

# 신경근전기자극이 흰쥐 골격근의 미세구조에 미치는 영향

박장성

(서남대학교 물리치료학과)

박천만

(계명대학교 공중보건학과)

## Effect of Neuromuscular Electrical Stimulation(NMES) on the Ultrastructure of Skeletal Muscle in Rats

Park, Jang Sung, P.T., Ph.D.

*Department of Physical Therapy, Seonam University*

Park, Chun Man, Ph.D.

*Department of Public Health, Keimyung University*

### ABSTRACT

This study conducts electrical stimulation to male white rat of Sprague-Dawley which is 7 weeks, has the weight of 240 g and is seemingly healthy for one or two weeks by means of neuromuscular electrical stimulator in order to examine the effects of neuromuscular electrical stimulation on its gastrocnemius, measures change of weight of gastrocnemius, serum and enzyme activity and then obtains the following conclusions.

There is little difference in AST and CPK of weight and serum of gastrocnemius after one or two weeks of conducting neuromuscular electrical stimulation in all experimental groups.

On the one hand, as a result of histochemical observation, NMES I group showed hypertrophy of perimysium and increase of sectional diameter of muscle fiber compared to comparison group, but NMES II group showed a similar result to comparison group.

When ultrasubstructure was observed under electron microscope, I-type muscle fiber of NMES I group showed well-arranged mitochondria and it was similar to comparison group. II-type muscle fiber showed a large quantity of glycogen granules within sarcoplasmic and the extension of luminal of T-tubule.

I-type muscle fiber of NMES II group had small mitochondria and showed the vacuolar degeneration of mitochondria and extended T-tubule. II-type muscle fiber showed the extension of agranule cytoplasmic reticulum with T-tubule and the reduction of amount of glycogen granule within partial sarcoplasmic.

**Key Word** : Neuromuscular Electrical Stimulation(NMES); Ultrastructure; Skeletal Muscle

## 1. 서론

근육은 수축성을 특징으로 하며 수축과 이완에 알맞은 미세섬유가 일정한 형태로 배열되어 있고, 그 조직의 형태나 기능에 따라서 크게 평활근, 심장근, 골격근 등으로 구분할 수 있다(Moore, 1985). Brook와 Kaiser(1970)는 골격근을 Type I, Type IIa, Type IIb로 각각 분류하고 있다. 이들 근섬유(muscle fiber)는 동물의 종과 근육의 종류에 따라 분포양상이 다르며, 연령에 따라서도 분포양상이 달라

진다(Ariano et al., 1973; Armstrong과 Phelps, 1984; Beerman et al., 1977). 주로 자세를 유지하는 근육과 같이 오랜 시간 수축을 해야하는 근육에는 I형 섬유가 많이 분포되어 있고, 신체의 위치를 변동시키는데 주된 작용을 하는 근육에는 II형 섬유가 우세하게 분포되어 있다. 따라서 I형 섬유는 경련에 저항하는 길항적 작용을 하고, II형 섬유는 빠른 근육 경련에 반응한다. 또한 I형 섬유는 세포질 내에 많은 양의 마이오글로빈과 사이토크롬을 가지고 있어 생체에서 암적색을 띠고, 수축속도는 비교적 느리나 지속적인 운동에 관여하고 있으며, 수축에너지

는 주로 산화적 인산화반응에 의존한다. II형 섬유는 I형 섬유보다 마이오글로빈과 싸이토크롬, 사립체 등의 함량이 적으나 근육세포의 굵기는 더 크며, 빠르게 수축하나 쉽게 피로해져 지속적인 운동에는 약하며, 수축에너지를 산소가 필요 없는 혐기적 해당작용으로부터 공급받는다(Fredericks와 Saladin, 1996).

근육은 운동 또는 훈련에 의하여 총단백질량이 증가되나, 활동을 중지하게 되면 반대로 감소되는 것이 일반적인 현상이다. 침상안정, 비활동, 사지와 체간부의 석고붕대적용 및 질병이나 신경절단에 의한 신경지배의 상실 등으로 근육사용이 저하된 경우 골격근 질량이 감소되며, 1주간 정도의 근육사용을 중지하여도 근육의 크기와 무게가 현저하게 줄어든다(Alley와 Thompson, 1997)고 하였으며, 이러한 비활동성 위축(disuse atrophy)에서는 특히 수축성 단백질의 함량이 현저하게 감소하며 근섬유 내의 지방량은 오히려 증가하게 된다(Guyton과 Hall, 1996)고 보고하고 있다.

일반적으로 근위축(muscle atrophy)은 세포질의 상실로 세포의 크기 및 기능이 감소되는 것을 말한다. 그러나 근위축은 가역적인 변화로 세포의 기능이 저하된 상태이지만 근육세포가 정상적인 상태로 환원되면 위축된 세포는 크기, 단백질 합성 등과 수축능력 등의 특수한 기능이 원래 상태로 회복된다(Guyton과 Hall, 1996)고 하였고, 박상준 등(1999)과 Hickson 등(1986)은 스테로이드로 인한 근위축이 트레드밀 훈련에 의해 II형 섬유에서 경감되었음을 보고하였다. 한편,

최근 신경근육계 질환 치료에 물리치료가 많이 이용되고 있으며, 이러한 근위축 개선을 위한 물리치료 중에는 신경근전기자극이 널리 이용되고 있다(Currier와 Mann, 1983; Greathouse et al., 1986). 특히 Lieber(1988)와 Pette(1984)는 전기자극에 의해서 골격근의 생리·조직학적 변화가 초래된다고 하였으며, 또한 Starnes 등(1987)은 실험동물의 비복근에 전기자극을 가하였을 때, 단백질합성이 증가하였음을 보고하였다.

신경근전기자극(neuromuscular electrical stimulation; NMES)은 정상적으로 신경지배를 받는 근육에 대한 전기자극을 뜻하며, 골격근은 활동양상과 훈련에 따라 근육의 특성이 변화되어 적응하는 능력이 있고, 골격근의 근섬유비율은 고정된 것이 아니고 전기자극에 따라 근섬유형이 변화한다(Alley와 Thompson, 1997). Sinacore 등(1990)은 II형 섬유가 우세한 내측광근을 전기자극을 실시한 결과 I형 섬유가 우세한 분포로 변하여 전기자극에 의해 II형 섬유가 I형 섬유로 변화함을 보여 주었다. 임상에서 NMES는 등척성운동을 유발하기 위해 관절을 고정된 상태에서 근육의 수축과 이완을 유도하는데 이용된다. NMES의 영향 중 근섬유형의 조직화학적 변화(histochemical change)가 초래되며, 이러한 전기자극에 의하여 II형의 속근 섬유가 I형인 완근 섬유의 특성을 띠게 된다(박래준 등, 1990). 또한 근섬유의 생리학적 변화(physiological change)로는 수축지구력(contractile endurance)이 현저히

증가되고 근피로에 대한 저항이 증가한다(Kernell et al., 1987). Cabric 등(1988)은 19일 동안 NMES를 근육에 적용한 결과 근섬유 및 근핵의 크기와 사립체의 크기 등 근육의 형태학적 변화를 보고하였으며, Salmons(1980)는 II형 섬유에 장기간 전기자극을 하면 I형 섬유에 서처럼 사립체의 수가 증가한다고 하였다. Starnes 등(1987)은 흰쥐의 비복근에 전기자극을 가하여 근수축을 유발시킨 결과 단백질합성능이 증가함을 관찰하였고, 이재형 등(1990)은 흰쥐의 비복근에 30 pps의 맥동빈도와 최대하강도의 근수축으로 10초 자극하고 50초 휴식하는 방법으로 전기자극을 가했을 때, 단백질합성능이 증가됨을 보고하였다. 또한 Delitto 등(1988)은 NMES를 적용한 결과 대퇴부 근육의 등척성 운동능력과 근력 및 대퇴부의 둘레가 증가하였고, 환자의 경우 재활의 기간이 더욱 단축되었다고 보고하였다. 이러한 결과 등은 NMES가 임상적으로 근육위축을 회복하는데 유효하고 근육손상 시 회복시간을 단축시킬 뿐만 아니라 근위축도 예방할 수 있음을 시사하고 있다.

이에 본 연구에서는 신경근전기자극이 골격근에 어떠한 영향이 미치는지를 형태학적 관찰과 전자현미경을 통한 미세구조의 변화를 관찰하여 보고자한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 동물 및 처치

실험동물은 240 g 내외의 Sprague-Dawley 종 흰쥐 수컷을 대한실험동물센터(Korea)로부터 구입한 후 사육실의 일정조건(온도:  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ , 상대습도:  $50\pm 5\%$ )을 유지시켰으며, 명암주기는 자연광주기로 1주일 동안 적응시켜 실험에 사용하였다. 실험군과 대조군은 각각 6 마리씩 분리 수용하였으며 실험기간동안 물과 사료(삼양사)의 양은 제한 없이 공급하였다.

각 실험군은 각 12 마리씩 총 3군으로 구분하였다. 즉 대조군, NMES I 군, NMES II 군으로 구분하였다.

신경근전기자극기(Dynatens 301, Korea)는 실험동물의 오른쪽 뒷다리 비복근(gastrocnemius muscle)의 기시점(origin)과 정지점(insertion)에 침전극(직경: 0.25 mm, 길이: 30 mm)을 근육 내에 삽입하여 전극(electrode)에 연결하여 근육군(muscle group)을 자극하는 양극배치방법(bipolar technique)으로 실시하였다.

한편 NMES I 군의 자극조건은 맥동전류(pulsed current)를 이용하였고, 파형(wave form)은 대칭이상성 직사각형파(symmetric biphasic rectangular wave), 맥동빈도(pulsed frequency)는 30 pps, 맥동기간(pulsed duration)은 50  $\mu\text{s}$ , 경사시간(ramp rise time)은 1 sec, 단속시간비(on-off ratio)는 1:3 비율로써 자극시간

(on time) 6초와 휴식시간(off time) 18초, 자극강도(intensity)는 최대하 근수축(submaximum muscle contraction)이 일어나는 정도, 치료시간(treatment time)은 15분으로 하였다(이재형, 1995; Starnes et al., 1987).

NMESⅡ군의 자극조건은 맥동전류를 이용하였고, 파형은 대칭이상성 직사각형파, 맥동빈도는 30 pps, 맥동기간은 50  $\mu$ s, 경사시간은 0.5 sec, 단속시간비는 1:5 비율로써 자극시간 6초와 휴식시간 30초, 자극강도는 최대 근수축(maximum muscle contraction)이 일어나는 정도, 치료시간은 15분으로 하였다.

실험동물의 처치는 대조군을 포함하여 각각의 실험군은 실험시작 1주 후에 각각 6마리씩 18마리를 희생하였고, 실험2주 후에 각각 6마리씩 18마리를 ether 마취 하에 심장으로 부터 채혈하여 실험사 시켰다. 희생된 동물로부터 우측 하퇴부위를 절개하여 비복근의 기시부와 정지부를 따라 적출하였다. 적출한 근육은 생리식염수로 씻은 후 여지로 압박하여 근육 내에 남아있는 생리식염수를 가능한 모두 제거한 다음 비복근의 무게를 balance(CHYO, JL-180)에서 측정하였으며, 상대근 무게는 근육절제 직전 체중에 대한 비복근의 절대무게 비율로 산출하였다. 채취한 혈액은 실온에서 30분간 방치한 다음 3,000 rpm에서 15분간 원심분리하여 혈청을 얻어 creatine phosphokinase, aspartate aminotransferase 측정용 시료로 사용하였다.

## 2. 생체물질 측정

### 1) CPK 활성화도

CPK의 활성화도 측정은 심장으로 부터 채혈한 후 혈청을 분리한 다음 시판되는 kit(아산제약)를 사용하여 사용하였으며, spectrophotometer(UV-1601)를 이용하여 파장 560 nm에서 흡광도를 측정하였다.

### 2) AST 활성화도

AST의 활성화도 측정은 심장으로 부터 채혈한 후 혈청을 분리한 다음 조제된 kit(아산제약)를 사용하여 측정하였으며, 단위는 혈청 ml 당 Karmen unit로 표시하였다.

## 3. 현미경 관찰

### 1) 조직화학

조직의 근섬유 유형의 분포와 변화를 알아보기 위하여 NADH-diaphorase 염색을 실시하였다. 조직 적출 즉시 조직의 일부분을 액체질소에 담가 급냉시킨 다음 냉동절편기(Histostat microtome, AO)를 이용하여 10  $\mu$ m 두께로 절편한 다음, Nitro-BT, tris buffer(pH 7.4), magnesium chloride로 조제된 기질에 담가 37°C에서 30분간 반응시켜, methyl green으로 대조염색한 다음 광학현미경(Olympus, BH-2)으로 관찰하였다.

### 2) 전자현미경

조직의 미세구조 변화를 관찰하기 위하

여 비복근의 조직을 적출 즉시 1 mm<sup>3</sup> 크기로 세절하고, 2.5% glutaraldehyde(0.1 M phosphate buffer pH 7.4)로 전고정시킨 다음 0.1 M phosphate buffer(pH 7.4)로 수세한 후 1% osmium tetroxide(0.1 M phosphate buffer pH 7.4)로 1시간 동안 후고정하였다. Alcohol-propylene oxide 계열로 순차적으로 증가하는 농도에 따라 탈수시킨 다음, epoxy resin에 포매하여 블록을 제작하였다. 포매된 조직을 60~70 nm로 초박절편한 다음 uranyl acetate와 lead citrate로 이중 염색한 후 투과전자현미경(Hitachi, H-600)으로 관찰하였다.

### 3) 입체해석학적 분석

근섬유 유형의 분포양상을 알아보기 위한 근섬유의 수밀도 측정은 NADH-diaphorase로 염색된 표본을 사용하였다. 표본은 현미경하에서 100배로 촬영하고 인화한 다음 각 군당 30개의 근다발막내에 존재하는 근섬유의 수를 계수하였다.

근섬유 유형의 체적밀도, 사립체의 체적밀도와 수밀도 측정은 미세구조 관찰을 위한 표본을 이용하여 6,000배로 촬영하고 3배로 확대하여 18,000배의 사진을 얻은 다음 분석에 사용하였다. 근섬유와 사립체의 체적밀도는 10 d(d=10 mm)인 단일 격자 test grid를 사용하여 Loud 등(1978)의 방법에 의해 배치하여 박원학 등(1989)의 점계수법으로 계수하였다.

## 4. 결과의 통계처리

계수된 수치와 실험기간 동안 체중, 비복근의 무게, 비복근의 상대적 무게비율과 AST, CPK의 함량변동은 student's t-test로 하였으며, 유의수준은 0.05 이하로 하였다.

## III. 결 과

### 1. 체중변동

신경근전기자극이 기간별 체중변화에 미치는 영향을 관찰한 것은 표 1과 같다. 신경근전기자극이 기간에 따른 체중변화는 실험군과 대조군은 모두 특별한 차이를 보이지 않았다.

### 2. 비복근의 무게변동

흰쥐에 신경근전기자극을 실시하였을 때 비복근의 무게변동을 관찰한 것을 표 2에 제시하였다. 체중 당 비복근의 무게는 신경근전기자극을 실시한 실험군과 대조군 간에는 별다른 차이가 없었다.

### 3. 혈청 AST 및 CPK 활성화도 변화

흰쥐에 신경근전기자극을 하였을 때 혈청 중 AST와 CPK의 활성화 변동을 관찰

**Table 1.** Effect of NMES on the body weight in rats (unit: g)

Week	Group		
	Control	NMES I	NMES II
0 week	235.58±24.79	238.00±32.37	237.50±33.04
1 week	254.50±10.72	253.50± 8.58	249.25± 8.46
2 week	264.17± 5.42	263.00± 4.24	248.00± 2.83

Values are mean±SD of 6 rats.

NMES I: Group with neuromuscular electrical stimulation I

NMESII: Group with neuromuscular electrical stimulation II

**Table 2.** Effect of NMES on the weight(wt) of GCM in rats

Groups	Parameter	1 week		2 weeks	
		GCM wt(g)	GCM(%)	GCM wt(g)	GCM(%)
Control		1.87±0.06	0.71±0.01	1.85±0.10	0.70±0.04
NMES I		1.92±0.03	0.74±0.01	1.85±0.10	0.70±0.05
NMESII		1.76±0.08	0.69±0.01	1.71±0.06	0.69±0.02

Values are mean±SD of 6 rats.

GCM(%): GCM wt/body wt×100

GCM: Gastrocnemius Muscle

Other abbreviations are same as described in Table 1.

**Table 3.** Effect of NMES on the AST and CPK in rats

Groups	Parameter	1 week		2 weeks	
		AST	CPK	AST	CPK
Control		35.33±4.37	319.44±115.59	35.66±4.91	319.26±115.80
NMES I		28.96±5.40	253.89± 98.99	29.92±0.97	247.22± 96.64
NMESII		29.37±2.90	294.17±153.60	36.75±3.67	309.44± 54.21

Values are mean±SD of 6 rats.

AST: Asparate aminotransferase

CPK: Creatine phosphokinase

Other abbreviations are same as described in Table 1.

한 것을 표 3에 제시하였다.

신경근전기자극을 실시한 경우 실험군과 대조군의 AST 및 CPK 활성도는 모두 대체적으로 다소 감소하는 경향을 보였으나 통계적인 의의는 없었다.

#### 4. 현미경 관찰

##### 1) 비복근의 조직화학적 관찰

NADH-diaphorase 염색 결과, 정상군의 모습은 근육속막은 구분하기 힘들 정도로 밀착되어 있었으나, 근육다발막은 쉽게 구분되어 관찰되었다(Fig. 1a). 실험 1주 후

NMES I 군(Fig. 1b)은 근육다발막이 대조군과 비교하여 약간 비후된 모습이었으나, NMES II 군(Fig. 1c)에서는 대조군과 유사한 모습으로 관찰되었다.

##### 2) 비복근의 미세구조 관찰

비복근의 근세포 내 I형 및 II형의 근섬유는 뚜렷하게 구분할 수 있었다. I형은 근원섬유들 사이에 많은 수의 사립체들이 근원섬유의 장축을 따라 조밀하게 배열되어 있었으며, A-I 접합부로 잘 발달된 가로소관이 관찰되었다. 가로무늬를 이루는 근절은 규칙적이며 Z대는 뚜렷이 구분되었고, 근형질 내 당원과립은 거의 관찰되지 않았다(Fig. 2a). II형 근섬유에서는 근원섬유들 사이로 늘어선 사립체의 모습은 관찰되지 않았고, A-I 접합부로 잘 발달된 가로소관이 관찰되었다. 그리고 Z대는 인접 근원섬유의 Z대와 일직선

상에 배열되어 있었고, Z대 사이에 당원과립이 밀집되어 있었다(Fig. 2b).

NMES I 군의 I형 근섬유는 근원섬유의 장축을 따라 사립체의 배열이 잘 이루어진 모습으로 관찰되어 대조군과 유사하였다(Fig. 3a). II형 근섬유의 경우 많은 양의 당원과립이 근형질 내에서 관찰되었으며, 가로소관의 내강이 확장된 모습으로 나타났다(Fig. 3b).

NMES II 군의 I형 근섬유에서는 근원섬유의 장축을 따라 배열된 사립체의 크기가 작았으며, 사립체의 공포변성과 확장된 가로소관의 모습이 관찰되었다(Fig. 4a). II형 근섬유에서는 가로소관과 함께 무과립세포질세망의 내강이 확장된 형태로 관찰되었으며, 일부 근형질 내 당원과립이 양이 감소된 모습을 보였다(Fig. 4b).

##### 3) 입체해석학적 분석

###### ① 근육세포 내 근원섬유의 체적밀도 변화

제 I형, 제 II형 근섬유 내 근원섬유 체적밀도 변화를 측정된 결과를 표 4에 제시하였다. 1주일간 신경근전기자극을 실시한 경우에서도 대조군과 비교하여 근원섬유의 체적밀도는 각각 14%(NMES I,  $p < 0.01$ ), 11%(NMES II,  $p < 0.05$ ) 유의하게 증가되었다. 그러나 제 II형 근원섬유의 체적밀도는 모든 실험군에서 큰 변화를 보이지 않았다.

###### ② 근육세포 내 사립체의 체적밀도 변화

제 I형, 제 II형 근섬유 내 사립체의 체적밀도 변화를 측정된 결과를 표 5에 제



**Table 4.** Effect of NMES on the volume density( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^3$ ) of myofibrils in the muscle cell of rats

Groups	Parameter	1 week		2 weeks	
		Type I	Type II	Type I	Type II
Control		0.70±0.08	0.78±0.04	0.72±0.06	0.82±0.04
NMES I		0.76±0.06	0.89±0.06 <sup>**a)</sup>	0.75±0.11	0.78±0.03
NMES II		0.73±0.08	0.87±0.03 <sup>*a)</sup>	0.73±0.06	0.78±0.02

Values are mean±SD of 6 rats.

Type I: Type I muscle cell

Type II: Type II muscle cell

Other abbreviations are same as described in Table 1.

<sup>a)</sup> Significantly different from control group

(\*; p<0.05, \*\*; p<0.01)

**Table 5.** Effect of NMES on the volume density( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^3$ ) of mitochondria in the muscle cell of rats

Groups	Parameter	1 week		2 weeks	
		Type I (unit×10)	Type II (unit×10)	Type I (unit×10)	Type II (unit×10)
Control		1.66±0.07	0.42±0.07	1.64±0.31	0.47±0.05
NMES I		1.82±0.11	0.46±0.05	2.17±0.12 <sup>*a)</sup>	0.51±0.07
NMES II		1.58±0.14	0.38±0.06	2.02±0.18 <sup>*a)</sup>	0.59±0.05

Values are mean±SD of 6 rats.

Type I: Type I muscle cell

Type II: Type II muscle cell

Other abbreviations are same as described in Table 1.

<sup>a)</sup> Significantly different from control group

(\*; p<0.05)

시하였다. 2주일간 신경근전기자극을 실시한 경우 대조군과 비교하여 사립체의 체적밀도는 각각 32%(NMES I, p<0.05), 23%(NMES II, p<0.05) 유의하게 증가되었다. 그러나 제 II 형 근섬유 내 사립체의

체적밀도는 모든 실험군에서 큰 변화를 보이지 않았다.

#### IV. 고 찰

근육은 운동에 의하여 총 단백질량이 변화한다. 신체의 비활동이나 신경절단에 의한 신경지배의 상실 등으로 근육사용이 저하된 경우 골격근 질량이 감소되며, 이러한 무용성 위축에서는 특히 수축성 단백질의 함량이 현저히 감소한다(Guyton과 Hall, 1996). 이러한 근위축의 예방과 치료에 신경근전기자극이 어떠한 영향이 미치는지 알아보고자 하였다.

본 연구에서 1주와 2주 동안 신경근전기자극을 적용하여 기간별 체중의 변동, 비복근의 무게변동 및 혈청 중 효소활성도를 측정하는 한편 근조직의 조직화학적 활성 변동과 미세구조의 변화를 관찰하였다.

일반적으로 전기자극치료는 창상치유(Brown et al., 1988), 통증완화(Salar et al., 1981), 혈류량 증진(Goats, 1990) 및 근위축 지연과 예방(Cabric, et al., 1988; Cotter와 Phillip, 1986) 등 다양한 목적으로 이용되고 있다. 본 연구에서 신경근전기자극을 지구력증진과 근력강화를 위한 방법으로 나누어 실시하였을 때, 기간별 체중과 비복근의 무게변화 또는 비복근의 상대적 무게변화는 대조군과 실험군에서 큰 차이가 없었다. 또한, 근원섬유의 체적밀도를 측정할 결과, 지구력증진 신경근전기자극 군에서는 제 I 형과 제 II 형의 근원섬유 체적밀도가 모두 증가하였고, 근력강화 신경근전기자극 군에서는 제 II 형

근원섬유의 체적밀도가 증가하는 것으로 보아 자극의 종류에 대한 차이는 나타나지 않았다. 그러나 근세포 내 사립체의 체적밀도를 측정하였을 때, 자극의 종류에 관계없이 모두 증가하였고, 그 증가폭은 지구력강화 신경근전기자극을 가한 실험군에서 크게 나타났다.

혈청 중 AST와 CPK 활성도는 본 실험 기간에서 유의한 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 장기간 근육의 활동으로 심근 및 골격근에서 효소활성도가 증가한다는 Altland와 Hioghman(1961)의 보고와는 차이가 있으나, 트레드밀에서 트레이닝을 행한 실험동물과 훈련하지 않은 실험동물의 비복근 중 총 CPK 활성도는 차이가 없다는 보고(Apple과 Billadello 1994)와 본 실험결과가 유사하였다. 이는 대상동물이 전신운동을 하지 않고, 움직이지 않는 정적인 상태에서 비복근만 선택적으로 전기자극을 행하여 등척성 수축(isometric contraction)을 시켰기 때문에 혈중 AST와 CPK 활성도에는 차이가 나타나지 않은 것으로 생각된다.

본 실험에서 나타나는 근섬유의 유형변화를 검토하기 위하여 NADH-diaphorase의 활성변동을 관찰한 결과, 지구력증진 신경근전기자극군이 근력강화 신경근전기자극군보다 제 I 형 근섬유의 수밀도가 더 높게 나타나고 있어 지구력증진 신경근전기자극이 더 효과적인 것으로 생각된다.

그리고 본 실험에서 근섬유의 미세구조변화를 관찰한 결과, 신경근전기자극으로 제 I 형 근섬유의 수밀도가 증가되었는데,

근력강화 신경근전기자극군에서 가로소관과 무과립세포질세망의 내강이 확장된 것은 근력강화 신경근전기자극에 대한 반응으로 근육의 빠른 수축에 의해 가로소관과 무과립세포질세망이 활성화된 결과로 생각한다.

이상 근섬유의 수밀도와 미세구조적 관찰 결과들을 종합해 볼 때, 신경근전기자극을 실시한 실험에서 지구력증진 신경근전기자극은 근력강화 신경근전기자극보다 제 I 형 근섬유의 체적밀도 증가와 사립체의 체적밀도 및 수밀도 증가에 더 효과적인 것으로 나타났으나, 제 II 형 근섬유의 체적밀도 회복에 있어서는 근력강화 신경근전기자극과 지구력증진 신경근전기자극이 별다른 차이를 나타내지 않았다. 이는 제 II 형 근섬유의 조성이 우세한 비복근의 경우 스테로이드에 의한 근위축 시 제 I 형 근섬유의 손상이 더 크게 나타나며, 근섬유의 미세구조와 기능적 회복효과에 있어서는 지구력증진 신경근전기자극치료가 근력강화 신경근전기자극 치료보다 더 효과적인 것으로 나타났다.

## V. 요약 및 결론

신경근전기자극이 흰쥐의 비복근에 미치는 영향을 알아보기 위하여 7주령된 체중 240 g 내외의 외견상 건강한 Sprague-Dawley 종 수컷 흰쥐에 신경근전기자극기를 이용하여 1주 및 2주간 전

기자극을 실시한 후 비복근의 무게변동 및 혈청 중 효소활성도를 측정하였으며, 근조직의 조직화학적 활성변동과 미세구조의 변화를 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

신경근전기자극을 실시한 1주와 2주 후의 체중과 비복근의 무게 및 혈청 중 AST와 CPK의 활성도는 모든 실험군에서 별다른 차이가 없었다.

한편, 조직화학적 관찰결과 실험 1주 후 NMES I 군은 근육다발막이 대조군과 비교하여 약간 비후되는 현상과 근섬유의 단면직경이 증가되는 현상이 관찰되었으나, NMES II 군에서는 대조군과 유사한 모습으로 관찰되었다.

전자현미경 하에서 미세구조를 관찰하였을 때, NMES I 군의 I 형 근섬유는 사립체의 배열이 잘 이루어진 모습으로 관찰되어 대조군과 유사하였다. II 형 근섬유의 경우 많은 양의 당원과립이 근형질 내에서 관찰되었으며, 가로소관의 내강이 확장된 모습으로 나타났다.

NMES II 군의 I 형 근섬유에서는 사립체의 크기가 작았으며, 사립체의 공포변성과 확장된 가로소관의 모습이 관찰되었다. II 형 근섬유에서는 가로소관과 함께 무과립세포질세망의 내강이 확장된 형태로 관찰되었으며, 일부 근형질 내 당원과립이 양이 감소된 모습을 보였다.

## 참고문헌

- 박래준, 배성수, 박원학 : 전기자극이 흰쥐의 탈신경된 가자미근에 미치는 영향. 대한물리치료사학회지. 11(2):35-48, 1990.
- 박상준, 이민철, 김세종 : 운동이 백서 스테로이드 근병증에 미치는 효과. 대한신경과학회지. 17(5):694-701, 1999.
- 박원학, 이용덕, 정형재 등 : Rat 태생기 심장성장에 따른 입체해석학적 연구. 한국전자현미경학회지. 19(2):85-98, 1989.
- 이재형 : 전기치료학. 서울. 대학서림. 1995.
- 이재형, 제갈승주, 양연옥 : 전기자극이 흰쥐 골격근의 핵소체형성부위 활성화에 미치는 영향. 대한물리치료사학회지. 11(2):83-91, 1990.
- Alley KA., and Thompson LV : Influence of simulated bed rest and intermittent weight bearing on single skeletal muscle fiber function in aged rats. Archives of Physical Medicine & Rehabilitation. 78:19-25, 1997.
- Altland PD., and Hioghman B : Effect of exercise on serum enzyme values and tissues of rats. American Journal of Physiology. 201:393-395, 1961.
- Apple FS., and Billadello JJ. Expression of creatine kinase M and B mRNAs in treadmill trained rat skeletal muscle. Life science. 55(8):585-592, 1994.
- Ariano MA., Armstrong RB., and Edgerton VR : Hindlimb muscle fiber populations of five mammals. Journal of Histochemistry & Cytochemistry. 21:51-55, 1973.
- Armstrong RB., and Phelps RO : Muscle fiber type composition of the rat hindlimb. American Journal Anatomy. 171:259-272, 1984.
- Beerman DH., Cassens RH., Couch CC., et al. : The effect of experimental denervation and reinnervation on skeletal muscle fiber type and intramuscular innervation. Journal Neurology Science. 31:205-209, 1977.
- Brook MH., and Kaiser KK. There 'myosin ATPase' system: the nature of their pH lability and sulphhydryl dependence. Journal of Histochemistry & Cytochemistry. 18:670-672, 1970.
- Brown M., McDonnel MK., and Menton DN : Electrical stimulation effect on cutaneous wound healing in rabbit. Physical Therapy. 68:955-960, 1988.
- Cabric M., Appell HJ., and Resic A : Fine structural changes in electrostimulated human skeletal muscle. European Journal Applied Physiology. 57:1-5, 1988.
- Cotter M., and Phillips P : Rapid fast to slow fiber transformation in response to chronic stimulation of immobilized muscles of the rabbit.

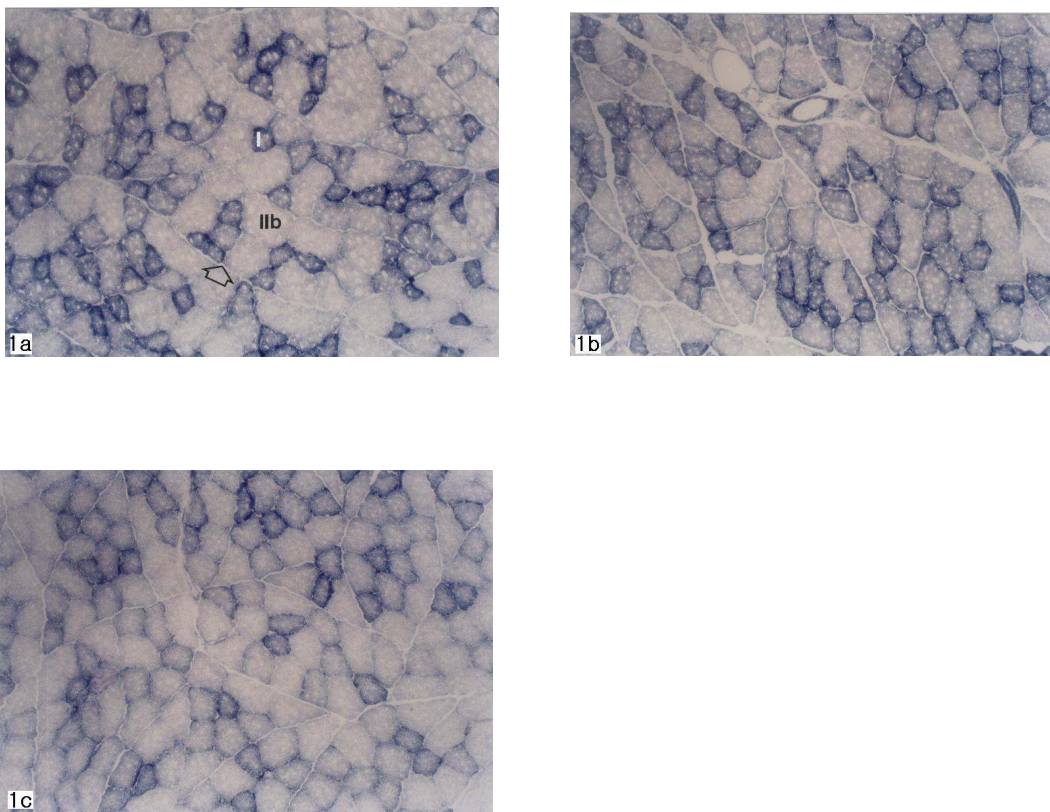
- Experimental Neurology. 93(3);531-545, 1986.
- Currier DP., and Mann R : Muscular strength development by electrical stimulation in healthy individuals. *Physical Therapy*. 59:1508-1512, 1983.
- Delitto A., McKowen JM., McCarthy JA., et al. : Electrically elicited co-contraction of thigh musculature after anterior cruciate ligament surgery. *Physical Therapy*. 68(1);45-50, 1988.
- Fredericks CM., and Saladin LK : *Pathophysiology of the Motor Systems; Principle and Clinical Presentations*. Philadelphia: F.A. Davis Co. 1996.
- Goats GC : Interferential current therapy. *British Journal of Sports Medicine*. 24(2);87-92, 1990.
- Greathouse DG., Nitz AJ., Matulionis DH., et al. : Effects of short-term electrical stimulation on the ultrastructure of rat skeletal muscles. *Physical therapy*. 66(6);946-953, 1986.
- Guyton AC., and Hall JE : *Textbook of medical physiology*, 9th ed. Philadelphia: W. B. Saunders Co. 1996.
- Hickson RC., Kurowski TT., Andrews GH., et al. : Glucocorticoid cytosol binding in exercise-induced sparing of muscle atrophy. *American Journal of Physiology*. 16:1413-1419, 1986.
- Kernell D., Donselaar Y., and Eerbeek O : Effect of physiological amounts of high and low-rat chronic stimulation on fast-twitch muscle of the cat hindlimb. II. Endurance-related properties. *Neurophysiology*. 58(3);614-627, 1987.
- Lieber RL : Comparison between animal and human studies of skeletal muscle adaptation to chronic stimulation. *Clinical Orthopedic and Related Research*. 233:19-24, 1988.
- Loud AV., Anverse P., Giacomelli F., et al. : Absolute Morphometric study of myocardial hypertrophy in experimental hypertension. I. Determination of myocyte size. *Laboratry Investigation*. 38:586-598, 1978.
- Moore KL : *Clinically Oriented Anatomy*, 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins. 1985.
- Pette D : Activity induced fast to slow transition in mammalian muscle. *Medical Science Sports Exercise*. 16:517-528, 1984.
- Salar G., Job I., and Mingrino S : Effect of transcutaneous electrotherapy on CSF  $\beta$ -endorphin content in patients without pain problems. *Pain*. 10:169-172, 1981.
- Salmons S : Functional adaptation in skeletal muscle. *Trends NeuroScience*. 3:134-137, 1980.
- Sinacore DR., Delitto A., King DS., et al. : Type II fiber activation with

electrical stimulation. Physical Therapy. 70;416-422, 1990.

Starnes JW., Beyer RE., Farrar RP., et al. : Protein synthesis in skeletal muscle from normal and diabetic

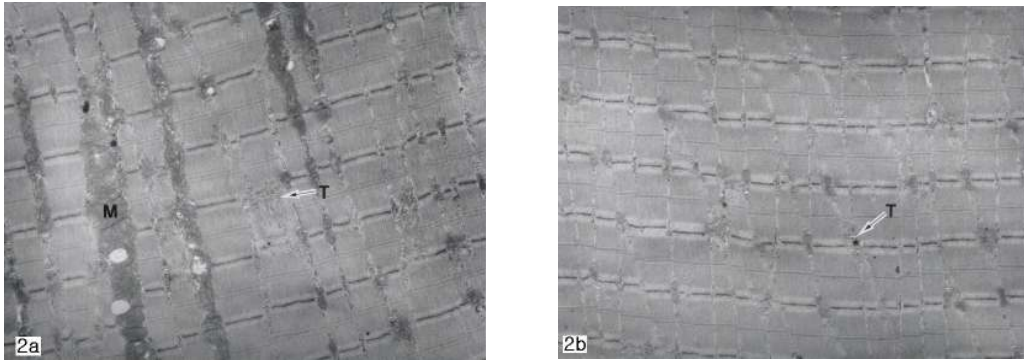
rats following increased contractile activity in situ. Research Communnications in Chemical Pathology and Pharmacology. 58;339-353, 1987.

## 부 록



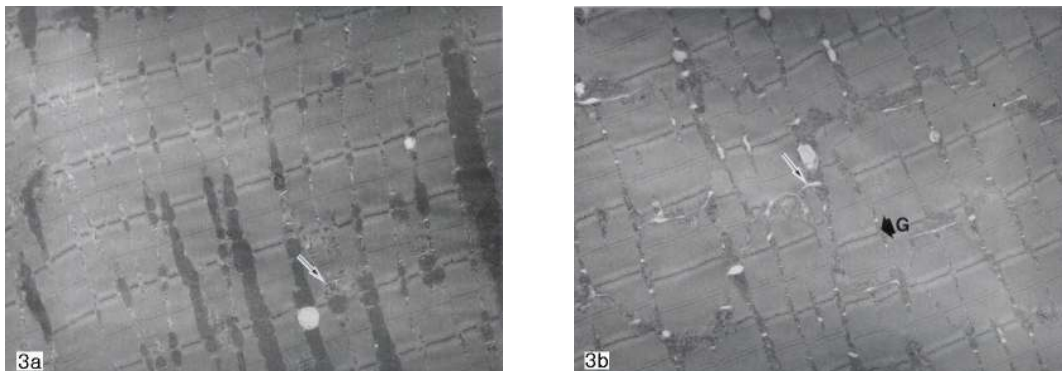
**Fig 1.** Histochemical reaction of gastrocnemius in rats, NADH-diaphorase, *original mag.×100*

a) Control ; Muscular bundles are divided by perimysium(arrow). Type I muscle cells(I) are the strongest reaction to NADH-diaphorase, type IIb muscle fibers(IIb) are rarely reacted with NADH-diaphorase. e) NMES I ; The perimysium in three groups is thickened compared to that of control. f) NMESII ; Muscular bundles and perimysium are similar to control.



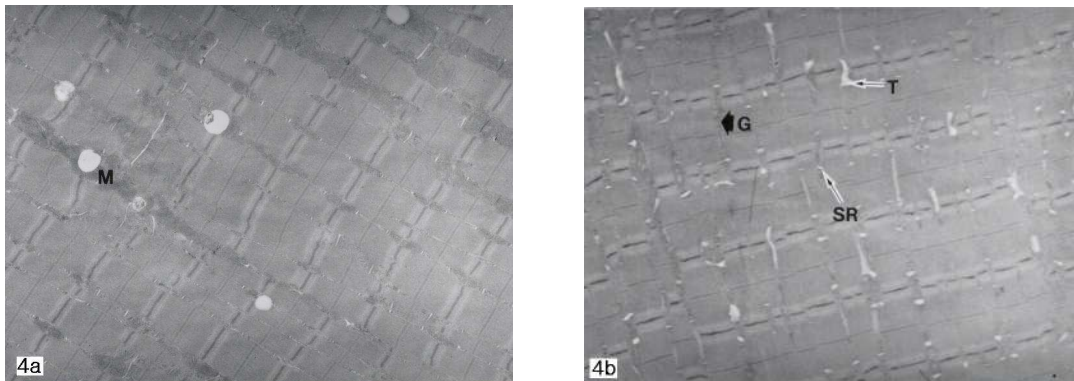
**Fig 2.** Ultrastructure of myofibrils of control in rats, uranyl acetate and lead *citrate*, *original mag.×6,000*

a) Type I fiber ; The structure of myofibrils is intact and their arrangement is regular. Mitochondria(M) are moderately dense and T-tubules(T) are clearly observed on the A-I bands. b) Type II fiber ; The length of sarcomeres is regular and cross-striation structure is clear. T-tubules(T) are clearly observed on the A-I bands.



**Fig 3.** Ultrastructure of myofibrils of NMES I in rats, uranyl acetate and lead *citrate*, *original mag.×6,000*

a) Type I fiber ; The tissue structure is intact. T-tubules(arrow) are shown on the A-I bands. b) Type II fiber ; Glycogen granules(G) are increased in the sarcoplasm, and dilatation of T-tubules(arrow) is shown.



**Fig 4.** Ultrastructure of myofibrils of NMESII in rats, uranyl acetate and lead citrate, *original mag.*  $\times 6,000$

- a) Type I fiber ; The size of mitochondria is smaller than that of control and a few of them have vacuolar degeneration. b) Type II fiber ; Deposition of glycogen granules(G) is partially decreased, and the luminal spaces of T-tubule(T) and sarcoplasmic reticulum(SR) are dilated.