

척수손상환자에서 표면전기자극이 경직에 미치는 영향

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소

김 성 우 · 박 창 일 · 전 중 선
김 유 철 · 신 지 철 · 김 용 욱

= Abstract =

The Effects of Surface Electrical Stimulation on Spasticity in Spinal Cord Injured Patients

Seong Woo Kim, M.D., Chang Il Park, M.D., Joong Son Chon, M.D.
You Chul Kim, M.D., Ji Cheol Shin, M.D. and Yong Wook Kim, M.D.

*Department of Rehabilitation Medicine and Reserach Institute of Rehabilitation Medicine,
Yonsei University College of Medicine*

The current available treatment methods of spasticity are consisted of physical therapies, medications, surgeries, injections of phenol or botulinum, and electrical stimulations. The purposes of this study were to evaluate the effectiveness of surface electrical stimulation in reducing spasticity in the spinal cord injured patients, to find out carry-over effects of electrical stimulation and to find out the factors influencing the effects of the treatment.

The subjects were 10 quadriplegics with the cervical cord injuries. The electrical stimulation was applied to the antagonists of major spastic muscles of the knee joints for 2 weeks. The evaluation of spasticity were done by using the modified Ashworth scale, beats of ankle clonus, patellar tendon reflex(latency and amplitude), and relaxation index of patellar knee by pendulum test before and after treatment sessions.

The results of the study revealed no statistically significant changes in relaxation index, modified Ashworth scale, ankle clonus and the latency and amplitude of patellar tendon reflex($P < 0.05$), however there were tendencies of improvement in relaxation index and modified Ashworth scale after the stimulations. We could not find out statistically significant factors influencing the effects of the surface electrical stimulation.

Further investigations to assess the mechanism of electrical stimulation and the adequate parameters of electrical stimulation in a larger population of subjects will be needed.

Key Words: Spasticity, Spinal cord injury, Electrical stimulation

서 론

경직이란 중추신경계 손상후 나타나는 증상으로 관절의 움직임에 따라 유발되는 선전반사의 과반응 상태를 말한다. 이러한 경직은 뇌졸중 및 척수손상 환자의 대부분에서 나타나며 성공적인 재활치료에 영향을 미치는 중요한 인자로 작용한다. 경직의 치료에는 대표적으로 약물치료, 물리치료, 수술적 치료가 있으며 최근에는 페놀, 알코올 및 보툴리눔 독소에 의한 국소적 신경 차단술, 전기자극치료등이 사용되고 있다. 전기자극 치료는 1871년 Duchenne⁶⁾에 의해 처음으로 심한 경직을 갖고 있는 척수 손상 환자에게 시도되었으며 이후로 많은 학자들이 이에 대한 연구를 시행하였다. Schrider²¹⁾는 전기자극치료가 척수손상에 의한 경직의 치료에 효과가 없으며 오히려 경직을 악화시킨다는 발표를 하였고, Bowman등⁴⁾은 경직의 치료에 효과는 있지만 자극 방법과 자극 장소가 결과에 영향을 미치는 요소는 아니라고 하였다. 이후 많은 연구들이 진행되었으나 전기 치료가 경직을 효과적으로 감소시킨다는 결과에 대하여는 이견이 있는 상태이고, 또한 치료 방법이나 작용기전에 대한 의견도 정립되어 있지 않은 상태이다. 이에 본 연구에서는 척수손상환자들을 대상으로 비교적 경직에 효과가 있다고 알려져 있는 전기자극방법을 이용하여 경직의 감소에 도움을 주는 지 여부와, 경직이 감소된다면 어느 정도의 기간 동안 그 효과가 지속되는지, 또한 어떠한 요인이 치료의 결과에 영향을 미치는지에 대하여 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1) 연구 대상

대상은 1996년 6월부터 1997년 3월까지 연세대학교 의과대학 재활병원에 입원한 척수손상환자 중, 내과적 상태가 안정되고 경직의 정도가 modified Ashworth scale로 grade 1 이상이면서 이로 인해 일상동작수행(예: 자리이동, 의자차 추진)에 장애가 있는 환자 15명을 대상으로 하였다. 이 중 5명에서 치료기간 도중에 경직을 유발시키는 요인인 상기도 감염, 요로감염, 인대손상 등이 발생하여 이들은 제

외하였고, 총 10명의 환자들이 치료를 마칠 수 있었다.

2) 전기 자극 치료

전기자극 치료기는 8개의 채널로 구성되어 있고 상호 교대 자극이 가능하며 주파수, 수축시간, 이완 시간 및 자극 기간(pulse width)이 조절 가능한 치료기인 Neurotech System NT-16(BMR Co., UK)을 이용하였다. 전극은 4.5 cm×9.5 cm 크기의 표면전극(Sigmedic Inc, Netherfield, IL USA)을 이용하였으며 의자차에 앉아 있는 자세에서 활성전극을 경직을 일으키는 근육의 길항근인 대퇴사두근 또는 슬개건에 부착하였고⁶⁾ 기준 전극을 각각의 전에 부착하였다. 전기자극은 주파수 30 Hz, 자극기간 250 μ sec, 수축시간 4초, 이완시간 12초가 되도록 하였고, 자극의 강도는 육안으로 최소의 근육수축이 관찰되는 정도인 15 mA부터 50 mA로 하였다. 파형은 subpulse mode의 비대칭적 이상성 파형(biphasic waveform)을 이용하였다.^{6,19,23)} 전기자극 치료는 매일 같은 시간, 같은 장소에서 하루에 20분, 일주일에 5회, 2주간 시행하였다. 전기자극 치료를 시행하는 동안 치료의 효과에 영향을 미칠 수 있는 요소인 항경직성 약물은 전기치료 일주일전부터 용량을 변화시키지 않았고 환자가 시행하고 있던 물리치료 및 다른 재활치료들은 전기치료전과 동일하게 시행하였다.

3) 경직의 평가

경직의 평가는 modified Ashworth scale, 족간대성 경련(ankle clonus), 슬개건 반사(patellar tendon reflex)의 잠시와 진폭, 슬관절의 진자검사를 이용하였고, 전기자극 치료전과 치료직후, 치료후 1일, 2일 및 7일에 시행하였다.

Modified Ashworth scale^{4,23)}은 grade 1⁺은 2점으로 하여 grade 0부터 grade 4까지를 5단계로 나누어 점수화하였다.

족관절의 간대성 경련은²²⁾ beat수로 측정하였으며, 20회 이상의 beat가 계속되면 지속적인 상태(sustain)로 간주하여 20회로 하였다.

슬개건 반사는 compound muscle action potential (CMAP)의 잠시 및 진폭을 구하였는데^{2,13,14)} Medelec사의 Saphire Premiere 근진도 기기에 부착된 전기반사 망치(electric reflex hammer)를 이용하여 구하였다.

환자를 침대위에 양와위로 눕게 한 후 침대모서리에 측정할 다리를 걸쳐 놓고 기록 전극을 전방 상위 장골극과 슬개골을 이온선의 중간지점인 대퇴직근에 부착하여 전기반사망치를 이용하여 슬개건을 자극하였다. 같은 방법으로 30초 이상의 간격을 두고 총 10회 실시한 다음, 기록되는 CMAP의 잠시와 진폭의 평균값을 구하였다.

슬관절의 진자검사(pendulum test)⁷⁾는 환자를 검사대위에 양와위로 눕혀 대퇴부는 검사대로 지지하고 양무릎은 구부려서 무릎과 하퇴는 자유롭게 놓여 있게 한 후 검사하고자 하는 다리의 슬관절 외측에 전기측각기(P & G electrogoniometer)를 부착하여 시행하였다. 검사자가 환자의 발을 잡고 다리가 수평 자세까지 오도록 무릎을 신전시킨 다음 다리를 떨어뜨려 저항없이 진자운동을 할 수 있게 하여 전기측각기가 슬관절의 각도변화를 측정하게 된다. 또한 표면전극을 슬관절 신근과 굴근, 즉 대퇴직근과 내측슬건에 부착하여 진자운동과 동시에 발생하는 근전도 신호를 함께 기록하였다. 전기측각기와 표면전극을 이용하여 구하는 신호들은 polygraph의 일종인 MP100WSW(BIOPAC System, Inc)로 연결되어 컴퓨터 화면에 슬관절의 각도변화와 두 근육의 근전도 신호가 동시에 나타나게 된다. 진자검사의 parameter인 이완지수(RI: relaxation index)는 resting angle과 starting angle의 차이값(R_0)과 first swing값(R_1)을 이용하여 구하는데(Fig. 1), 이완지수($RI=R_1/(R_0 \times 1.68)$)로 나타나며 이값이 1보다 크거나 같으면($RI \geq 1$) 경직이 없는 상태로 간주하게 되고 1보다 작으면($RI < 1$) 경직이 있다고 할 수 있다(Fig. 2). 여기서 1.68은 저자들이 똑같은 방법으로 정상성인에서 구한 이완지수이다¹⁾. 이완지수의 측정은 30초 이상의 간격을 두

고 10회를 실시하여 구하였는데 10회 중 평균값에 2배의 표준편차값을 더한 범위를 벗어나는 값은 버리고 나머지 값들로만 평균을 구하는 방법을 사용하였다.⁷⁾ 또한 진자검사를 함께 기록한 근전도 신호를 분석하여 슬관절 신근과 굴근 중 어느 근육이 경직을 더 일으키는 근육인지 판단하여 전기치료를 경직을 일으키는 근육의 길항근에 치료할 수 있도록 하였다.

경직은 주위환경이나 날씨, 온도, 스트레스 등에 민감하게 반응하는 경우가 많으므로 가능한 이러한 요소들의 영향을 덜 받기 위하여 항상 같은 시간에 동일한 검사자에 의하여 평가하였다.

4) 통계 방법

통계분석은 PC SAS 6.04판을 이용하였으며 척수손상환자의 경직의 정도를 나타내는 지표인 modified Ashworth scale, 족간대성 경련의 횡수, 슬관절의 잠시와 진폭, 슬관절 진자검사의 이완지수의 치료전과 치료후의 변화 및 전기치료 이월효과(carry-over effect)는 repeated ANOVA measurement를 이용

Table 1. Frankel Classification of Subjects

Frankel	No. of patients
A	3
B	0
C	3
D	4
Total	10

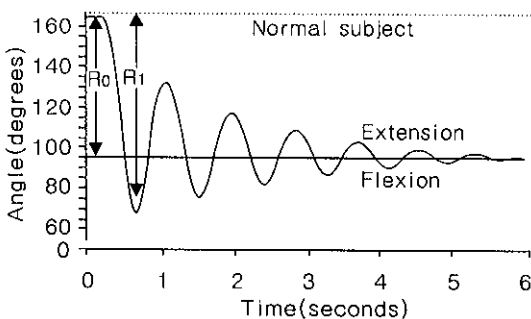


Fig 1. Pendulum test in normal adult.

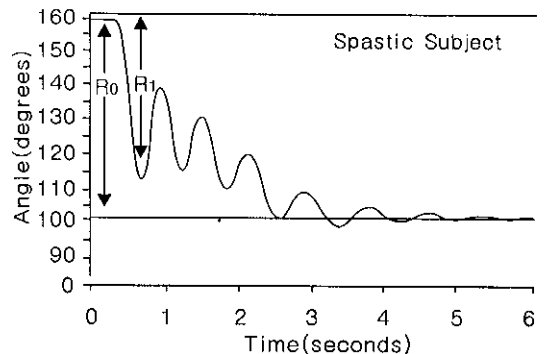


Fig 2. Pendulum test in spastic patients.

Table 2. Changes of Modified Ashworth Scale and Ankle Clonus after Electrical Stimulation

	Before	Immediate	1 day	2 days	7 days
Modified Ashworth scale	1.88±0.8	1.50±0.5	1.50±0.5	1.63±0.5	1.63±0.5
Ankle clonus (beat/min)	13.63±7.69	13.63±7.56	13.50±7.67	13.38±7.87	13.38±7.80

하였고, 치료전 전기자극의 효과에 영향을 미치는 요소인 치료전 경직의 정도, 치료전 경직의 기간, 수상후 기간 등에 대한 분석은 linear regression analysis를 이용하였다.

결 과

1) 환자군의 일반적 특성

척수손상 환자들은 남자가 7명, 여자가 3명으로 총 10명이었고 이들은 모두 경수손상으로 인한 사지마비이었다. 연령은 14세부터 59세까지로 평균연령은 33.6세이었다. Frankel 분류에 의하여 A가 3명, C가 3명, D가 4명이었고 B는 없었다(Table 1). 척수손상의 원인별로 보면 외상성이 8명, 혈관성이 1명, 염증성이 1명이었다. 척수손상 후의 기간은 4개월부터 24개월로 평균 14개월이었고 경직의 발현기간은 1개월부터 14개월까지로 평균 11개월이었다.

2) Modified Ashworth Scale

전기자극 치료후 슬관절의 modified Ashworth scale의 평균값은 치료 직후 1.5 grade, 치료 1일후 1.5 grade, 2일후 1.63 grade, 7일후 1.63 grade로 치료전 평균 1.88 grade보다 감소하였으나 통계학적 의미는 없었다($p < 0.05$)(Table 2).

3) 족관절 간대성 경련수의 변화

전기자극 치료후 족관절의 간대성 경련수의 평균값은 치료 직후 13.63 beats, 치료 1일 후 13.50 beats, 2일 후 13.38 beats, 7일 후 13.38 beats로 치료전의 13.63 beats에 비하여 감소하지 않았다(Table 2). 치료전 20회 이하의 beats수를 나타냈던 환자군에서는 치료후 감소하는 경향을 보였지만, 20회 이상이었던 군에서는 치료후에도 계속적으로 20회 이상의 beats수를 나타내어 평균값에 영향을 주지 못하였다.

Table 3. Changes of Latency and Amplitude of Patellar Tendon Reflex

	Patellar tendon reflex	
	Latency(ms)	Amplitude(μ V)
Before	14.9±2.5	1063±964
Immediate	14.7±2.5	958±839
1 day	14.9±2.5	1125±1058
2 days	15.0±2.7	1010±1161
7 days	14.9±2.7	920±863

Table 4. Changes of Relaxation Index

	Relaxation index
Before	0.67±0.22
Immediate	0.77±0.23
1 day	0.76±0.25
2 days	0.76±0.21
7 days	0.75±0.11

4) 슬개건 반사

전기자극 치료후 슬개건 반사는 CMAP의 잠시의 평균값은 치료 직후 14.7 ms, 치료 1일후 14.9 ms, 2일후 15.0 ms, 7일후 14.9 ms로 치료전의 14.9 ms에 비하여 변화는 없었다. 슬개건 반사의 CMAP의 진폭의 평균값은 치료 직후 958 μ V, 치료 1일후 1125 μ V, 2일후 1010 μ V, 7일후 920 μ V로 치료전의 1063 μ V와 비교하여 감소하는 경향을 보였으나 통계학적 의미는 없었다($P < 0.05$)(Table 3).

5) 슬관절의 진자검사

전기자극 치료후 슬관절 진자검사의 이완지수 평균값은 치료 직후 0.77, 치료 1일후 0.76, 2일후 0.76,

Table 5. Factors Influencing the Result of EST

	Correlation coefficient	P-value
Relaxation index before EST	0.409	0.211
Duration of injury	0.029	0.941
Duration of spasticity	0.586	0.881

치료 7일후 0.75로, 치료전의 0.63에 비하여 치료후 증가하는 경향을 보였지만 통계학적 의미는 없었다 ($P < 0.05$) (Table 4).

6) 치료전의 이완지수의 값, 수상후 기간, 경직의 기간등이 전기자극 치료의 효과에 미치는 영향을 알아보았으나 모두에서 의미있는 인자로 작용하지 않았다 (Table 5).

고 찰

척수손상에 의한 경직의 치료는 고전적으로 관절 운동을 포함한 물리치료, 약물치료, 수술적 치료 등이 있다. 물리치료는 대개 모든 환자에서 시행하며 약물치료는 baclofen, valium 등 여러 가지 약물이 있지만 모든 환자에서 효과가 나타나는 것은 아니며 용량의 증량과 함께 부작용도 증가함이 일반적이다. 특히 사용약물을 끊을 경우 처음보다 오히려 경직이 증가하는 경향을 보인다. 수술적 요법으로는 신경근 절단술(rhizotomy), 척수절개술(myelotomy) 등이 시행되고 있으나 보편적인 방법이 아니고 수술로 인해 야기되는 합병증이 많은 단점이 있다. 전기자극에 의한 경직의 치료는 적용방법이 간단하고 부작용이 없어 치료에 많이 사용되고 있지만 치료 방법이나 효과, 작용기전이 아직 정립되어 있지 않은 상태이다.

전기자극에 의한 경직의 치료는 1871년 Duchenne¹⁰⁾에 의해 표면적 전기자극치료의 사용이 처음 보고된 이후 많은 방법으로 그 적용이 이루어지고 있다. Richardson과 Molone¹⁹⁾이 완전 사지마비환자에게 척수의 후주(dorsal column of spinal cord)에 경막외 전기자극(epidural electrical stimulation)을 시행하여 약 90%에서 경직의 감소를 보고하였고, Barcolat-Romana 등⁸⁾의 보고에 의하면 6명의 환자에게 시술하여 모

두에게 경직의 감소가 나타났는데 3명에서는 바로 효과를 나타난 반면 나머지 3명에서는 몇시간이 지난후 효과가 나타남을 보고하여 치료 직후의 반응과 지연 반응이 있다고 보고하였다. 또 다른 방법으로 Davis¹⁰⁾가 하지마비환자에게 비골신경의 삽입적 전기자극(implanted electrical nerve stimulation)을 시도하여 경직의 상당한 감소와 함께 최고 8시간까지 하지의 사이클 운동후 목발 보행의 호전을 보고하였고, Mooney 등¹⁸⁾은 편마비환자에서 하루 15분씩 3회의 치료를 받은 군에서 장딴지근의 경직의 감소와 수의적 조절의 향상을 보고하였다.

피하조직내의 신경자극(subcutaneous electrical stimulation)도 시도되었는데 Vodovnik 등²⁴⁾에 의하면 복재신경을 자극하였을 때 동측 및 반대쪽 족관절의 간대성 경련 억제효과를 나타내었고, 정중신경과 요골신경을 자극한 후 하지쪽의 족관절 간대성 경련의 감소를 가져왔다고 하였다. 또 한편 표면 전기자극에 의한 방법은 Alfieri 등⁴⁾이 편마비환자에서 경직이 있는 근육의 길항근에 전기자극치료를 시행한후 치료직후 1시간까지의 경직의 감소를 보고하였고, Dimitrijevic 등¹¹⁾은 다발성 경화증환자에게 비골신경에 전기자극 치료후 족관절의 간대성 경련의 감소를 보고하였다. 이러한 표면 전기자극 치료는 위에 설명한 다른 방법의 전기자극 치료와 달리 비침습적이고 치료 방법이 쉬워 계속 이용되고 있지만 그 효과에 대해서는 아직 의견이 분분한 실정이다.

또한 표면 전기자극에 의한 치료는 그 적용방법에 대해서 논란이 많다. 자극 주파수^{3,19,25)}는 대부분 50 Hz 미만의 주파수로 자극을 시행하였는데 이는 정상인을 대상으로 실시한 기능적 전기자극에서 50 Hz의 주파수로 시행하였을 때 자극후 13분정도에서 근육의 피로가 나타났음을 보고한 것과 일치하여 이를 막기위해 20 Hz에서 30 Hz 사이의 저주파를 사용하였다. 자극 강도⁶⁾는 50 mA에서 100 mA까지로 자극근육이 최소수축을 일으키는 정도로 적용되었다. 본 연구에서도 위의 연구들을 토대로 30 Hz의 주파수를 사용하였고 근육의 최소수축을 일으키는 강도로 전기자극을 시행하였다. 또한 자극 전류의 방법에 대해서 Lee 등¹⁵⁾은 faradic current의 경우 평균 4시간의 효과가 나타난 반면 sinusoidal current의 경우 평균 8시간의 효과를 보임을 보고하였다. 그러나 이러한 자극의 방법에 대해서 Cook와 Nidzgoriski⁹⁾

는 자극을 하는데 있어서 일정하게 계속적으로 운동기능을 변화시킬 수 있는 자극 변수가 없기 때문에 이는 환자들에 따라 적용되어야 하고 또한 동일 환자들에 있어서도 시간에 따라 변화를 주어야 최고의 효과를 나타낼 수 있다고 하였다. 향후 여러 가지 변수를 달리하는 방법으로 연구를 시행하여 어떠한 자극방법이 가장 적절한 것인지에 대한 연구가 계속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

저자들은 경직에 대한 전기자극치료의 효과 판정은 modified Ashworth scale과 족관절의 간대성 경련의 변화, 슬개건 반사의 잠시와 진폭의 변화, 슬관절 진자검사에 의한 이완지수 변화를 측정하였다. 대부분의 연구에서 modified Ashworth scale은 치료 후 감소를 나타내었는데¹³⁾ 본 연구에서도 치료후 치료전에 비하여 감소가 나타났으나 통계학적 의미는 없었다. 간대성 경련의 변화는 Walker²⁶⁾에 의하면 경직성 하지마비 환자에서 치료후 간대성 경련의 억제효과를 나타내었다고 보고하였지만 본 연구에서는 통계학적으로 의미있는 변화는 보이지 않았는데 이는 치료전 간대성 경련이 지속적 상태이었던 환자가 많았기 때문으로 생각된다. 건반사(T-reflex)는 근방추를 직접적으로 자극하여 Ia 감각신경을 타고 주행하는 반사로 경직에 있어서 특히 phasic component를 주로 반영하는 검사라 할 수 있다. 슬개건 반사의 잠시의 변화는 Franek등¹²⁾에 의하면 경직성 하지마비환자에서 전기자극치료후 잠시가 지연되었다고 보고하였고 Hui-Chan과 Levin¹⁴⁾은 편마비 환자에서 전기자극후 H-reflex의 잠시가 지연된 것으로 보고하였으나 본 연구에서는 변화가 없었으며 진폭은 Caroline등¹³⁾의 보고와 마찬가지로 감소하는 경향을 보였으나 통계학적 의미는 없었다. 진자검사에 의한 이완지수의 측정은 이전 보고들⁷⁾에서 객관적인 경직의 평가도구로서 사용되어 왔으며 특히 중력에 의한 자극이 주어질 때 발생하는 경직을 평가하는 것이므로 경직의 tonic component를 주로 반영하는 검사라 할 수 있고 이완지수의 증가는 경직의 의미있는 감소를 나타낸다고 할 수 있겠다. 본 연구에서는 통계적 의미는 없었지만 치료전에 비하여 치료후에 이완지수가 가장 많이 증가하였고 이후 감소하는 경향을 보였지만 치료후 7일째의 검사에서도 치료전과 비교하여 증가한 상태가 유지되었다.

경직에 대한 전기자극의 치료효과는 치료후 30분에서 부터 최고 24시간까지 가장 많이 나타나는 것으로 보고되어 있으며^{14,19,25)} 대부분의 경우 24시간 이후에는 치료전과 비슷하게 경직이 나타나는 것으로 알려져 있다. 특히 치료효과가 장기간 계속되는 현상인 이월효과(carry-over effect)에 대해서는 McNeal등¹⁷⁾과 Waters²⁷⁾에 의해 기능적 및 경직의 감소를 위해 전기 자극치료를 한 후 치료효과가 지속되었다고 보고하였다. 본 연구에서 환자수가 너무 적은 탓으로 생각되는데 전기자극 치료효과에 대한 통계학적 의미는 없었지만 치료후 7일까지 그 효과가 나타난 것으로 보아 이월효과가 있는 것이 아닐까 생각해 볼 수 있겠다. 이러한 전기자극치료 효과의 기전은 일반적으로 reciprocal inhibition, Ranshow cell inhibition, decreased α -motorneuron activation등¹²⁾이 제시되고 있지만 아직 그 정확한 기전이 밝혀져 있지 않은 상태이다.

전기자극치료를 영향을 미치는 인자들에 대해서는 Vodovnik등^{24,25)}은 치료전 가장 경직이 심한 군과 강직성 경직이 많이 일어나는 환자군에서 보다 많은 경직의 감소가 있다고 했다. Thomas등²²⁾은 치료전 간대성 경련이 가장 많이 일어났던 환자에서 치료 효과가 가장 많이 나타난다고 했으며, Robinson등²⁰⁾은 손상의 위치가 치료효과에는 아무런 영향을 미치지 못한다고 보고하였다. 본 연구에서도 치료전 경직의 정도, 수상후 기간, 경직의 기간이 경직의 감소에 미치는 영향을 알아보았으나 통계학적으로 의미있는 인자는 발견할 수 없었다.

본 연구에서 척수손상에 의한 경직성 사지마비환자의 경우 전기자극이 경직의 감소에 영향을 미친 것으로 생각되나 그 효과는 통계학적 의미는 없었다. 이는 본 연구방법상의 한계점으로 인한 것으로 대상 환자수가 10명으로 매우 적은 수이었고, 또한 대조군이 없는 상태에서 연구를 진행하였기 때문으로 생각된다. 앞으로 더욱 많은 환자를 대상으로 그 효과를 알아보아야 하겠고, 또한 치료시 가장 많은 효과를 나타낼수 있는 자극 방법 변수의 결과와 이 효과가 얼마나 오래 지속되는지의 이월효과, 그리고 치료효과에 영향을 미치는 인자들에 대해 더욱 많은 연구가 이루어져야 된다고 생각한다.

결 론

본 연구의 결과, 전기자극이 척수손상 환자에서 경직을 감소시킨다는 결론을 내리기는 어려우나 다소 호전시키는 경향을 보였으므로, 향후 더 많은 수의 환자들을 대상으로 자극방법과 부위를 달리하는 연구를 시행하여 전기자극과 경직과의 상관관계를 정립하려는 노력이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 김성우, 전중선, 박창일, 최은희: 정상성인의 슬관절 진자검사. 대한재활의학회지 1996; 20: 735-740
- 2) 전중선, 박창일, 김성우, 강종권, 박주해: 한국 정상 성인 Tendon reflex의 정량적 분석. 대한재활의학회지 1996; 20: 741-747
- 3) 정호중, 권도철, 박인산: FES시 자극주파수 차이에 따른 근육의 반응효과에 대한 연구. 대한재활의학회지 1993; 17: 95-99
- 4) Alfrieri V: Electrical treatment of spasticity: Reflex tonic activity in hemiplegic patients and selected specific electrostimulation. Scand J Rehabil Med 1982; 14: 177-183
- 5) Allison SC, Abraham LD, Petesen 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
- 6) 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
- 7) Bajd T, Vodovnik L: Pendulum testing of spasticity. J Biomed Eng 1984; 6: 9-16
- 8) Barcolat-Romana G, Myklebust JB, Hemmy DC, Myklebust M, Weninger W: Immediate effect of spinal cord stimulation in spinal spasticity. J Neurosurg 1985; 62: 558-562
- 9) Cook AW, Nidzgorzski F: Spinal cord stimulation in multiple sclerosis. IEEE Eng Med Biol Mag 1984; 3: 34-38
- 10) Davis R: Spasticity following spinal cord injury. Clin Ortho Rel Res 1975; 112: 66-75
- 11) Dimitrijevic MR, Dimitrijevic MM, Faganel J, Shewood AM: Suprasegmentally induced motor unit activity in paralyzed muscle of patients with established spinal cord injury. Ann Neurol 1984; 16:216-221
- 12) Franek A, Turczynski B, Opera J: Treatment of spinal spasticity by electrical stimulation. J Biomed Eng 1988; 10: 266-271
- 13) Goulet C, Arsenault B, Bourbonnais D: Effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on H-reflex and spinal spasticity. Scand J Rehabil Med 1996; 28: 169-175
- 14) Hui Chan CW, Levin MF: Stretch reflex latencies in spastic hemiplegic subjects are prolonged after transcutaneous electrical nerve stimulation. Can J Neurol Sci 1993; 20: 97-106
- 15) Lee WJ, McGovern JP, Duval EN: Continuous tetanizing(low voltage) current for relief of spasm. Arch Phys Med Rehabil 1950; 31: 766-770
- 16) Levine MG, Knott M, Kabat H: Relaxation of spasticity by electrical stimulation of antagonist muscles. Arch Phys Med Rehabil 1952; 33: 668-673
- 17) McNeal DR: Peripheral nerve stimulation-superficial and implanted. In Fields S, Leavitt LA(eds): Neural organization and its relevance to prosthesis, New York: International Medical Book Corp, 1973, p77
- 18) Mooney V, Wileman E, McNeal DR: Stimulator reduces spastic activity. JAMA 1969; 207: 2199-2200
- 19) Richardson RR, McLone DG: Percutaneous epidural neurostimulation for spasticity. Surg Neurol 1978; 9: 153-155
- 20) Robinson CJ, Kett NA, Bolam JM: Spasticity in spinal cord injured patients: Short-term effect of surface electrical stimulation. Arch Phys Med Rehabil 1988; 69: 598-604
- 21) Schrider WJ: A manual of electrotherapy, New York: Lea & Febiger, 1975, p196
- 22) Seib TP, Price R, Reyes MR, Lehmann JF: Quantitative measurement of spasticity: Effect of cutaneous electrical stimulation. Arch Phys Med Rehabil 1994; 75: 746-750
- 23) Sloan RL, Sinclair E, Thompson J, Taylor S, Pentrand B: Inter-rater reliability of the modified Ashworth scale for spasticity in hemiplegic patients. Int J Rehabil Res 1992; 15: 158-161
- 24) Vodovnik L, Bowman BR, Hufford P: Effect of electrical stimulation on spinal spasticity. Scand J Rehabil Med 1984; 16: 29-34
- 25) Vodovnik L, Bowman BR, Hufford P: Effect of electrical stimulation on spinal spasticity. Scand J Rehabil Med 1986; 16: 29-34
- 26) Walker JB: Modulation of spasticity: prolonged suppression of a spinal reflex by electrical stimulation. Science 1982; 216: 203-204
- 27) Waters RT: Enigma of carry-over effect. Int Rehabil Med 1984; 6: 9-12