

## 뇌성마비 환아에서 전기자극이 족저굴곡근 경직에 미치는 영향

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학 연구소

박 창 일·신 지 철·김 유 철  
김 성 우·김 덕 용·서 혜 정

### =Abstract=

### Effect of Electrical Stimulation on Ankle Plantar Flexor Spasticity in Cerebral Palsy

Chang Il Park, M.D., Ji Cheol Shin, M.D., You Chul Kim, M.D.  
Seong Woo Kim, M.D., Deog Young Kim, M.D. and Hye Jung Seo, M.D.

Department of Rehabilitation Medicine and Research Institute of Rehabilitation Medicine  
Yonsei University College of Medicine

Spasticity is one of the most troublesome problems in the management in cerebral palsy. This study was conducted to observe the effects of the electrical stimulation therapy to spasticity. 16 cerebral palsy children were treated with reciprocal electrical stimulation on tibialis anterior and gastrocnemius for 6 weeks. Three times of assessments of spasticity, before, immediately after and 24 hours after treatment were made for modified Ashworth scale, passive range of motion, reflex excitability test, ankle T-reflex and gross motor function measure.

The results were as follows:

1) After 6 weeks of electrical stimulation therapy, modified Ashworth scale, gain of the reflex excitability test, amplitude of the ankle T-reflex were significantly reduced and the passive range of motion and ankle dexterity were significantly increased( $p<0.05$ ). 2) The reductions of spasticity were maintained for 24 hours 3) The functional improvement measured by gross motor function measure could not be found. The reciprocal electrical stimulation therapy was effective in the management of the spasticity in cerebral palsy children. However we could not find any functional improvement because the duration of treatment was relatively short.

**Key Words:** Electrical stimulation, Spasticity, Cerebral palsy

### 서 론

절 움직임의 속도에 따른 신장반사의 활동도 증가로 정의된다<sup>[2]</sup>. 이는 보행 장애를 포함한 기능 장애 및 종적 근육의 성장 장애를 초래하고 나아가 골 변형을 일

상부운동신경원 질환에서 흔히 나타나는 경직은 관 으킬 수 있다<sup>[3,14,30]</sup>. 경직의 치료법으로는 물리치료,

Baclofen이나 Dantrolene sodium 등의 약물치료, 폐놀이나 알콜의 근육내 주사<sup>6)</sup>, 선택적 후근 절제술<sup>27)</sup>등 여러가지 방법이 이용되고 있는데 약물 치료는 간독성과 같은 부작용이 있으며 폐놀의 근육내 주사는 정확하게 운동점에 주사하여야하는 기술상의 어려움이 있고 선택적 후근 절제술은 고관절 및 요추부의 불안정성<sup>11)</sup>을 초래할 가능성이 있어 제한점이 있는 것으로 알려져 있다. 많은 연구에서 척수 손상 환자나 뇌손상 환자에서 전기자극치료 후 경직 감소 및 기능 향상을 보고하였으나<sup>2,28,28,32)</sup> 뇌성마비 환아에서는 치료방법으로 드물게 이용되어 왔는데, 최근 들어 여러 저자들에 의해 경직의 감소, 근력 증강, 보행 패턴의 향상 및 운동범위의 증가 등을 보고하고 있다<sup>5,9,10,12,19,22)</sup>. 그러나 이들 연구에서는 경직 변화에 대한 간접적인 측정 방법인 보행 패턴이나 수동적 운동범위의 향상 등을 이용하여 경직감소를 보고하여 객관적이고 직접적인 경직의 변화를 측정하지 않았으며 그 효과가 얼마나 지속되는지에 대한 언급도 미비하였다. 이에 본 연구는 16명의 뇌성마비 환아를 대상으로 전경골근과 비복근을 상호교대로 6주간 전기자극치료를 실시하여 경직의 정도를 직접 측정하며, 객관적이고 정량화가 가능한 신장반사 흥분도 검사(reflex excitability test) 및 종골전 반사를 이용하여 족부 경직의 변화를 측정하고 대동작기능평가(gross motor function measure)를 이용하여 기능 향상 여부를 알아보고자 하였다. 그리고, 이러한 경직의 검사를 치료 종료 24시간 후에도 측정하여 치료에 따른 이월효과(carry-over effect)가 있는지 알아 보고자 하였다.

## 연구대상 및 방법

### 1) 연구 대상

연구 대상은 통원 치료를 받고 있는 뇌성마비 환자 18명을 대상으로 하였는데, 이중 2명은 연구기간 중 폐렴, 모세기관지염에 의해 지속적 전기자극치료를 시행 받지 못하여 연구 대상에서 제외되었다. 연령분포는 만 6세부터 만 11세까지로 평균 8.7세 였고 남자가 9명, 여자가 7명이었다. 16명의 환아중 7명이 경직성 사지마비형으로 가장 많았으며(Table 1), 환아중 보행이 가능한 경우가 5명이었다. 진단후 치료를 받은 기간은 2년부터 10년까지 평균 7.3년 이었다. 경직의

Table 1. Types of Cerebral Palsy Patients

Type	Number of cases
Spastic diplegia	3
Spastic quadriplegia	7
Spastic hemiplegia	3
Mixed	3
Total	16

정도는 modified Ashworth scale상 족부 강직이 grade 1+부터 grade 4까지 다양하였다. 물리치료는 주당 평균 1.3회였고 항경직성 약물을 복용하는 환아는 3명이었고 항경련성 약물을 복용하는 환아는 5명이었다. 연구기간 동안 물리치료 횟수 및 약물의 용량변경은 없도록 하였다.

### 2) 전기자극 치료

전기자극 치료기는 8개의 채널로 구성되어 있고 파형이 비대칭 이상성 파형이며 상호교대 자극이 가능하고 주파수, 수축시간, 이완시간 및 자극 기간(pulse width)이 조절 가능한 치료기인 Neurotech System NT-16(BMR Co., UK)을 이용하였다. 전극은 표면전극(Sigmedic Inc, Netherfield, IL, USA)을 이용하여 앓아있는 자세에서 활성 전극을 전경골근과 비복근의 근복에 부착하였고 기준 전극을 각각의 전에 부착한 후, 전경골근과 비복근에 상호교대로 전기자극 치료를 시행하였다. 전기자극은 주파수 30Hz, 자극 기간 250 μsec, 수축시간 4초, 이완시간 12초 되도록 하였고, 자극 강도는 육안으로 근육의 수축이 관찰되는 정도로 15 mV부터 50 mV이었다. 전기자극 치료는 하루에 20분씩, 일 주일에 5번, 6주간 시행하였다.

### 3) 평가 방법

평가는 크게 경직 평가와 운동 기능 평가로 나누어 시행하였다. 경직 평가는 modified Ashworth scale<sup>11)</sup>, 수동적 족관절 운동범위, 전기 망치를 이용한 종골전 반사<sup>16)</sup>, 신장반사 흥분도 검사(reflex excitability test) 및 ankle dexterity<sup>21)</sup>로 하였으며, 운동 기능 평가는 5개의 세부 항목으로 구성된 대동작기

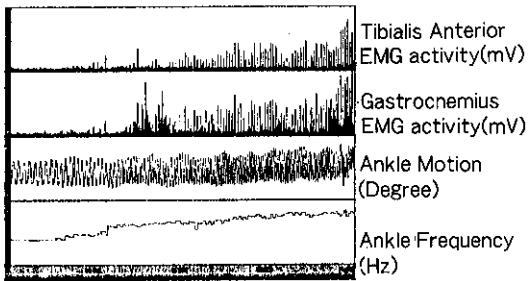


Fig. 1. Reflex excitability test on tibialis anterior and gastrocnemius.

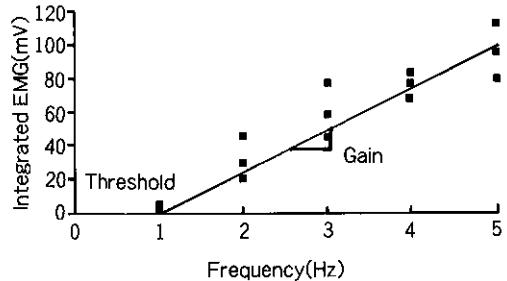


Fig. 2. Reflex excitability gain and threshold measurement using linear regression curve.

능평가(gross motor function measure)<sup>25)</sup>를 이용하였다. 모든 평가는 치료전, 6주 치료 직후, 치료 종료 24시간 후에 측정하였고, modified Ashworth scale과 수동적 족관절 운동범위는 치료기간에 따른 변화를 보기 위하여 치료 시작 후 2주째에 한 번 더 측정하였다.

Modified Ashworth scale은 임상적으로 흔히 사용되는 경직 평가 방법으로 6단계로 구분하여 측정하였다. 수동적 관절 운동범위는 단순 각도계를 이용하여 편안하게 누운 자세에서 슬관절 신전 상태와 굽곡 상태에서의 각각의 족관절 배측굽곡과 쪽지굽곡을 측정하였다.

종골건 반사<sup>16)</sup>는 MS-60기기(Medelec Ltd, Surrey, England)에 부착된 전기망치를 이용하여 다음과 같이 측정하였다. 피검자가 편안하게 엎드린 자세에서 활성 전극은 내측 비복근의 근복에 부착하고 기준 전극은 같은 근육의 전에 부착한 후 전기 망치를 이용하여 종골건을 10회 자극하여 기록되는 복합근 활동전위의 잠시와 진폭을 평균하여 구하였다.

신장반사 홍분도 검사는 Lin 등<sup>21)</sup>의 검사 방법대로 시행하였다. 피검자를 긴장을 풀게하고 엎드린 자세에서 Penny & Giles 전기 측각기의 한 쪽 끝은 종골의 후면에 장착하고 다른 한 끝은 하퇴부의 후면에 장착하여 족관절을 지나 하퇴부의 방향에 평행한 다음 기록 전극을 전경골근과 비복근의 근복에 부착하고 기준 전극을 활성 전극의 원위부에 부착하였다. 피검자의 족관절을 검사자의 손을 이용하여 sinusoidal oscillation을 유발시키는데 최초 위치는 30도 족저굴곡된 상태에서 시작하였고 관절의 각도가 20도내외로

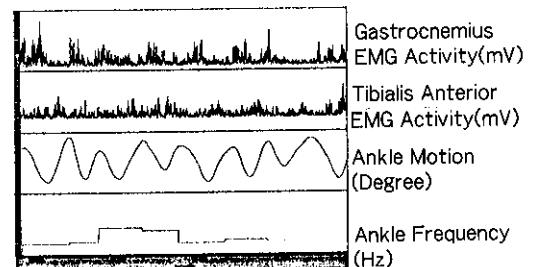


Fig. 3. Ankle dexterity measurement during active ankle movement.

배측굽곡, 쪽지굽곡을 시켰으며 매번 sinusoidal movement의 주파수를 달리하여 근육이 신장되는 속도가 다르게 하였다. 이때 전기 측각기와 전극에서 나오는 전기적 신호를 16 bit AD converter가 내장된 Polygraph의 일종인 MP-100(Biopac Inc, Goleta, CA, USA)에 연결하여 기록하였다. 시간에 따른 족관절의 각도의 변화를 기록하여 족관절의 1초당 움직임의 횟수인 주파수를 구하였다. 또한 각각의 근육에서 발생하는 기록전극의 근전도 신호를 Full Wave Rectification한 값이 기록되게 하여 이의 integrated EMG값을 구하였다(Fig. 1). 이러한 정보를 이용하여 족관절이 움직인 주파수를 X축으로 하고 Intergrated된 근전도 신호치를 Y축으로 하여 회귀분석을 하였다. 이때 주파수의 변화에 따른 Intergrated 근전도 신호치의 변화인 Gain을 구하고 integrated EMG값이 0일때의 최대 주파수 값인 역치를 구하였다(Fig. 2). Ankle dexterity는 MP-100을 이용하여 피검자가 슬관절이 신전된 상태에서 능동

직으로 족관절을 움직이도록하여 초당 움직임의 횟수로 정의하였다(Fig. 3). 기능 평가는 5세까지의 발달 과정을 기초로하여 5가지 세부 항목 즉 눕기와 뒤집기, 앓기, 네발기기와 무릎서기, 서기, 걷기로 구성되어 있고 각각의 항목내의 여러 동작의 수행도를 백분율로 환산하여 수치화한 대동작 기능 평가를 이용하였다.

#### 4) 분석 및 통계 처리

개인용 컴퓨터 통계 분석 프로그램인 SPSS for Windows을 이용하여 비 모수 검정 방법인 Wilcoxon Sign Rank Sum test로 통계 분석하였으며 p value가 0.05 미만인 것을 통계학적으로 의의있는 것으로 하였다.

### 결 과

#### 1) Modified Ashworth scale

전기자극 치료 후 족저근의 modified Ashworth scale의 평균값은 2주 치료 직후 2.4 grade, 6주 치료 직후 1.8 grade, 치료종료 24시간 후 2.2 grade로

치료전 평균 3.3 grade에 비해 통계학적으로 의의있게 감소하였다( $p<0.05$ ). 치료 종료 24시간 후의 값이 6주 치료 직후에 비해 증가하는 경향을 보였으나 의의 있는 차이는 보이지 않았고, 6주 치료 직후 modified Ashworth scale 값은 2주 치료 직후의 값에 비해 의의있게 감소하였다( $p<0.05$ ). 슬관절 굴곡근의 경우도 마찬가지로 치료전에 비해 2주 치료 직후, 6주 치료 직후, 치료 종료 24시간 후에 의의 있게 감소를 보였다. 그러나 고관절 내전근의 modified Ashworth scale은 치료 전후 간의 차이를 보이지 않았다(Table 2).

#### 2) 수동적 족관절 운동범위

치료후 슬관절 신전 상태에서의 수동적 배측 굴곡의 평균값은 2주 치료 직후 22.2°, 6주 치료 직후 26.9°, 치료종료 24시간 후 22.5°로 치료전 9.7°에 비해 의의 있게 증가 하였다( $p<0.05$ ). 치료종료 24시간 후 배측 굴곡은 6주 치료 직후에 비해 감소하는 경향을 보였으나 유의하지 않았고, 6주 치료직후 배측 굴곡은 2주 치료 직후에 비해 의의 있게 증가하였다( $p<0.05$ ). 슬관절 굴곡 상태에서의 수동적 배측 굴곡은 슬관절 신

**Table 2. Changes of Modified Ashworth Scale after Electrical Stimulation**

Spastic muscle	Before	2 weeks	6 weeks	24 hours later
Hip adductor	1.8±1.2	1.7±1.1	1.6±1.2	1.7±1.2
Knee flexor	1.8±0.8	1.0±0.5*	1.0±0.5*	1.1±0.6*
Ankle plantar flexor	3.3±0.9	2.4±0.9*	1.8±0.8**	2.2±1.0*

Values are mean±standard deviation(degree) grade

\*p value(vs. before measured value)<0.05

\*\*p value(vs. 2 weeks measured value)<0.05

**Table 3. Changes of Passive Ankle Range of Motion after Electrical Stimulation**

	Before	2 weeks	6 weeks	24 hours later
Ankle dorsiflexion with knee extension	9.7±20.3	22.2±19.5*	26.9±17.0**,**	22.5±18.1*
Ankle dorsiflexion with knee flexion	30.2±20.3	35.2±12.6*	38.6±10.9**,**	37.2±11.5*
Ankle plantar flexion	39.4±8.3	40.8±5.4	40.6±5.5	40.8±5.4

Values are mean±standard deviation(degree)

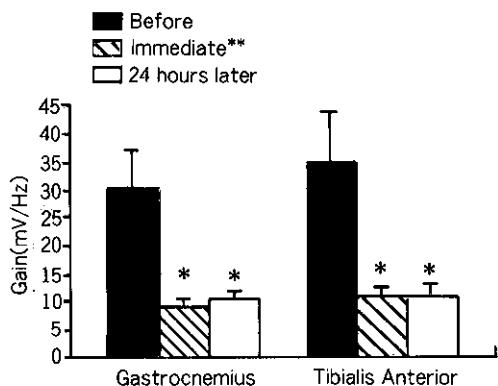
\*p value(vs. before measured value)<0.05

\*\*p value(vs. 2 weeks measured value)<0.05

**Table 4.** Changes of Gross Motor Function Measure after Electrical Stimulation

	Before	After
Lying and Rolling	76.4±25.5	77.6±24.8
Sitting	58.7±42.8	60.1±41.5
Crawling and Kneeling	51.8±41.0	52.8±41.0
Standing	32.6±40.0	34.1±39.7
Walking, Running and Jumping	18.4±29.0	19.4±30.6
Total	47.6±31.3	48.8±31.4

Values are mean±standard deviation(%).



**Fig. 4.** Changes of reflex frequency gain on gastrocnemius and tibialis anterior after electrical stimulation therapy.

Values are mean±standard error

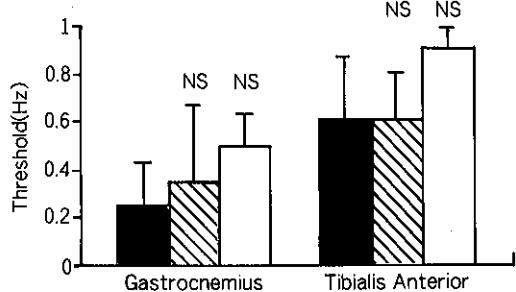
\* $p<0.05$ , \*\*immediate: immediate after 6 weeks therapy.

전상태와 같은 결과를 얻었다. 그러나 족저 굴곡은 치료 전후 간의 차이를 보이지 않았다(Table 3).

### 3) 신장반사 홍분도 검사의 gain과 역치

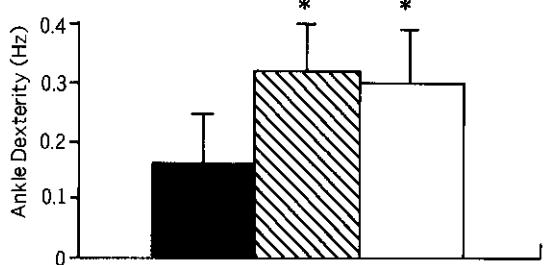
치료후 비복근의 신장반사 홍분도 검사의 gain은 6주 치료 직후  $9.24\pm5.41$  mV/Hz, 치료종료 24시간 후  $10.54\pm5.54$  mV/Hz로 치료전  $30.30\pm26.56$  mV/Hz에 비해 의의있게 감소하였고( $p<0.05$ ), 치료 종료 24시간후 gain이 6주 치료 직후에 비해 증가하는 경향을 보였으나 유의하지 않았다. 이를 개인별로 살펴보면 16명의 환자 중 14명은 치료전에 비해 6주 치료직후 gain값이 감소하는 경향을 보였다.

■ Before  
▨ Immediate\*  
□ 24 hours later



**Fig. 5.** Changes of reflex frequency threshold on gastrocnemius and tibialis anterior after electrical stimulation therapy. Values are mean ± standard error, NS: not significant, \*immediate: immediate after 6 weeks therapy.

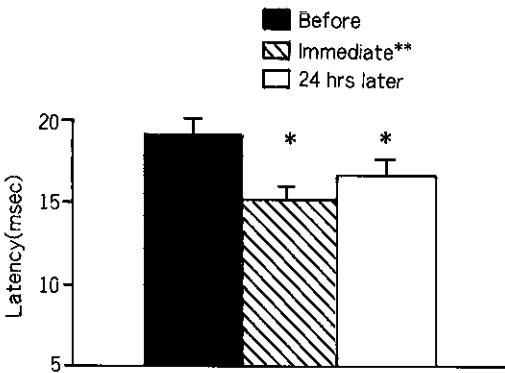
■ Before  
▨ Immediate\*\*  
□ 24 hours later



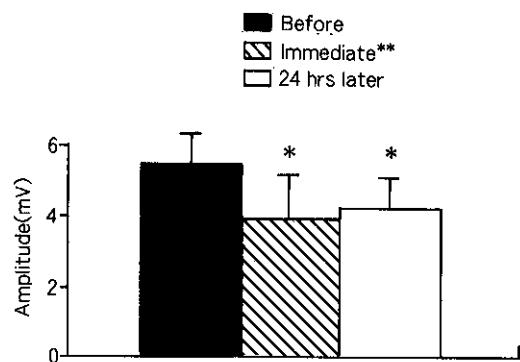
**Fig. 6.** Changes of ankle dexterity after electrical stimulation therapy. Values are mean±standard error. \* $P<0.05$ , \*\*immediate: immediate after 6 weeks therapy.

전경골근의 경우 치료전  $35.25\pm35.56$  mV/Hz, 6주 치료 직후  $10.88\pm6.89$  mV/Hz, 치료 종료 24시간 후  $11.00\pm7.64$  mV/Hz로 비복근의 경우와 같은 결과를 보였다(Fig. 4).

치료후 비복근의 신장반사 홍분도 검사의 역치는 6주 치료 직후  $0.35\pm1.30$  Hz, 치료종료 24시간 후  $0.50\pm0.51$  Hz로 치료전  $0.25\pm0.59$  Hz에 비해 증가하는 경향을 보였으나 유의한 차이는 없었다. 전경골근의



**Fig. 7.** Changes of ankle T-reflex latency after electrical stimulation therapy Values are mean  $\pm$  standard error. \* $P<0.05$ , \*\*immediate: immediate after 6 weeks therapy.



**Fig. 8.** Changes of ankle T-reflex amplitude after electrical stimulation therapy Values are mean  $\pm$  standard error. \* $P<0.05$ , \*\*immediate: immediate after 6 weeks therapy.

경우 치료전  $0.62 \pm 1.03$  Hz 6주 치료 직후  $0.61 \pm 0.77$  Hz, 치료 종료 24시간 후  $0.91 \pm 0.32$  Hz로 비복근의 경우와 같은 결과를 보였다(Fig. 5).

#### 4) Ankle dexterity

치료후 ankle dexterity는 6주 치료 직후  $0.30 \pm 0.32$  Hz, 치료종료 24시간 후  $0.32 \pm 0.35$  Hz로 치료 전  $0.16 \pm 0.31$  Hz에 비해 통계학적으로 의의있게 증가하였고( $p<0.05$ ), 치료 종료 24시간 후와 6주 치료 직후는 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 6). 이를 개인별로 살펴보면 16명의 환자 중 7명은 치료 전에 비해 6주 치료 직후 ankle dexterity가 증가하였고, 나머지 9명은 변화가 없었는데 이중 8명은 측정하기 어려울 정도의 움직임을 보여 정량적으로 평가하기는 어려움이 있으나 치료전 전경골근의 수축시 비복근이 동시에 수축하는 동시수축(co-contraction)은 치료후 감소하여 reciprocal contraction을 조금씩 보였다.

#### 5) 종골건 반사의 잠시 및 진폭

치료후 족부 종골건 반사의 잠시는 6주 치료 직후  $15.22 \pm 4.94$  msec로 치료전  $19.26 \pm 2.93$  msec에 비해 의의있게 감소하였고( $p<0.05$ ), 치료 종료 24시간 후  $17.25 \pm 3.54$  msec로 6주 치료 직후에 비해 증가하는 경향을 보였으나 통계학적 유의성은 없었다(Fig. 7). 치료후 종골건 반사의 진폭은 6주 치료직후  $3.87$

$\pm 2.93$  mV, 치료 종료 24시간 후  $4.04 \pm 3.66$  mV로 치료전  $5.38 \pm 3.49$  mV에 비해 의의있게 감소하였고( $p<0.05$ ), 6주 치료 직후와 치료 종료 24시간후 진폭간에 통계학적 유의성은 없었다(Fig. 8).

#### 6) 대동작 기능 평가

치료후 대동작 기능 평가는 각각의 세부 항목 즉 눕기와 뒤집기 항목, 앓기 항목, 네발기기와 무릎서기 항목, 서기 항목, 걷기 항목 모두에서 치료전에 비해 증가하였으나 치료 전후간 유의한 차이는 없었으며 총 점수에서도 통계학적 유의성은 없었다.

## 고 칠

전기자극을 이용하여 질병을 치료하고자 하는 노력은 수 세기 동안 지속되었다. Galvani는 개구리 근육을 자극하는 신경에 전기자극을 주어 근육의 수축을 유발하는 실험결과를 보고하여 전기자극을 통해 근육의 수축을 유발할 수 있다는 사실을 밝혀낸 후<sup>23)</sup>, 현재 척수손상, 뇌성마비 등의 상부운동신경원 질환에서 서기, 보행 등의 기능적 향상 뿐만아니라 근력 강화, 관절 구축의 감소, 자발적 근육수축 유발, 신경인성 방광치료, 육창의 예방 및 치료, 심부정맥혈전증의 예방, 동통의 감소 및 경직의 감소 등 많은 분야에서 광범위한 연구가 지속되고 있다<sup>34)</sup>.

경직에 대한 경피적 전기자극의 연구에서 Bajd 등<sup>23)</sup>과 Shindo과 Jones<sup>29)</sup>는 경직감소를 보고하였으나, Barr 등<sup>31)</sup>은 대퇴사두근에 전기자극을 주었을 때 경직을 악화시킨다는 보고를 하였으며, Vodovnik 등<sup>31)</sup>은 경직의 tonic component는 감소하나 phasic component는 오히려 증가한다는 보고를 하였다. 이와 같이 전기자극의 경직에 대한 효과는 매우 다양하게 보고되고 있는데 Yarkony 등<sup>34)</sup>은 연구마다 다른 결과에 대해 여러 가지 원인을 기술하였다. 첫째 경직 정도의 평가가 어렵고 많은 연구에서 주관적 경직 척도를 사용하였고, 둘째 많은 연구가 적은 수의 환자를 대상으로 하였고, 셋째 각각의 연구가 서로 다른 전기자극 방법, 치료기간, 주파수, 강도, 자극기간, 자극근육을 이용하였기 때문이라고 하였다. 본 연구에서는 임상에서 간단하게 사용되는 modified Ashworth scale, 수동적 관절운동범위 등 이학적 검사방법과 경직정도를 구체적으로 정량화할 수 있는 신장반사 홍분도 검사와 경직의 phasic component를 측정할 수 있는 종골건 반사 등 다양한 측정방법을 이용하여 16명의 뇌성마비 환아에서 전기자극치료의 경직에 대한 효과를 알아보았다.

Edel 등<sup>10)</sup>은 1973년 15명의 뇌성마비 환아를 대상으로 0.75 Hz의 저주파수의 전기자극후 경직의 감소를 보고하였고, 1987년 Logan<sup>22)</sup>은 TENS을 시행하여 생리적 비용지수(physiological cost index)의 감소가 나타남을 관찰하여 전기자극이 경직 감소에 효과가 있다고 하였고, 1994년 Hazlewood 등<sup>12)</sup>은 전경골근에 전기자극후 족부 관절 운동범위의 향상을 보고하였다. 이런 결과는 본 연구의 방법상 적절적인 비교에 어려움이 있으나, 치료후에 호전된 modified Ashworth Scale, 신장반사 홍분도 검사의 gain과 종골건 반사 진폭의 의의있는 감소, 수동적 족관절 운동 범위와 ankle dexterity의 의의있는 증가를 보인 본 연구와 일치된 결과를 보였다. 한편 본 연구에서는 종골건반사의 잠시가 치료전에 비해 치료직후 의의있게 감소하였다. 이는 경직이 종골건반사에는 큰 영향을 미치지 않는 점, 환아 대부분이 자극부위의 온열감을 호소한 점을 미루어 경직의 phasic component의 증가보다는 Clemente 등<sup>7)</sup>의 보고와 같이 전기자극후 혈류량의 증가로 자극부위의 체온이 상승하여 신경전도 속도가 빨라졌기 때문으로 생각한다.

전기자극치료후 경직의 감소는 전기자극후 신경전달 물질의 고갈<sup>18)</sup>, 굴곡반사의 감소<sup>8)</sup>, Ia fiber의 지속된 과분극<sup>4)</sup>, 척수내 억제성 기전의 활성화<sup>20)</sup>등 저자에 따라 다양한 기전으로 설명하고 있는데 본 연구에서는 전기자극 치료기간이 길어짐에 따라 경직의 감소가 더욱 증가하였다는 점, 족관절 능동적 움직임을 측정하였을 때 치료전에 보였던 전경골근과 비복근의 동시수축이 감소된 점 및 치료종료후 1일후에도 치료전에 비해 의의있게 경직이 감소된 점을 미루어 상운동원내에서 억제성 신경원의 활성화 또는 재조합<sup>25)</sup>에 의한 것으로 생각한다. 그러나 본 연구에서는 전경골근과 비복근을 상호 교대로 자극하였기 때문에 경직근의 자극에 의한 결과인지, 경직 길항근의 자극에 의한 것인지 구분할 수 없는 제한점이 있어 향후 이에 대한 연구가 필요하리라 생각된다.

Walker<sup>33)</sup>는 다발성 경화증 환자에서 왼관절에서 척골신경과 정중신경을 자극하여 반대쪽 족관절 간대의 감소를 보고하여 다른 부위에서도 그 영향이 있다고 하였고 이를 centrifugal inhibition에 의한 것으로 설명하였다. 본 연구에서는 전기자극을 시행한 족저굴곡근의 경직의 감소뿐만 아니라 슬관절 굴곡근의 경직이 감소되는 것을 관찰할 수 있어 Walker<sup>33)</sup>와 비슷한 결과를 얻었다. 이는 centrifugal inhibition에 의한 것이거나 비복근의 슬관절 굴곡근으로서의 작용때문으로 생각한다<sup>15)</sup>.

본 연구에서는 치료 6주째의 족저굴곡근의 경직이 치료 2주째의 경직에 비해 통계학적 의의 있게 감소함을 관찰할 수 있었는데 이는 본 연구와 비슷한 전기자극을 이용한 Shindo과 Jones<sup>29)</sup>가 전기자극 치료기간이 증가함에 따라 경직의 감소 정도가 증가한다는 보고와 일치하였으나 Robinson 등<sup>28)</sup>은 상반된 결과를 보고하였는데, 이들은 척수손상 환자에서 전기자극 치료직후 경직의 감소는 있었으나 치료 4주째부터 다시 경직이 증가하여 치료 8주째는 전기자극 치료전과 비슷한 경직을 보였는데 이것은 전기자극에 의한 경직 감소의 효과를 균력의 증진 효과가 상쇄하였기 때문으로 설명하였다.

이월 효과(carry-over effect)는 전기자극 직후 나타나는 경직 감소 효과와 수의적 조절능력의 증가가 한동안 지속되는 것으로 그 지속 기간에 대해서는 연구마다 다른 보고를 하고 있다. Robinson 등<sup>28)</sup>은

약 20분가량, Lee 등<sup>18)</sup>은 평균 8시간동안 그 효과가 유지된다고 하였으며 Shindo와 Jones<sup>19)</sup>는 6주간의 전기자극 치료후 효과가 78시간 이상 유지되었다고 보고하였다. 본 연구에서는 전기자극에 의한 경직 감소가 치료 종료 24시간 후에도 유지되는 이월 효과를 관찰할 수 있었는데 이는 Shindo와 Jones<sup>19)</sup>의 보고와 비슷하였다.

뇌성마비 환아에서 전기자극치료가 기능에 미치는 영향에 대해 Dubowitz 등<sup>9)</sup>은 저주파수의 전기치료후 근력 및 보행 패턴의 향상을 보고하였고 Carmick<sup>5)</sup>은 35 Hz 주파수의 전기자극후 같은 결과를 보고한 바 있으며 Miyazaki 등<sup>24)</sup>은 기능적 전기 자극과 작업 치료를 동시에 시행하여 기능의 향상을 보고 하였으나, Leyendecker<sup>19)</sup>는 신경 발달 치료와 병행하여 전기자극 치료를 시행하였을 때 신경발달 치료만 한 군과 큰 차이가 없다는 상반된 보고를 하였다. 본 연구에서는 대동작기능 평가상 기능이 향상되는 경향을 보이기는 하였으나, 치료 전후간의 차이가 통계학적 의의가 없었는데 이는 대상환아 16명중 7명이 경직성 사지마비로 중증의 장애를 가진 환아가 많았고 전기자극 치료기간이 6주로 길지 않은 기간이었기 때문으로 사료된다.

이상과 같이 본 연구에서는 뇌성마비 환아 16명을 대상으로 전기자극 치료를 시행하여 경직의 감소와 치료후에도 경직의 변화가 24시간 지속되는 이월 효과가 있었음을 알 수 있어 향후 경직의 치료에 있어 이와 같은 치료방법을 이용 할 수 있으리라 사료된다. 그러나 본 연구는 대조군이 없는 one-group paired design의 한계점이 있었으며, 전기 자극 치료에 의한 경직의 감소 기전과 이월 효과의 기간을 정확하게 평가하지 못한 한계점이 있어 향후 case-control design에서의 보다 장기적 관찰과 경직 감소 기전을 밝히기 위한 실험적 연구가 필요하리라 사료된다.

## 결 론

만 6세부터 만 11세까지 16명의 뇌성마비 환아를 대상으로 주파수 30 Hz, 자극 기간 250  $\mu$ sec, 수축시간 4초, 이완시간 12초, 육안으로 근육의 수축이 관찰되는 정도의 자극 강도로 6주간 비복근과 전경골근을 상호 교대 전기 자극 치료를 시행하여 다음과 같은 결

과를 얻었다.

1) Modified ashworth scale, 신장반사 홍분도 검사의 gain, 종골전 반사 진폭이 6주 치료후 유의하게 감소하였고, 수동적 족관절 운동 범위와 능동적 움직임을 나타내는 ankle dexterity가 치료전에 비해 6주 치료 직후에 통계학적으로 의의있게 증가하여, 6주간의 전기 자극 치료는 경직을 감소시키는 것으로 나타났다.

2) 6주 치료 직후 경직이 감소한 환아에서 치료 종료 24시간후에도 경직의 감소는 유지되었다.

3) 경직이 통계학적으로 의의있게 감소했음에도 불구하고 대동작기능평가을 이용한 기능 평가상 치료 전후의 차이는 없었다.

이상의 결과로 보아 뇌성마비 환아에서 전기자극 치료는 경직의 감소에 도움을 주며, 향후 이월 효과가 1일후 언제까지 지속되는 지에 대한 연구가 필요할 것으로 생각하며, 전기자극이 경직을 감소시키는 기전을 밝히고 다른 경직 감소를 유발하는 치료 방법과의 비교가 필요하다고 생각한다.

## 참 고 문 현

- Allison SC, Abraham LD, Petersen CL: Reliability of modified ashworth scale in the assessment of plantar flexor muscle spasticity in patients with traumatic brain injury. *Int J Rehabil Res* 1996; 19: 67-78
- Bajd T, Gregoric M, Vodovnik L, Benko H: Electrical stimulation in treating spasticity resulting from spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1985; 66: 515-517
- Barr FMD, Moffat B, Bayley JIL, Middleton FRI: Evaluation of the effects of functional electrical stimulation on muscle power and spasticity in spinal cord injury patients. *Clin Rehabil* 1989; 3: 17-22
- Buchwald JA, Halas ES, Sharman S: Progressive change in efferent unit responses to repeated cutaneous stimulation in spinal cats. *J Neurophysiol* 1965; 29: 200-215
- Carmick J: Clinical use of neuromuscular electrical stimulation for children with cerebral palsy. I: Lower extremity. *Phys Ther* 1993; 73: 505-513

- 6) Carpenter EB, Seitz DG: *Intramuscular alcohol as an aid in management of spastic cerebral palsy*. *J Pediatr Orthop* 1980; 22: 497-501
- 7) Clemente FR, Maltlionis DH, Barron KW, Currier DP: *Effect of motor neuromuscular electrical stimulation on microvascular perfusion of stimulated rat skeletal muscle*. *Phys Ther* 1991; 71: 394-404
- 8) Dimitrijevic MR, Nathan PW: *Studies of spasticity in man. 4. Changes in flexion reflex with repetitive cutaneous stimulation in spinal man*. *Brain* 1970; 93: 743-768
- 9) Dubowitz L, Finne N, Hyde SA, Scott OM, Vrbova G: *Improvement of muscle performance by chronic electrical stimulation in children with cerebral palsy*. *Lancet* 1988; 1: 587-588
- 10) Edel H, Guldenring H, Hentschel R, Jacobi F, Lange A: *Results of electrical stimulation therapy of spasticity in cerebral paralyses*. *Deutsche Gesundheitswesen* 1973; 28: 178-180
- 11) Greene WB, Dietz FR, Goldberg MJ, Gross RH, Miller F, Sussman MD: *Rapid progression of hip subluxation in cerebral palsy following selective posterior rhizotomy*. *J Pediatr Orthop* 1991; 11: 494-497
- 12) Hazlewood ME, Brown JK, Rowe PJ, Salter PM: *The use of therapeutic electrical stimulation in the treatment of hemiplegic cerebral palsy*. *Dev Med Child Neurol* 1994; 36: 661-673
- 13) Holly RG, Barnett JG, Ashmore RG, Mole PA: *Stretch induced growth in chicken muscle: A new model of stretch hypertrophy*. *Am J Physiol* 1980; 238: 62-71
- 14) Huet de la Tour E, Tardieu C, Tabary JC, Tabary C: *Decrease of muscle extensibility and reduction of sarcomere number in soleus muscle following a local injection of tetanus toxin*. *J Neurol Sci* 1979; 40: 123-131
- 15) Jenkins DB: *Hollinshead's functional anatomy of the limbs and back*. 6th ed, Philadelphia: W.B. Saunders, 1991, pp283-305
- 16) Kurooglu R, Oh SJ: *Quantitation of tendon reflexes in normal volunteers*. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1993; 33: 347-351
- 17) Lance JW: *Symposium synopsis*. In: Feldman RG, Young RR, Koella WP, eds. *Spasticity: Disordered motor control*, Chicago: Yearbook Medical, 1980, pp 485-494
- 18) Lee WJ, McGovern JP, Duvall EN: *Cutaneous tetanizing current for relief of spasm*. *Arch Phys Med Rehabil* 1950; 31: 766-771
- 19) Leyendecker CH: *Electrical stimulation therapy and its effect on the general activity of motor-impaired cerebral-palsied children: A comparative study of the Bobath physiotherapy and its combination with the Hufschmidt electrical stimulation therapy*. *Rehabilitation* 1975; 15: 150-159
- 20) Liberson WT: *Experiment concerning reciprocal inhibition of antagonists elicited by electrical stimulation of agonists in a normal individuals*. *Am J Phys Med* 1965; 44: 306-308
- 21) Lin JP, Brown JK, Brosterstone R: *Assessment of spasticity in hemiplegic cerebral palsy II: distal lower-limb reflex excitability and function*. *Dev Med Child Neurol* 1994; 36: 290-303
- 22) Logan MP: *Spasticity reduction in spastic cerebral palsy using a TENS unit*. *Dev Med Child Neurol* 1987; 28(Suppl 55): 23
- 23) McNeal DR: *2000 year of electrica; stimulation*. In: *Functional electrical stimulation: Application in Neural Prostheses*, edited by FT Hamblet and JB Resnick, Newyork: Marcel Dekker, 1977, pp3-35
- 24) Miyazaki MH, Lourenco MI, Ribeiro Sobrinho JB, Battistella LR: *Functional electric stimulation in cerebral palsy*. *Revista do Hospital das Clínicas* 1992; 47: 28-30
- 25) Musa IM: *The role of afferent input in the reduction of spasticity: An hypothesis*. *Physiotherapy* 1986; 72: 179-182
- 26) Parker DF, Carriere L, Heberstreit H, Salsberg A, Bar-Or O: *Muscle performance and gross motor function of children with spastic cerebral palsy*. *Dev Med Child Neurol* 1993; 35: 17-23
- 27) Peacock WJ, Staudt LA: *Functional outcomes following selective posterior rhizotomy in children with cerebral palsy*. *J Neurosurg* 1991; 74: 380-385
- 28) Robinson CJ, Kett NA, Bolam JM: *Spasticity in spinal cord injured patients: 2 initial measures and long-term effects of surface stimulation*. *Arch Phys Med Rehabil* 1988; 69: 862-868
- 29) Shindo N, Jones R: *Reciprocal patterned electrical stimulation of the lower limbs in severe spasticity*. *Physiotherapy* 1987; 73: 579-581
- 30) Tardieu G, Tardieu C: *Cerebral palsy: Mechan-*

- ical evaluation and conservative correction of limb joint contracture. Clin Orthop* 1987; 219: 63-69
- 31) Vodovnik L, Bowman BR, Hufford P: *Effects of electrical stimulation on spinal spasticity. Scand J Rehabil Med* 1984; 16: 29-34
- 32) Vodovnik L, Rebersek S, Stefanovska A, Zidar J, Acimovic R, Gros N: *Electrical stimulation for control of paralysis and therapy of abnormal movements. Scand J Rehabil Med* 1988; Supp 17: 91-97
- 33) Walker JB: *Modulation of spasticity: Prolonged suppression of a spinal reflex by electrical stimulation. Science* 1982; 216: 203-204
- 34) Yarkony GM, Roth EJ, Cybulski GR, Jaeger RJ: *Neuromuscular stimulation in spinal cord injury II: Prevention of secondary complications. Arch Phys Med Rehabil* 1992; 73: 195-200
-