfgang HR et al. Treatment induced cortical reorganisatin after stroke in humans. *Stroke.* 2000;31(6):1210-6
- Maupas E, Marque P, Roques CF et al. Modulation of the transmission in group II heteronymous pathways by tizanidine in spastic hemiplegic patients. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2004; 75(1):130-5.
- Morita H, Crone C, Christenhuis D et al. Modulation of presynaptic inhibition and disynaptic reciprocal Ia inhibition during voluntary movement in spasticity. *Brain.* 2001;124(4):826-37.
- Morris ME, Matyas TA, Bach TM et al. Electrogoniometric feedback: its effect on genu recurvatum in stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 1992;73(12):1147-54.
- Nilsson L, Carlsson J, Danielsson A et al. Walking training of patients with hemiparesis at an early stage after stroke: a comparison of walking training on a treadmill with body weight support and walking training on the ground. *Clin Rehabil.* 2001;15(5):515-27.
- Patten C, Lexell J, Brown HE. Weakness and strength training in persons with poststroke hemiplegia: Rationale, method, efficacy. *J Rehabil Res Dev.* 2004;41(3A):293-312.
- Pisano F, Miscio C, Conte CD et al. Quantitative measures of spasticity in post-stroke patients. *Clin Neurophysiol.* 2000;111(6):1015-22.

- Pohl M, Mehrholz J, Ritchel C et al. Speed-dependent treadmill training in ambulatory hemiparetic stroke patients: a randomized controlled trial. *Stroke*. 2002;33(2):553-8.
- Ridding MC, Brouwer B, Miles TS et al. Changes in muscle responses to stimulation of the motor cortex induced by peripheral nerve stimulation in human subject. *Exp Brain Res*. 2000;131(1):135-43.
- Roujeau T, Lefaucheur JP, Slavov V et al. Long term course of the H reflex after selective tibial neurotomy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2003;74(7):913-7.
- Rushton DN. Functional electrical stimulation and rehabilitation-an hypothesis. *Med Eng Phys*. 2003;25(1):75-8.
- Podsiadlo D, Richardson S. 'The timed 'Up & Go' : A test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*. 1991;39(2):142-8.
- Sloan RL, Sinclair E, Thompson J et al. Inter-rater reliability of the modified Ashworth scale for spasticity in hemiplegic patients. *Int J Rehabil Res*. 1992;15(2):158-61.
- Stanic U, Acimovic-Janezic R, Gros N et al. Multichannel electrical stimulation for correction of hemiplegia gait. *Scand J Rehabil Med*. 1978;10(2):75-95.
- Sullivan JE, Hedman LD. A home program of sensory and neuromuscular stimulation with upper-limb task practice in a patient 5 years after stroke. *Phys Ther*. 2004;84(11):1045-54.
- Teasell RW, Bhogal SK, Foley NC et al. Gait retraining post stroke. *Top Stroke Rehabil*. 2003;10(2):34-65.
- Trimble MH, Kocreja DM. Effect of a reduced base of support in standing and balance training on the soleus H-reflex. *Int J Neurosci*. 2001;106(1-2):1-20.
- Vearrier LA, Langen J, Shumway-Cook A et al. An intensive massed practice approach to retraining balance post-stroke. *Gait Posture*. 2005;22(2):154-63.
- Waters RL, McNeal DR, Fallon W et al. Functional electrical stimulation of the peroneal nerve for hemiplegia. *J Bone Joint Surg*. 1985;67(5):792-3.
- Weiss A, Suzuki T, Bean J et al. High intensity strength training improves strength and functional performance after stroke. *Am J Phys Med Rehabil*. 2000;79(4):369-76.
- Werner C, von Frankenberg S, Treig T et al. Treadmill training with partial body weight support and an electro-mechanical gait trainer for restoration of gait in subacute stroke patients: a randomized crossover study. *stroke*. 2002;33(12):2895-901.
- Yan T, Hui-Chan CW, Li LS. Functional Electrical Stimulation Improves Motor Recovery of the Lower Extremity and Walking Ability of Subjects With First Acute Stroke: A Randomized Placebo-Controlled Trial. *Stroke*. 2005;36(1):80-5.