

## 기능적전기자극을 이용한 보행훈련이 편마비 환자의 하퇴근육의 근전위활동에 미치는 영향

강 양 훈

(동신대학교 대학원 물리치료학과)

서 삼 기

(서남대학교 대학원 물리치료학과)

이 정 우

(효인병원 물리치료실)

윤 세 원

(진주국제대학교 물리치료학과)

김 용 익·김 태 열

(동신대학교 물리치료학과)

## Influence of Functional Electrical Stimulation during Gait Training on Motor Unit Action Potential

Kang Yang-Hoon, P.T., M.S.

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

Seo Sam-Gi, P.T., M.P.T.

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

Lee Jeong-Woo, P.T., Ph.D.

(Dept. of Physical Therapy, Hyoin Hospital)

Yoon Se-Won, P.T., Ph.D.

(Dept. of Physical Therapy, Jinju International University)

Kim Yong-Eok, P.T., Ph.D.·Kim Tae-Youl, P.T., Ph.D.

(Dept. of Physical Therapy, Dongshin University)

## ABSTRACT

This study divided 35 hemiplegia patients into control group having standard physical therapy and gait training and functional electrical stimulation(FES) group using FES during gait training in order to examine the effects of applying FES to ankle joint dorsiflexor on motor unit action potential. Stimulation conditions of FES were pulse rate 35 pps, pulse width 250  $\mu$ 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, root mean square(RMS) were measured and the following conclusions were obtained.

: In RMS analysis of motor unit action potential, gastrocnemius was significantly reduced in both weight bearing( $p<.001$ ) and bearing condition ( $p<.05$ ).

In conclusion, application of FES to hemiplegia patients in recovery stage during gait training decreased RMS and it was interpreted that it was caused by mitigation of muscular spasticity by reduction of motor unit.

**Key Words** : FES, Spasticity, Motor Unit Action Potential

## 1. 서론

뇌졸중(stroke, cerebrovascular accident)은 일시적이거나 영구적으로 뇌에서 허혈성 및 출혈성 손상으로 인하여 갑작스럽게 신경학적 결손이 나타나는 질환이다(O'Sullivan, 1994). 우리나라에서는 암에 이어 발생률 2위를 기록하고 있고 매년 발병률이 증가하고 있다(통계청, 2004). 임상적으로 감각, 운동, 정신, 지각, 언어기능의 장애 등 다양한 증상을 보이고, 운동결함은 병변부위 반대측 신체에 발생하는 편마비(hemiplegia) 또는 편측부전마비(hemipare-

sis)와 같은 특징을 나타내게 된다(김수민, 2000). 특히 뇌졸중으로 인한 보행능력의 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 중재과정에서 보행훈련은 기능회복과 관련된 예후에 지대한 영향을 미치게 된다(Lennon, 2001).

기능적전기자극(functional electrical stimulation)은 주로 뇌졸중 등의 상위운동신경원의 손상 후 마비부위의 정상 움직임을 조절하고 기능적 동작을 회복시키는데 사용한다(Rushton, 2003). 기능적전기자극의

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 et al., 1996), 중추기전은 대뇌피질을 포함한 상척수에서의 피질 및 분절 재구성(cortical and segmental reorganization)이다(Rushton, 2003). 뇌졸중으로 인한 편마비환자에 대한 현대적 개념의 신경근전기자극은 Weinstein 과 Gordon(1951)이 감응전류를 이용하여 시도되었으며, 이 후 주로 만성 편마비환자의 치료에 사용되어져 왔다. 기능적전기자극을 이용한 편마비환자의 보행훈련에 대한 연구로 Stanic 등(1978)과 Bogata 등(1989)은 다채널 기능적전기자극기(multi-channel functional electrical stimulator)를 이용한 보행능력의 향상을 보고하였으며, 보행조절을 위해 Andrew 등(1988)은 장하지 보조기와 기능적전기자극기를 조합시킨 하이브리드 기능적전기자극기(hybrid functional electrical stimulation)를 적용하였다.

표면근전도(surface electromyography)는 근육 내 전기적 활동을 표면전극을 이용하여 수집·분석하여 신경근골격계 평가에 사용한다(Antonis et al., 2005). 운동신경원의 활동전위를 기록전극을 통해 얻어낼 수 있고, 신호의 진폭과 섬유의 수, 탈분극화된 섬유의 크기를 운동신경원의 활동전위에 신호합산으로 측정한다. 측정된 표면근전도의 진폭은 운동단위 탈분극 비율의 증가에 비례하여 증가한다(Ricamato & Hidler, 2005). 특히 실효치 진폭(root mean square; RMS)은 수축하는 동안 활동하는 운동단위의 수

를 의미하고 근육에 발생하는 힘을 정량화하여 연구에 이용하고 있다.

본 연구는 보행훈련이 가능한 회복기 편마비환자를 대상으로 보행훈련 중 족관절의 배측굴곡근에 기능적전기자극을 적용하여, 족관절 저측굴곡근 근 긴장의 운동단위 활동전위에 대한 임상전기생리학적 평가를 통하여 보행 중 기능적전기자극의 적용이 근 경직의 완화에 미치는 효과를 알아보고자 실시하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

본 연구는 총 36명의 편마비환자를 대조군과 기능적전기자극군으로 각각 18명씩으로 나누어 편마비환자에게 보행훈련 중 족관절의 배측굴곡근을 자극하는 길항근 적용법을 이용한 기능적전기자극 적용이 근 경직의 완화와 균형 및 보행기능 회복에 미치는 효과를 알아보고자 실험설계에 의해 실시하였다.

대상자에게 실험 전에 연구의 취지 및 목적에 대해 설명한 후 동의를 얻어 연구를 실시하였다. 대상자는 적절한 의사소통과 이해가 가능하며 하지 보장구를 착용하지 않고 보행이 가능하고 실험에 영향을 미칠 약물 등을 투여하지 않는 환자를 선정하였다.

대상자의 일반적 특성에서 대조군은 평균

나이 60.11±10.53세, 발병 평균기간 9.39±6.00개월, 남성 13(72.2%)명, 여성 5(27.8)명, 뇌졸중 형태는 허혈성 13(72.2%)명, 출혈성 5(27.8%)명, 왼쪽 마비 11(61.1%)명, 오른쪽 마비 7(38.9%)명이며, 기능적전기자극 적용군은 평균나이 57.11±7.32세, 발병 평균기간 11.72±5.73개월, 남성 14(77.8%)명, 여성 4(22.2%)명, 뇌졸중 형태는 허혈성 11(61.1%)명, 출혈성 7(38.9%)명, 왼쪽 마비 4(22.2%)명, 오른쪽 마비 14(77.8%)명 이었다.

## 2. 연구방법

### 1) 실험절차

본 연구는 처음 측정 후, 6주 동안의 치료 후 다시 동일한 방법으로 재 측정하였다. 대조군은 신경발달치료(30 min/day), 에르고메터(30 min/day), 메트운동(30 min/day) 등이 포함된 물리치료와 보행훈련(30 min/day)을 실시하였으며, 기능적전기자극군은 대조군과 동일한 물리치료와 함께 보행훈련 시 기능적전기자극을 병용(30 min/day)하였다.

### 2) 기능적전기자극(FES)의 적용

보행훈련 중 사용한 기능적전기자극기는 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, 김봉옥

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  $\mu$ V, 통전시간(on-time)은 0.3 sec로 짧게 하여 발뒤꿈치가 땅에서 떨어질 때 바로 전기자극이 이루어 질 수 있도록 하였다.

### 3) 운동단위 활동전위의 측정

근전도 신호를 수집하기 위해 표면 근전도인 MP100 System(BIOPAC System, inc., USA)과 일회용 전극을 사용하였다. 전극을 부착하기 전에 피부저항을 최소화하기 위해 70% 알코올로 깨끗이 닦은 후 건조시켰다. 전경골근의 전극배치로 첫 번째 전극은 비골두 아래 수직 5 cm 지점, 두 번째 전극은 전경골근의 기시점과 종지의 중간부에서 가장 발달한 부위인 운동점에 부착하였다. 내측 비복근은 종골 위 수직 13 cm 지점과 비골두 아래쪽 근육의 중간지점에 전극을 부착하였다. 접지전극은 운동에 방해를 주지 않은 가까운 부위에 부착하였다. 근전도 신호를 수집하기 위한 조건으로 sampling rate는 2,000 Hz, band pass filter는 1~1,000 Hz, gain은 500  $\mu$ V, sweep은 20 ms 하였으며 4개 채널을 이용하여 기록하였다.

비 체중부하 상태의 측정으로 기대지 않고 앉은 상태에서 무릎 밑에 받침대를 놓아 완전히 이완되도록 하고 대상자로 하여금 족관절 배측굴곡 및 저측굴곡 운동을 하도록 하여 측정하였다. 체중부하 상태에서의 측정으로 환측에 체중부하를 하고 선 상태를 20초간 유지하면서 근전도 신호를 기록하였다. 근전도 신호의 저장과 분석은 Acqknowledge 3.72 소프트웨어를 이용하였다. 근전도 신호는 20초 동안 수집된 신호를 사용하기 때문에 전체구간에서 초기 5초는 운동단위가 동원되는 과정에서 불안정할 수 있으므로 신호처리에서 제외하고 나머지 15초에 대한 실효치 진폭(RMS) 값을 구하였다.

### 3. 자료분석

기능적전기자극이 운동단위 활동전위에 미치는 효과에 대해 알아보려고 측정항목의 실험 전·후 변화에 대한 군 간 비교를 공분

산분석(ANCOVA)으로 실시하였으며, 유의 수준  $\alpha$ 는 0.05로 하였다. 모든 통계는 윈도우용 SPSS 11.5 프로그램을 이용하여 분석하였다.

## III. 결 과

### 1. 운동단위 활동전위의 변화

#### 1) 능동 관절가동범위 운동 시 전경골근의 변화

전경골근의 운동단위 활동전위의 실효치 진폭(RMS)변화를 능동적인 수축하면서 측정한 결과 기능적전기자극군이 실험 전에 비해 실험 후에 증가하였으며(Table 1), 실험군 간의 차이를 알아보기 위하여 공분산 분석을 한 결과 군 간에 유의한 차이는 없었다.

Table 1. The changes of tibialis anterior RMS during AROM before and after experiment between groups

( $\mu V$ )				
Group	Pre	Post	F	p
Control	32.58±9.83	33.32±10.01	3.119	.087
FES	30.20±13.58	32.78±12.39		

All values are showed mean  $\pm$  S.D.

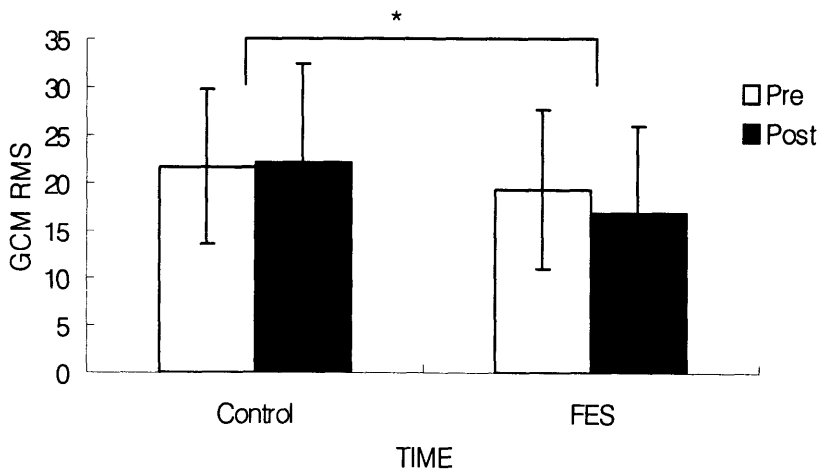
2) 능동 관절가동범위 운동 시 비복근의 변화  
 비복근의 운동단위 활동전위의 실효치 진폭(RMS)변화를 능동적인 수축하면서 측정  
 한 결과 기능적전기자극군이 실험 전에 비

해 감소하였으며(Table 2), 실험군 간의 차이를 알아보기 위하여 공분산분석을 한 결과 군 간에 유의한 차이를 보였다 ( $p<.05$ )(Figure. 1).

**Table 2.** The changes of gastrocnemius RMS during AROM before and after experiment between groups

Group	Pre	Post	F	p
Control	21.66±8.11	22.15±8.29	6.689	.014
FES	19.26±10.34	16.90±9.10		

All values are showed mean ± S.D.



**Figure 1.** Comparison of gastrocnemius RMS during AROM before and after treatment between groups.

All values are showed mean±SD.

There were significant differences between groups( $F=6.689$ ,  $p<.05$ )

3) 체중부하 시 전경골근의 변화  
전경골근의 운동단위 활동전위의 실효치 진폭(RMS)변화를 선 자세에서 측정한 결과 기능적전기자극군이 실험 전에 비해 증가하

였으며(Table 3), 실험군 간의 차이를 알아보기 위하여 공분산분석을 한 결과 군 간에 유의한 차이는 없었다.

**Table 3.** The changes of tibialis anterior RMS at standing before and after experiment between groups

( $\mu V$ )				
Group	Pre	Post	F	p
Control	8.97±0.64	8.91±0.65	2.089	.158
FES	8.89±0.76	9.01±0.69		

All values are showed mean ± S.D.

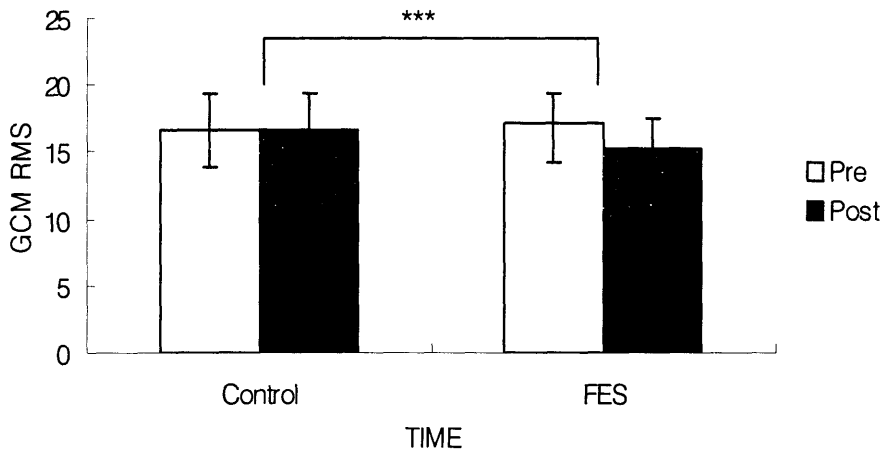
4) 체중부하 시 비복근의 변화  
비복근의 운동단위 활동전위의 실효치 진폭(RMS)변화를 선 자세에서 측정한 결과 대조군과 기능적전기자극군 모두 실험 전에 비해 감소하였으나 기능적전기자극군에서

더 큰 감소가 있었다(Table 4).  
실험군 간의 차이를 알아보기 위하여 공분산분석을 한 결과 군 간에 유의한 차이를 보였다( $p<.001$ )(Figure. 2).

**Table 4.** The changes of gastrocnemius RMS at standing before and after experiment between groups

( $\mu V$ )				
Group	Pre	Post	F	p
Control	16.64±2.80	16.58±2.84	37.466	.000
Experiment	17.08±2.72	15.30±2.20		

All values are showed mean ± S.D.



**Figure 2.** Comparison of gastrocnemius RMS at standing before and after treatment between groups.

All values are showed mean±SD.

There were significant differences between groups( $F=37.466$ ,  $p<.001$ )

#### IV. 고찰

편마비환자는 신경학적 손상으로 운동장애, 감각장애, 지각장애, 언어장애 등 다양한 기능장애를 나타낸다(Kottke & Lehmann, 1990, 1984; 정재훈 등, 2001). 이러한 편마비환자의 임상양상은 뇌조직의 손상위치, 손상된 부위의 크기, 손상의 원인에 따라 다양하며, 특히 보행기능의 장애는 삶의 질에 큰 영향을 미친다(Anderson, 1990). 또한 기능적전기자극(functional electrical stimulation)은 주로 뇌졸중 등의 상위운동 신경원의 손상 후 마비부위의 정상 움직임을 조절하고 기능적 동작을 회복시키는데

사용한다(Rushton, 2003).

편마비환자의 기능회복은 전체 회복의 90% 정도가 발병 후 첫 3개월 동안 신경학적 회복을 이루고 있어서(Kottke & Lehmann, 1990), 뇌졸중 환자에 대한 물리치료 등의 많은 선행연구는 주로 발병 후 3개월 이내에서 집중적으로 이루어지고 있으며, 신경학적 회복기를 지나 기능적 회복기에 들어선 환자들에게는 주로 기능평가를 중심으로 한 연구가 주를 이루고 있다.

본 연구는 3개월 이후의 편마비환자를 대상으로 보행훈련과 병행한 기능적전기자극에 대한 전기생리학적 평가를 통해 기능적 회복에 미치는 효과를 알아보았다.

임상연구에서 뇌졸중 환자의 기능적전기



자극과 기립대를 이용한 신장운동을 적용하고 근 경직도를 MAS로 측정된 결과 유의한 감소가 있는 것으로 보고하였으며(손영식, 2001), Alfieri(1982)는 경직형 편마비환자를 대상으로 길항근의 길항근에 전기자극을 적용한 결과에서 대상 환자의 85%가 경직이 감소된 것으로 나타났다.

본 연구에서는 보행 중 유각기에 족관절 배측굴곡을 유도하여 배측굴곡근의 근 활성을 촉진하고 저측굴곡근의 경직 억제를 유도하기 위한 목적으로 길항근 자극방식을 사용하였다. 또한 표면 근전도를 이용하여 실효치 진폭(RMS)의 분석을 통해 운동단위(motor unit)의 흥분성 변화를 정량적으로 분석할 수 있으므로(Holtermann et al., 2005) 뇌졸중 환자의 수의적 운동(Dickstein et al., 2004), 균형조절(Kirker et al., 2006), 보행(Buurke et al., 2005; Ricamoto & Hidler, 2005) 등과 관련된 기능평가에 활용할 수 있다.

김용선(2005)은 발병 3개월 이내의 환자에서 길항근 자극방식의 기능적전기자극을 일회 적용한 결과 배측굴곡근의 실효치 진폭이 유의하게 증가함을 보고하였고, Burrige와 McLellan(2006)는 발병 6개월 후 환자를 대상으로 족관절 배측굴곡근에 기능적전기자극을 적용한 결과 저측굴곡근의 근전도 활동이 유의하게 감소하여 길항근 억제효과가 있는 것으로 보고하였다.

본 연구에서도 저측굴곡근의 실효치 진폭은 실험 전에 비하여 유의한 감소를 보여 보행훈련과 병행한 길항근 자극방식의 기능적전기자극이 저측굴곡근의 경직을 완화시킨 것으로 나타났다. 이러한 결과는 길항근

자극방식의 기능적전기자극을 적용하면 배측굴곡근의 수축으로 인해 발생된 신호가 Ia 구심성 섬유를 따라 척수로 투입되어 개재 신경세포를 흥분시켜 상반성 억제효과를 나타나게 하는 것이다(김태열과 김계업, 2001).

이상에서 기능적 회복기에 들어선 뇌졸중 환자를 대상으로 길항근 자극방식의 기능적 전기자극을 적용하면 길항근의 운동단위가 감소되고, 이로 인해 근 경직의 감소를 향상시키는 효과가 있는 것으로 나타났다.

## V. 결론

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

전기생리학적 평가에서 저측굴곡근의 운동단위가 체중을 부하한 상태나 부하하지 않은 상태에서 모두 유의하게 감소하였다.

결론적으로 기능적 회복기에 들어선 편마비환자에 대한 보행훈련 중 길항근 자극방식의 기능적전기자극 적용은 족관절 저측굴곡근의 경직 완화를 가져와 균형조절 및 이동능력을 향상시키는 것으로 나타났으며, 이는 길항근의 운동단위의 감소에 의한 것

으로 생각된다.

## 참고문헌

- 김봉옥, 모정옥, 정혜심, 김병식 : 편마비 보행에 대한 기능적 전기자극(FES) 치료효과 -3차원 동작분석기를 이용한 보행분석-. 23;217-222, 1996.
- 김수민 : 뇌졸중 후 편마비 환자의 건관절 통증. 울산과학대학 연구논문집. 27(2);595-613, 2000.
- 김용선 : 기능적인 전기자극이 뇌졸중 환자의 발목배측 굴곡근의 근 활성도에 미치는 효과. 단국대학교 특수교육대학원 석사학위논문. 2005.
- 김태열, 김계엽 : 임상전기생리학. 현문사. 185-156, 2001.
- 정재훈, 이규성 : 수중치료가 편마비 환자의 보행 시 양하지의 대칭성에 미치는 영향. 한국BOBATH학회지. 6(1);1-12, 2001.
- 통계청 : 사망 원인 통계. 2004.
- Anderson TP : Rehabilitation of patient with complete stroke; Krusen's hand book of physical medicine and rehabilitation (4th ed). Philadelphia: WB Saunder's company. 1990.
- Andrew BJ, Baxendale RH & Barnett GF : Hybrid FES orthosis incorporating closed loop control and sensory feedback. J biomedengin, 10;189-195, 1988.
- Antonis P, Stylianou Carl. W., Luchies & Lerner DE : The use of correlation integrals in the study of localized muscle fatigue of elbow flexors during maximal efforts. Journal of Electromyography and Kinesiology. 15;437-443, 2005.
- Bogata U, Gros N, Malezic M. et al : Restoration of gait during two to three weeks of therapy with multichannel electrical stimulation. Phy Ther. 69;319-327, 1989.
- Burridge JH & McLellan DL : Relation between abnormal patterns of muscle activation and response to common peroneal nerve stimulation in hemiplegia. Neural Neurosurg Psychiatry. 69;353-361, 2006.
- Buurke JH, Hermens HJ, Erren-Wolters CV et al : The effect of walking aids on muscle activation patterns during walking in stroke patients. Gait & Posture. 22;164-170, 2005.
- Dickstein R, Shefi S, Marcovitz E et al : Eletromyographic activity of voluntary activated trunk flexor and extensor muscles in post-stroke hemiparetic subjects. 2004.
- Glanz M, Klaansky S, Stason W et al : Funtional eletrostimulation in post stroke rehabilitation: a meta-analysis of the randomized controlled trials. med rehabil. 77;549-53, 1996.
- Holtermann A, Roeleveld K, & Karlsson JS : Inhomogeties in muscle activation

- reveal motor unit recruitment. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 15;131-137, 2005.
- Kirker SGB, Simpson DS, Jenner JR et al : Stepping before standing: hip muscle function in stepping and standing balance after stroke. *JNNP*. 68;458-464, 2006.
- Kottke FJ & Lehmann JF : *Krusen's handbook of physical medicine and rehabilitation*. 4th ed. WB Saunder's Company. 656-658, 1990.
- Lennon Shelia : Gait re-education based on the Bobath concept in two patients with hemiplegia following stroke. *Phys Ther*. 81;924-935, 2001.
- Ricamato AL & Hidler JM : Quantification of the dynamic properties of EMG patterns during gait. *J Jele kin*. 15;384-392, 2005.
- Rushton DN : Functional electrical stimulation and rehabilitation-an hypothesis. *medengphy*. 25;75-78, 2003.
- Stanic U, Acimovic-Janezic R, Gros N et al : Multichannel electrical stimulation for correction of hemiplegia gait. *Scand J Rehabil Med*. 10;75-95, 1978.
- Yan T, Hui-Chan Christina WY, & Li Leonard SW : 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*. 36;80-85, 2005.