

## 전기자극이 흰쥐의 탈신경된 가자미근에 미치는 영향

대구대학교 물리치료학과  
\*박래준 · 배성수

영남대학교 생물학과  
\*\*박 원 학

### Abstract

#### Effect of Electrical Stimulation on the Denervated Soleus of the Rat

\*Park, Rae Joon, M.P.H., R.P.T. \*Bae, Sung Soo, M.P.H., R.P.T.

\*\*Park, Won Hark, D.Med.

A study was performed to investigate the effect of electrical stimulation on soleus muscle, target muscle of sciatic nerve, of male rat. The animals were stimulated with the EST for 2 and 4 weeks (20 mins/day). The changes on soleus were examined with histological, histochemical and morphometric method.

The results are summarized as follows :

1. The wet weight and girth of the control groups were much decreased with normal group, but those of the experimental groups were no changed with control groups.
2. The diameter of control myofibers were decreased with the normal. Inflammatory cells were investigated in the intermuscular fiber and bundle in the control group. Experimental groups were similar investigated with control groups.
3. The glycogen granules were much accumulated in the control myofibers, but were local accumulated in the experimental groups.
4. The activity of the NADH-TR reactions of the control and experimental groups were decreased with normal group, activity of the control and experimental 4 weeks group were decreased, remarkably. Thus, the typing of muscular fibers were not identified.
5. In morphometric study, red fibers were increased, but white fibers were decreased in the control and experimental groups. Thus, we inferred that the white fibers were sensitively accepted to the denervated effects.

These results indicate that the electrical stimulation effected to the soleus, temporarily, but take not delayed of the muscular atrophy and degeneration.

ABSTRACT

I. 서 론

II. 재료 및 방법

1. 재료

2. 방법

1) 수술

2) 전기자극

3) 조직 표본 제작

4) 조직화학적 근섬유의 분류

5) 근섬유별 체적밀도(volume density) 측정

III. 결 과

1. 가자미근의 무게 및 둘레

2. 조직학적 관찰

3. 조직화학적 관찰

4. 형태측량적 연구

IV. 고 찰

V. 결 론

참고문헌

I. 서 론

생체에 전류를 통전시키면 생리학적, 병리학적  
으로 변화를 초래시킨다는 사실은 생체가 도체라  
는 것으로 밝혀진 것 만큼이나 오래전부터 알려져  
오고있다(Alon, 1987).

전기자극은 대부분 신경 및 근육계 질환에 적용  
되는데 임상적으로 효과가 있다는 설과 단지 근육  
의 수축성과 상태유지를 할 뿐 탈신경근(denervat-  
ed muscle)에는 아무런 의미가 없다는 설로 논란  
이 되어오고 있다. Langley와 Kato(1915)는 전기  
자극과 규칙적인 운동을 할 때 효과가 있다고 했  
으며 Chor 등(1937)은 원숭이에서 비자극근보다  
자극근의 섬유가 더 변성되었다고 했으며 Schmar-  
ig 등(1977)은 쥐의 연구에서 탈신경 7주 후 치료  
받은 근육의 신경의 재생이 지연되었다는 조직학  
적 근거를 제시하였고 Jansen 등(1973)은 전기자  
극시 이웃신경에 의한 신경재생을 지연시킨다고  
보고하고 있다.

전기자극에 대한 연구는 부분탈신경근(partial  
denervated muscle)에 장력(tension)이 증가하고  
(Gerald, 1986), 부종이 완화되며(Thomas와  
Thomas, 1987), 혈류의 변화(David 등, 1990),  
상처치유의 촉진(Marybeth와 Prem, 1987) 및 경  
피신경자극에 의한 통증 조절효과(Diane, 1986 ;  
John 등, 1986)에 관한 보고가 있었다.

탈신경된 근육은 혈관수축성의 마비와 함께 혈  
관내의 울혈, 응혈 그리고 혈전이 원인이 되어 근  
육내의 영양장애를 일으켜 궁극적으로 근위축  
(muscular atrophy)이 일어나게 된다. 따라서 지  
속적인 운동은 위축을 예방할 수 있고 탈신경근에  
는 운동 대신 전기자극을 통해 소기의 목적을 달  
성할 수 있다고 하였다(Sounderlands, 1978)

일반적으로 근섬유(muscle fiber)는 세 가지 형  
태로 대별되는데 Ogata와 Mori(1964)는 백근  
(white), 중간근(intermediate) 및 적근(red)으  
로, Barnard 등(1971)은 속연축 백근(fast-twitch  
white), 원연축 중간근(slow-twitch intermedi-  
ate) 및 속연축 적근(fast-twitch red)으로,  
Brook와 kaiser는 IIB, I, IIA로 각각 분류하고  
있다. 이들 근섬유의 분포양상은 동물의 종, 근육  
의 종류에 따라 분포양상이 다르며, 연령에 따라,  
신경충격에 따라서도 분포양상이 달라진다(Dub-  
owitz, 1967 ; Dubowitz와 Newman, 1967 ; Kar-  
pati와 Engel, 1967 ; Romanul과 Meuren, 1967 ;  
Guth 등, 1968 ; Ariano 등, 1973 ; Beerman 등,  
1977 ; White 등, 1978 ; Armstrong 등, 1982 ;  
Armstrong과 Phelps, 1984 ; Suzuki와 Tamate,  
1988).

본 연구는 전기자극이 좌골신경의 표적근육  
(target muscle)인 가자미근(Verhaagen 등,  
1988)에 미치는 영향을 알아보고 탈신경시의 근육  
분포와 전기자극시 분포양상의 변화를 알아보기  
위하여 좌골신경을 실험적으로 절단하여 4주동안  
30 Hz로 3초간 변조를 하여 강축을 시키는 방법으  
로 주 6회, 1일 20분간 전기자극하여 조직학 및  
조직화학적으로 어떠한 영향이 미치는지 알아보며  
탈신경근의 전기자극 효과에 대한 상반된 선행보  
고와 비교 고찰하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 재료

실험동물은 Sprague-Dawley계의 체중 250 g 내외의 성숙한 웅성 흰쥐를 사용하였다. 사육실은 일정조건(온도  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 습도  $50 \pm 10\%$ )을 유지시켰으며 접등관리는 12시간 주기로(08:00~12:00) 하고 다음과 같이 5개군으로 나누어 먹이는 기식으로 하였고 물론 자유로이 섭취하도록 하였다.

- 1) 정상군 .....5마리
- 2) 대조(신경절단) 2주군 .....5마리
- 3) 대조(신경절단) 4주군 .....5마리
- 4) 실험(신경절단후 전기자극) 2주군 .....5마리
- 5) 실험(신경절단후 전기자극) 4주군 .....5마리

### 2. 방법

#### 1) 수술

마취를 하지않고 좌측 대퇴부를 삭모하여 무균적으로 대전자 부위를 절개하여 좌골신경을 노출시키고 3~5 mm 정도 절편을 떼어내어 절단하였으며 절개부위는 봉합사로 봉합하여 바로 lincomysin 3 ml를 복강 주사하였다.

#### 2) 전기자극

전기자극 기구는 저주파 치료기(Model CLG1, 신진의로기, 대한민국)를 사용하였으며 전극은 쥐의 극소부위에 사용할 수 있는 직경 2 mm 정도의 표면전극을 만들어 사용했으며 활성전극과 비활성전극의 크기는 같게 하였다. 전기자극시 표면전도성을 높이기 위해 Lectron 2(Pharmaceutical Innovation, U.S.A.)를 전극 부착부위에 도포하여 실시하였다.

전기자극 방법은 완전히 탈신경되어 운동점이 소실되었으므로 활성전극과 비활성전극을 근육의 기시(origin)와 기착점(insertion)에 부착하여 근육(muscle group)을 자극하는 방법으로 하였다. 주파수는 30 Hz에 고정시켜 놓고 3초동안 수축하고 3초동안 이완하는 방법으로 주당 6회 4주간 실시했으며 전류의 강도는 보통 근수축을 감지할 수 있을 정도의 1 mA로 하였다.

#### 3) 조직 표본 제작

각군 흰쥐의 가자미근을 횡절단하여 근위부 2/5 부분과 원위부 2/5 부분을 취하였으며 조직은 적출 즉시 액체질소로 냉각된 isopeatane에 넣어 약 10초동안 급냉동시켰고 급속 냉각된 조직을  $-20^\circ\text{C}$ 에서 18시간 보관 후 냉동절편기로  $10 \mu\text{m}$  두께로 조직절편을 만들었다.

일반적인 형태관찰을 위하여 hematoxylin-esoine(H-E) 염색하였고 당원(glycogen)의 변화를 보기 위하여 periodic acid Schiff(PAS) 염색(Coleman법)하였으며 조직화학적 근섬유형을 분류하기 위하여 reduced nicotinamide adenine dinucleotide-tetrazoliumreductase(NADH-TR) 반응(Sheeham과 Papckak법)을 보았다.

#### 4) 조직화학적 근섬유의 분류

NADH-TR 반응으로 나타난 현상을 Ogata와 Mori(1964)의 분류방법에 의해 백근, 중간근, 적근으로 구분하였다. 근섬유 굵기가 가장 크며 diformazan 과립의 반응이 가장 낮으며 근초(sarcolemma) 부위에 뚜렷한 반응이 나타나지 않는 근섬유를 백근으로 분류하였고 근섬유가 작으며 diformazan 과립의 반응이 가장 강하게 나타나며 특히 근초부위로 더욱 반응이 강한 근섬유를 적근으로 분류하였으며 백근과 적근의 중간정도의 반응을 보이는 것을 중간근으로 분류하였다.

#### 5) 근섬유별 체적밀도(volume density) 측정

각 근섬유의 체적밀도를 측정하기 위하여 각 군별 조직을 무작위로 25개의 절편을 선택하여 선택된 각 절편은 광학 현미경상에서 2장씩 무작위로 선택하여 100배로 사진 촬영하여 각 군별 50장씩의 사진을 얻었다.

사진상의 체적밀도 측정은 10 d(d=10 mm)인 single lattice test grid를 사용하여 Weibel 등(1966)의 방법에 따라 점계수법(point-counting method)에 의해 계수하였다. 계수되어진 수는 Smith(1953)의 방법에 의해 계산되었다.

$$V_v = V_c / V_T = P_c / P_T$$

(여기서  $V_v$ : 체적밀도,  $V_c$ : 대상 근섬유의 단위체적당 체적( $\text{mm}^3$ ),  $V_T$ : 단위체적( $\text{mm}^3$ ),  $P_c$ : 대상 근섬유에 놓여진 교점의 수,  $P_T$ : grid 전점

점의 수)

측정된 근섬유의 양적 평가는 1 mm<sup>3</sup>을 단위체적으로 하였다.

### III. 결 과

#### 1. 가자미근의 무게 및 둘레

근의 무게는 146 mg이었던 대조 2주군에서는 109 mg, 4주군에서는 85 mg으로 측정되었으며 실험

2주군에서는 101 mg, 실험 4주군에서는 79 mg으로 측정되었다.

근의 둘레는 정상군에서 13.4 mm, 대조 4주군에서는 7.0 mm로 측정되어 무게와 둘레가 모두 정상군과 비교하여 유의성을 나타내었으며 대조군과 실험군간에는 유의성이 나타나지 않았다. 처리기간별로 2주군에 비해 4주군에서 유의하게 감소하였다(표 1).

표 1. Wet weight and muscle girth of soleus

Group	Wet weight(mg)	Muscle girth(mm)
Normal	146±15	13.4±1.0
Control(2 W)	109±21 <sub>a</sub>	10.9±0.9 <sub>a</sub>
Control(4 W)	85±12 <sub>ab</sub>	7.2±0.7 <sub>ab</sub>
Experimental(2 W)	101±18 <sub>a</sub>	9.2±0.9 <sub>a</sub>
Experimental(4 W)	79±10 <sub>ab</sub>	7.0±0.8 <sub>ab</sub>

Values expressed as means±S.D.

a : Significance of difference from normal group(p<0.01)

b : Significance of difference from previous group in same treated group(p<0.01)

#### 2. 조직학적 관찰

정상 가자미근에서는 근섬유 사이와 근속 사이의 간격이 좁고 근초는 부드러운 곡선으로 나타나며 핵은 납작한 형태로 근섬유의 가장자리에 존재하였다(그림 1).

대조 2주군에서는 넓어진 근속 사이에 염색세포 및 대식세포의 침윤이 관찰되었으며 섬유의 굵기도 감소되었다. 근초는 정상군에 비해 불규칙하게 나타났으며 핵은 정상군에 비해 크고 둥글게 관찰되었으며 일부 핵은 근섬유의 중앙에서도 관찰되었다(그림 2, 3).

대조 4주군에서는 근섬유가 더욱 작아지고 근초는 매우 불규칙하게 관찰되었으며 일부 근섬유의 괴사현상이 관찰되었다(그림 4).

실험 2주군에서는 대조 2주군과 유사한 양상을 보였으나 실험 4주군에서는 증가된 염색세포의 출현과 많은 괴사된 근섬유들이 관찰되었다(그림 5).

#### 3. 조직화학적 관찰

가자미근 내의 당원과립 축적정도를 관찰하기 위하여 PAS 염색을 한 결과 정상군에서는 반수 정도의 근섬유에서 당원과립의 축적이 미약하게 관찰되었으나(그림 6), 대조군에서는 거의 모든 근섬유에 당원과립이 축적되는 현상이 관찰되었다(그림 7). 한편 실험군에서는 당원과립이 축적된 근섬유들이 국소적으로 모여있는 양상으로 관찰되었다(그림 8).

근섬유형 분포의 조사를 위한 NADH-TR 반응을 본 결과 정상군에서는 적근에서 diformazan 과립이 매우 강한 반응을 보이고 있었으며, 특히 근섬유의 경계부위에 뚜렷한 반응이 관찰되었다. 근섬유의 크기는 가장 작게 관찰되었다. 백근에서는 점상의 diformazan 과립이 연속적으로 연결되어 그물 모양으로 나타났고 반응은 가장 약하였으며 크기는 근섬유 중 가장 크게 나타났다. 한편 중간

근은 근섬유의 근초부위에 다소 강한 반응을 보이는 diformazan 과립상을 보였으며 근섬유의 중앙 부분은 반응성이 약하였다. 중간근의 근섬유의 크기는 적근과 백근의 중간 크기로 관찰되었다(그림 9).

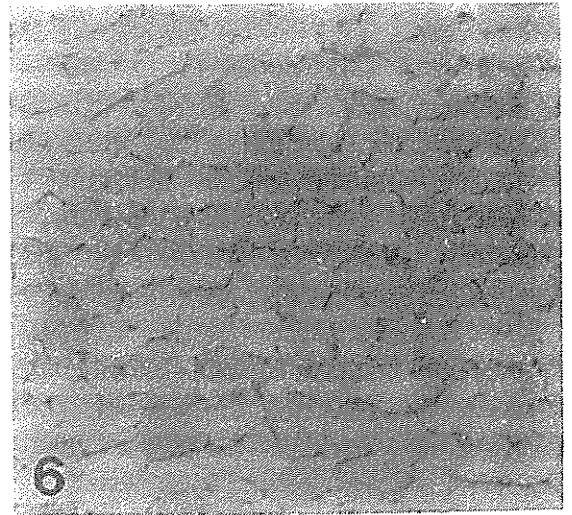
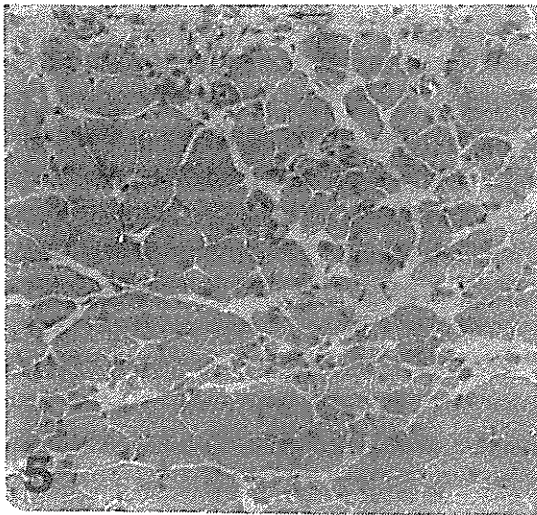
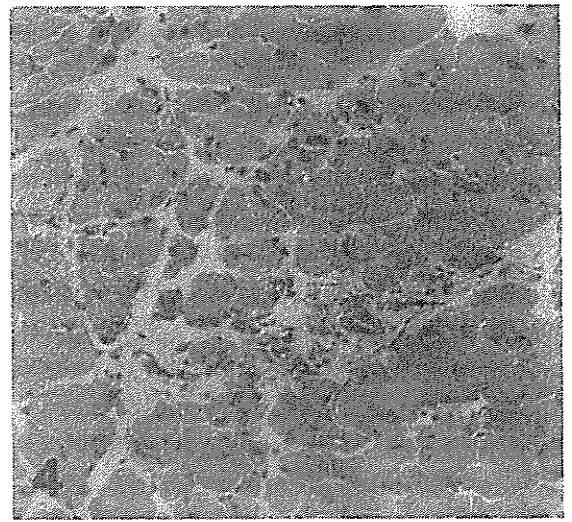
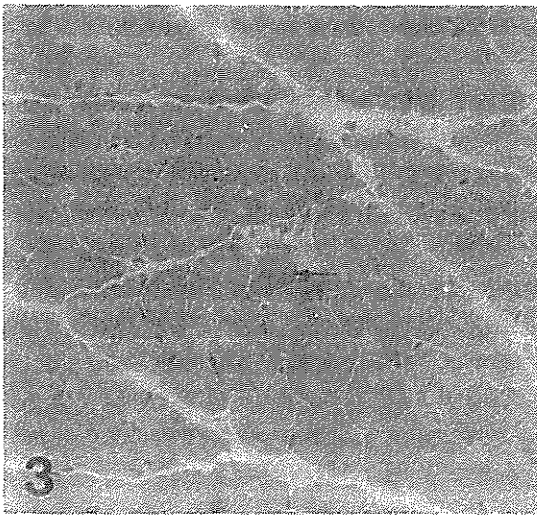
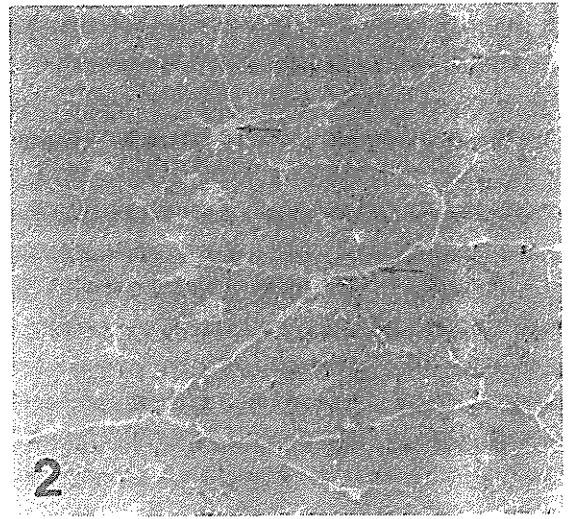
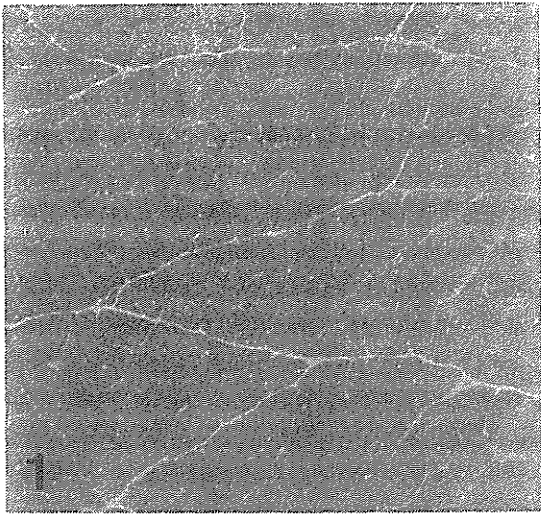
대조 2주군에서 적근의 반응성은 정상군과 비교하여 활성도가 다소 감소하는 양상이 나타났으며 백근의 활성도는 큰차는 보이지 않았으나 백근의 근섬유가 대조 2주군에 비해 더욱 작아지는 경향이었으며 활성도도 더욱 감소하여 적근, 백근 및

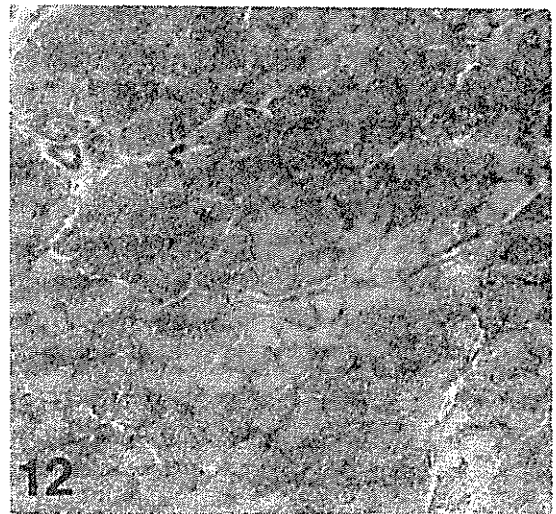
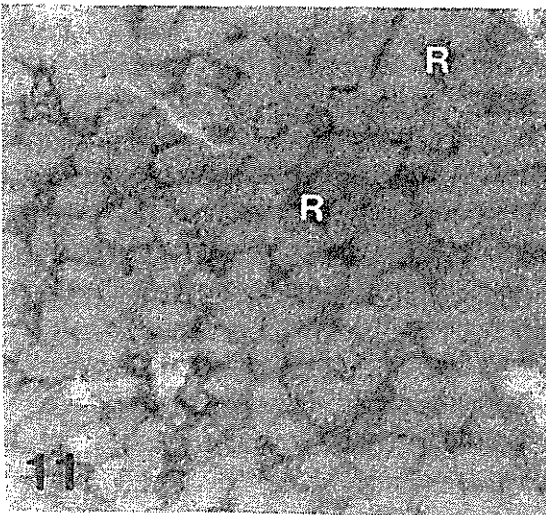
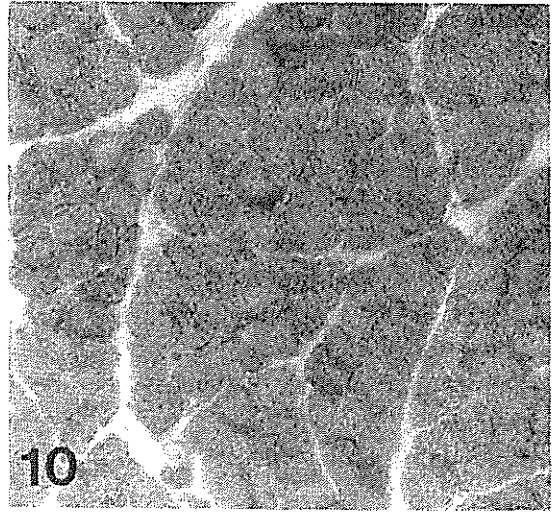
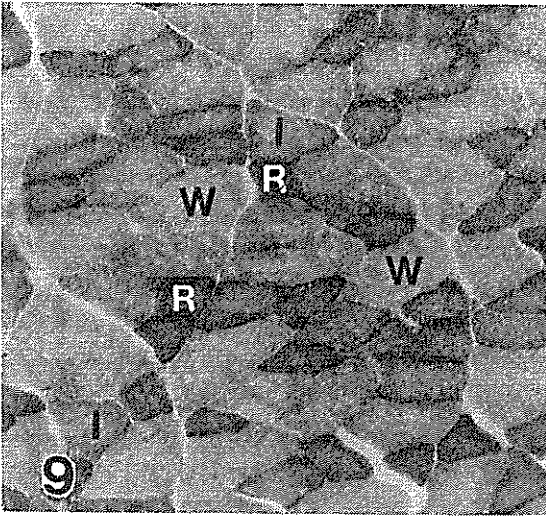
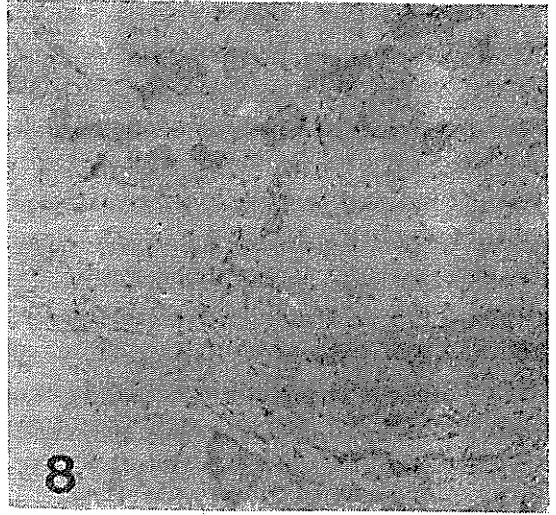
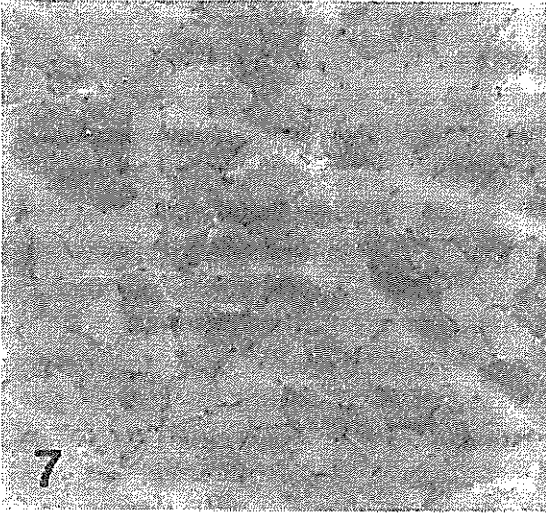
중간근 모두 과립상이 심하게 관찰되었다. 따라서 대조 4주군에서는 근섬유형의 구분은 불가능하였다(그림 10).

실험 2주군에서의 활성도는 급격히 감소하여 과립상의 크기가 대조군보다 더욱 크게 관찰되며, 모자이크 모양의 분포가 명확하지 않았으며 특히 중간근과 백근의 구분이 어려웠다(그림 11). 실험 4주군에서의 활성도는 더욱 감소하였고 근섬유의 크기는 대조 4주군에 비해 더욱 작아졌으며 근섬유의 구분도 불가능하였다(그림 12).

## Legend of Figures

- 그림 1. Normal group(H-E, x100)  
Muscle fibers are showed polygonal shape, and muscular nuclei are located at margin of muscle fibers.
- 그림 2. Denervated 2 weeks group(H-E, x100)  
Inflamatory cells are located at the intermuscular fibers and the intermuscular bundles (arrow).
- 그림 3. Control 2 weeks group(H-E, x200)  
Some muscular nuclei are showed in center of the muscle fibers(arrow).
- 그림 4. Control 4 weeks group(H-E, x200)  
Muscle fibers are smaller than denervated 2 weeks group, and sarcolemma are showed irregular shape. Necrosis of fibers are showed(arrow).
- 그림 5. Experimental 4 weeks group(H-E, x200)  
Imflamatory cells and necrotic fibers are more increased than control groups(arrow).
- 그림 6. Normal group(PAS, x100)  
Glycogen granules are accumulated in some muscular fiber.
- 그림 7. Control group(PAS, x100)  
Glycogen granules are accumulated in almost muscle fiber, strongly.
- 그림 8. Experimental group(PAS, x100)  
Glycogen granules are accumulated in some muscle fiber, strongly.
- 그림 9. Normal group(NADH-TR, x200)  
The red(R), white(W), and intermediate(I) fibers are identified with NADH-TR method. Note that red fiber stains dark, white fiber stains light, and intermediate fiber stains mediate.
- 그림 10. Control 4 weeks group(NADH-TR, x100)  
All fiber are light staining.
- 그림 11. Experimental 2 weeks group(NADH-TR, x100)  
Only red fibers are identified.
- 그림 12. Experimental 4 weeks group(NADH-TR, x100)  
All fiber are light staining.







#### 4. 형태측량적 연구

가자미근의 근섬유의 분포양상에 대해서 양적으로 체적밀도를 측정된 결과 백근이  $0.707 \text{ mm}^3/\text{mm}^3$ 로 측정되었고 중간근이  $0.128 \text{ mm}^3/\text{mm}^3$ , 적근이  $0.167 \text{ mm}^3/\text{mm}^3$ 로 측정되었으며 대조 2주군은 백근이  $0.641 \text{ mm}^3/\text{mm}^3$ 로 정상군보다 감소하였으나 중간근은  $0.142 \text{ mm}^3/\text{mm}^3$ 로 정상군보다 증가하였고 적근도  $0.216 \text{ mm}^3/\text{mm}^3$ 로 증가하였다. 정상군과 비교한 백근의 감소와 중간

근, 적근의 증가는 통계적으로 유의성을 보였다. 한편 실험 2주군에서의 적근은  $0.207 \text{ mm}^3/\text{mm}^3$ 로서 정상군과는 유의차를 보이면서 증가하였으나 대조 2주군과 비교시에는 유의성이 나타나지 않았다(표 2).

실험 2주군에서는 백근과 중간근의 구분이 되지 않았으며, 대조 4주군 및 실험 4주군에서는 모든 근섬유형의 구분이 되지않아 양적 조사가 불가능하였다.

표 2. Distribution of the volume density ( $\text{mm}^3/\text{mm}^3$ ) of muscle fiber in soleus

Group	Red fiber	Intermediate fiber	White fiber
Normal	$0.167 \pm 0.034$	$0.128 \pm 0.026$	$0.707 \pm 0.050$
Control (2 W)	$0.216 \pm 0.047_a$	$0.142 \pm 0.026_a$	$0.641 \pm 0.062_a$
Experimental (2 W)	$0.207 \pm 0.051_a$	—	—

Values expressed as means  $\pm$  S.D.

a : Significance of difference from normal group ( $p < 0.05$ )

b : Significance of difference from previous group in same treated group ( $p < 0.05$ )

#### IV. 고 찰

포유동물의 골격근은 백색근과 적색근 섬유로 구성되어 있으나 그 분류방법이 연구자에 따라 다른데(Orgata와 Mori, 1964; Engel, 1962, 70; Romanule, 1964; Kugelberg와 Edstrom, 1968; Barnard 등, 1971; Brook와 Kaiser, 1970; Dawson과 Romanule, 1964). 대부분의 연구자가 세 가지 형으로 분류하였다. 본 연구에서는 NADH-TR 반응을 이용하여 Orgata와 Mori (1964)의 분류방법에 의거하여 적근, 중간근 및 백근으로 구분하였다.

근섬유는 동물의 종과 근육의 종류에 따라 다른 조성을 나타내며 여러 가지 자극인자들에 대해서 각 섬유들이 다른 반응을 나타낸다고 하여 Edstrom(1970)은 전십자인대(anterior oraciate ligament) 손상환자에서의 위축이 백근보다 적근에서 더 현저하다고 했으며 Riley와 Allin(1973)은

무용성 위축(disuse atrophy)시에 백근의 위축이 심한 것을 보고한 바 있다.

따라서 본 실험에서는 좌골신경을 완전 탈신경시키고 탈신경된 가자미근에 전기자극을 가하여 조직학적 변화와 조직 화학적으로 근섬유형의 변화를 관찰하였다.

탈신경근육에 전기자극을 한 연구로서, 부분 탈신경된 가자미근에 전기자극을 하여 근 무게와 근 장력을 증가시켰다는 보고(Gerald 등, 1986)와 탈신경 근육에 위축을 예방 또는 지연시켰다는 보고(Cabric 등, 1988)가 있었으며 Herbison 등(1971)은 쥐의 근육에서 자극근과 비 자극근의 조직학적 차이와 무게차이가 없었다고 상반된 보고를 하였다. 본 연구에서는 전체적인 근육의 위축정도를 근의 무게 및 둘레로 판단하였는데 rat 가자미근의 무게는 정상군에서 146 mg, 대조 2주군에서는 109 mg, 대조 4주군에서는 85 mg으로 측정되었으며 실험 2주군에서는 101 mg, 실험 4주군에서는

79 mg으로 측정되어 대조군에서는 정상군과 비교하여 유의미한 감소를 보였으나 실험군에서는 대조군과 비교하여 유의성이 없었다. 이는 전기자극이 탈신경된 가자미근에는 위축 저지에 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다. 또한 근의 둘레는 정상군에서 13.4 mm, 대조 4주군에서 7.0 mm로 측정되어 정상군과 비교하여 유의하게 감소하였고 대조군과 실험군간에 유의성은 나타나지 않았다. 이 결과로 보아 Herbison 등(1971)의 결과와 일치하였으나 Gerald 등(1986)와 Carbric 등(1988)의 결과와는 상반된 결과를 보였다. 이러한 상반된 결과는 신경차단 수술에서 지혈감자 끝으로 3분간씩 물어서 차단시킨 결과 1개월 후에는 대부분 회복이 되었으나, 신경을 3~5 mm 절편을 떼어 절단했을 때 완전한 탈신경이 되었다고 한 정우제 등(1983)의 보고에서 부분탈신경과 완전탈신경시킨 근육에서의 재생(regeneration) 기간의 차이로 인해 나타난 것으로 사료된다. 본 실험에서도 대전자 부위를 절개하여 좌골신경을 3~5 mm 정도 절편을 떼어낸 결과 완전한 탈신경이 일어났다고 볼 수 있다. 따라서 정확한 탈신경이 되지 않았을 때는 부분 탈신경 현상으로 빠른 재생이 일어나 실험결과가 다른것으로 사료된다.

조직학적 관찰에서 정상근은 근섬유 사이와 근속 사이의 간격이 좁고 근초는 부드러운 곡선으로 나타나며 핵은 납작한 형태로 근섬유의 가장자리에 존재하였는데 대조 2주군에서는 넓어진 근속 사이에 염증세포 및 대식세포의 침윤이 관찰되었으며 섬유의 굵기도 감소되었다. 근초는 정상군에 비해 불규칙하게 나타났으며 핵은 정상군에 비해 크고 둥글게 관찰되었으며 일부 핵은 근섬유의 중앙에서도 관찰되었다. 대조 4주군에서는 일부 근섬유의 괴사현상이 관찰되고 실험군에서는 탈신경 기간이 긴 4주군에서는 증가된 염증세포의 출현과 괴사된 근섬유들이 관찰되어 기간이 긴 4주군에서는 증가된 염증세포의 출현과 괴사된 근섬유들이 관찰되어 시간이 경과할수록 근 위축정도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이 결과는 신경절단 후 근섬유의 변화에 대해서 Adams 등(1975)이 보고한 신경절단 후 1~2일에 다핵형 백혈구와 단핵세포의 침윤이 일어나며 1~2주일 후에는 핵이 둥글어지고 뭉치는 현상을 보이며 근섬유의 모양은 다각

형에서 둥근형으로 변화한다는 보고와 유사하였으며 이러한 현상의 원인으로 Sounderlands(1978)는 신경의 영양적 영향(trophic effect)의 소실에 기인한 것이라고 하였는데 탈신경의 근위축은 혈관 수축상의 마비와 함께 혈관내의 울혈, 응혈 그리고 혈전이 원인이 되어 근육 내에 영양장애를 일으켜 궁극적으로 근위축이 일어난다고 하였다. 실험군에서의 조직학적 양상도 대조군과 유사하게 나타나 전기자극이 완전탈신경된 근육에서는 근위축 저지 및 괴사부위의 재생에 영향을 미치지 못하는 것으로 관찰되었다.

조직화학적 관찰에서 당원과립의 측정정도를 PAS 염색을 통해 관찰한 바 정상군에서는 반수 정도의 근섬유에서 당원과립의 축적이 미약하게 관찰되었고 대조군에서는 거의 모든 근섬유에서 당원과립의 축적이 관찰되었으며 실험군에서는 당원과립이 국소적으로 모여 축적되어 있는 양상이었다. 이러한 결과에 대해서 Altman 등(1976)은 혈액순환과 산소 소모는 자극이 없을 때 보다 계속적으로 자극을 준 근육에서 더 증가하고 따라서 포도당 소모가 증가하고 젖산(lactate)의 생성은 감소한다고 하였으며 Pette 등(1976)은 mitochondria의 당분의 효소가 초기 전기자극에 의해 증가되어 당원과립의 함량이 줄어든다고 하였다. 이는 전기자극으로 근섬유 운동이 일어나 당원의 소모가 일어난 것으로 판단되어 전기자극이 운동으로서의 효과가 다소 있는 것으로 사료된다.

NADH-TR 반응을 본 결과 정상군에서는 적근에서 diformazan 과립이 매우 강한 반응을 보이고 있으며 특히 근섬유의 경계부위에 뚜렷한 반응이 관찰되었는데 대조 2주군에서부터 활성도가 감소하기 시작하여 대조 4주군에서는 모든 근섬유에서 활성도가 거의 소실되어 근섬유형의 구분이 불가능하였다. 이러한 효소활성도 변화에 대해서는 Romanul과 Hogan(1964), Hogan 등(1964)은 탈신경시 근섬유의 에너지 신진대사의 탈분화(dedifferentiation)에 의한 근섬유의 효소활성도의 심한 감소가 일어난다고 하였으며 Kaparti와 Engel(1968)은 guinea pig의 좌골신경 절단 후 6~27주까지 NADH-TR 활성도가 심하게 감소된다고 하였으며 Riley와 Allin(1973)은 탈신경시킨 고양이에서 근섬유의 구분이 불가능하다고 하였으며

Beerman 등(1977)은 폐지에서 탈신경 후 근섬유는 조직학적으로 서로 비슷해지는 양상을 보고하였으며 권 등(1984)은 신경절단 1개월에서 NADH-TR 활성도가 감소하였고 정상 근섬유간망(intermyoibrillar reticulum)이 완전히 소실되어 과립상을 보이고 있으며 특히 백근의 활성도가 감소하였다고 하여 본 연구의 결과와 유사한 결과를 보이고 있으나 활성도 감소의 시기면에서는 다소간 차이를 보이고 있다. 이는 동물의 종과 근육의 종류에 따른 차이로 생각된다. 실험군에 있어서도 대조군과 유사한 양상으로 관찰되었으나 실험군에서는 2주에서부터 백근과 중간근의 구분이 불가능하였다. 이는 전기자극이 중간근에 대한 활성도를 오히려 저하시킨 결과로 생각된다.

근섬유의 분포양상에 대한 형태측량적 연구에서 정상근의 근섬유 분포양상은 적근 16.7%, 중간근 12.8%, 백근 70.7%로 나타나 Eddinger 등(1985)이 Fisher 344 rat의 정상 가자미근을 대상으로 보고한 적근 11.3%, 중간근 8.2%, 백근 84.9%와 유사한 결과를 보였다. 한편 탈신경 후에서의 변화는 백근의 양이 적어지는 반면 적근과 중간근의 양이 증가한다. 이는 백근이 적근이나 중간근보다 더 많은 위축이 일어난 결과로 생각되며 신경절단 시 적근과 중간근보다 백근의 위축이 선행된다는 것을 나타내고 있다. 전기자극을 한 실험군에서는 적근이 대조군과 차이를 보이지 않아 전기자극으로 인한 근 섬유형의 분포 변화는 없는 것으로 판단되었다. 이 결과는 Karpati와 Engel(1968)은 guinea pig에서 II형 근섬유의 위축이 현저함을 보고한 것과 일치하나 Pachter 등(1982)이 보고한 쥐의 좌골신경 분절을 절제 후 전기자극으로 실험한 결과 II형에 더욱 효과가 있다는 결과와는 차이를 보인다. 따라서 탈신경으로 인한 근섬유의 변화는 백근이 가장 예민한 반응을 보이며 탈신경 시 근육의 위축을 완화시키려면 백근의 위축을 저지시키는 보전적 치료수단이 강구되어야 할 것으로 사료된다.

이상과 같이 가자미근의 무게 및 둘레의 측정, 조직 및 조직화학적 방법, 형태측량적 연구 등으로 실험한 결과 전기자극이 운동을 대신하는 일시적인 효과는 있으나 근본적인 근위축을 지연시키거나 신경재생을 촉진시키지는 못하는 것으로 사료된다.

앞으로 전기자극에 대한 연구가 탈신경 뿐만 아니라 무용성 위축, 정상근에서도 이루어져야 하며 다양한 방법을 통하여 확실한 효과를 밝혀야 될 것으로 생각된다.

## V. 결 론

좌골신경의 표적근육인 가자미근에 전기자극이 미치는 영향을 알아보기 위하여 좌골신경을 실험적으로 절단하여 주 6회, 1일 20분간 전기자극하여 조직 및 조직화학적으로 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 근의 무게 및 근의 둘레는 대조군에서 정상근과 비교하여 많은 감소가 있었으나 전기자극을 가한 실험군에서는 대조군과 차이를 보이지 않았다.

2. 조직학적 관찰상에서 대조군에서 근섬유의 크기가 정상군에 비해 작고 염증세포의 침윤이 관찰되었으며 실험군에서도 대조군과 유사한 양상으로 관찰되었다.

3. PAS 염색상에서 대조군에서는 많은 당원과립이 근섬유에 축적되었으나 실험군에서는 국소적으로 당원과립의 축적이 관찰되었다.

4. NADH-TR 반응상의 대조군 및 실험군에서 정상군보다 활성도가 크게 감소하였으며 특히 대조 4주군 및 실험 4주군에서 활성도 감소가 현저하여 근섬유의 구분이 불가능하였다.

5. 근섬유의 형태측량적 연구에서 대조군 및 실험군에서 적근이 상대적으로 증가하는 반면 백근이 감소하여 백근이 탈신경의 영향을 가장 예민하게 받아들이는 것으로 판단되었다.

이상의 결과에서 전기자극이 탈신경근에 운동으로서의 일시적인 효과는 있으나 궁극적으로 근 위축이나 변성을 지연시키지는 못하였다.

## 참고문헌

1. 권순원, 박병문, 정인혁: 신경의 교차지배시 조직화학적 근섬유형의 변화에 관한 형태계측학적 연구. 연세의대 논문집, 17(1): 11~23, 1984.
2. 이재형: 전기자극이 흰쥐 탈신경 근육의 위축

- 에 미치는 영향. 대한물리치료학회지. 제2권 제1호, 1990.
3. 정우재, 정인혁, 박경아, 신태선 : 흰쥐의 좌골신경 손상이 근육에 미치는 영향에 대한 조직화학적 연구. 연세의대 논문집. 제16권 제2호, 1983.
  4. Admas, R.D., Denny-Brown, D. and Pearson, C.M. : Diseases of muscle. A study in pathology. 2nd ed. Harper & Row N.Y. : 115, 1975.
  5. Altman, T.J., Hudlicka, O. and Tyler, K. R., Long-term effects of tetanic stimulation on blood flow, metabolism and performance of fast skeletal muscle. J. Physiol(London) ., 295 : 369, 1976.
  6. Ariano, M.A., Armstrong, R.B. and Edgerton, V.R. : Hindlimb muscle fiber populations of five mammals. J. Histochem. Cytochem., 21 : 51~55, 1973.
  7. Armstrong, R.B. and Phelps, R.O. : Muscle fiber type composition of the rat hindlimb. Am. J. Anat., 171 : 259~272, 1984.
  8. Armstrong, R.B. Saubert IV, C.W. Seeherman, H.J. and Taylor, C.R. : Distribution of fiber types in locomotory muscle of dogs. Am. J. Anat., 163 : 87~98, 1982.
  9. Barnard, R.J., Ederton, V.R., Furukau, T. and Peter, J.B. : Histochemical, biochemical and contractile properties of red, white and intermedicate fiber. Am. J. Physiol., 220 : 410, 1971.
  10. Beerman, D.H., Cassens, R.H., Couch, C. C. and Nage, F.J. : The effect of experimental denervation and reinnervation on skeletal muscle fiber type and intramuscular innervation. J. Neurol. Sci., 31 : 207, 1977.
  11. Beerman, D.H., Cassens, R.H., Couch, C. C. and Nagle, f.J. : The effects of experimental denervation and reinnervation on skeletal muscle fiber type and intramuscular innervation. J. Neurol. Sci., 31 : 207, 1977.
  12. Brook, M.H. and Kaiser, K.K. : There 'myosin ATPase' system : the nature of their pH lability and sulphhydryl dependence. J. Histochem. Cytochem., 18 : 670~672, 1970.
  13. Cabric, M., Appell, H.J. and Resic, A. : Fine structural changes in electrostimulated human skeletal muscle. Evidence for predominant effect on fast muscle fiber. Eur. J. Appl. Physiol., 57 : 1~5, 1988.
  14. Chor, H., Cleveland, D., Davenport, H.A. et al. : Atrophy and regeneration of the gastrocnemius-soleus muscle, J.A.M.A., 113 : 1029, 1939.
  15. David R, S. Anthony D. Douglas S, S. Steven J, R. : Type II activation with electrical stimulation. Physical Therapy 70~416, 1990.
  16. Dawson, D.M. and Romanul, F.C.a. : Enzymes in muscle. II. Histochemical and quantitative studies. Arch. Neurol., 11 : 369, 1964.
  17. Diane, U.T. : Effect of different form of transcutaneous electrical nerve stimulation on experimental pain. Physical Therapy, 66~187, 1986.
  18. Dubowitz, V. : Pathology of experimentally reinnervated skeletal muscle. J. Neural. Neurosurg. Psychiat., 30 : 99, 1967.
  19. Dubowitz, V. and Newman, D.L. : Changes in enzyme pattern after cross innervation of fast and slow skeletal muscle. Nature, 214 : 840, 1967.
  20. Eddinger, T.J., Moss, R.L. and Cassen, R. G. : Fiber number and type composition in extensor digitorun longus, soleus and diaphragm muscles with aging in Fisher 344 rats. J. Histochem. Cytochem., 33(10) : 1033~1041, 1985.
  21. Edstrom, L. : selective atrophy of red muscle fibers in the quadriceps in long standing knee joint dysfunction injuries to the anterior cruciate ligament. J. Neurol. Sci., 11 : 551, 1970.

22. Engel, W.K. : The essentiality of histo- and cytochemical studies of skeletal muscle in the investigation of neuromuscular disease. *Neurology*, 12 : 778, 1962.
23. Engel, W.K. : Selective and nonselective susceptibility of muscular fiber types. A new approach to human neuromuscular disease. *Arch. Neurol.*, 22 : 97, 1970.
24. Gad Alon : Principles of electrical stimulation, *Clinical electro-therapy* 29, 1987.
25. Gerald, J.H., Mazher, J., John, F.D. : Electrical stimulation of sciatic nerve of rats after partial denervation of soleus muscle. *Arch Phy Med Rehabil* Vol 67, 1986.
26. Guth, L., Watson, P. and Brown, W.C. : Effects of cross-reinnervation on some chemical properties of red and white muscles of rat and cat. *Exp. Neural.*, 20 : 52, 1986.
27. Herbison, G.J., Teng, C.S., Reyes, T. and Reyes, O. : Effect of electrical stimulation denervated muscle of rat. *Arch. physiol. Med. Rehabil*, 52 : 516, 1971.
28. Hogan, E.L., Dawson, D.M. and Romanul, F.C.A. : Enzymatic changes in denervated muscle. II. Biochemical studies. *Arch. Neurol.*, 13 : 274, 1964.
29. Jan, L.H. : Transcutaneous electrical nerve stimulation after Cesarean birth. *Physical Therapy*. 36~66, 1986.
30. Jansen, J.K.S., Lono, T., Licolaysen, K., Westgard, R.H. : Hyper denervation of skeletal muscle fiber : Dependence on muscle activity, *Science*, 599, 1973.
31. John, O.B., David, H.W., Gray, L.S. : Transcutaneous electrical nerve stimulation characteristics for altering pain perception. *Physical Therapy*, 66~1515, 1986.
32. Karpati, G. and Engel, W.K. : Transformation of the histochemical profile of skeletal muscle by foreign innervation. *Nature*, 215 : 1589, 1967.
33. Karpati, G. and Engel, W.K. : Correlative histochemical study of skeletal muscle after suprasegmental denervation peripheral nerve section and skeletal fixation. *Neurology*, 18 : 681, 1968.
34. Kugelberg, E. and Edstrom, L. : Differential histochemical effects of muscle contractions on phosphorylase and glycogen in various types of fibers : relation to fatigue. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 31 : 415, 1968.
35. Langley, J.N., Kato : The rats of loss of weight in skeletal muscle after nerve section with some observation on the effect of stimulation and other treatment, *J. Physiol.*, 49 : 432, 1915.
36. Marybeth B. Prem P, G. : Effect of high voltage stimulation on cutaneous wound healing in rabbits. *Physical Therapy*, 67~663, 1986.
37. Ogata, T. and Mori, M. : Histochemical study of oxidative enzyme in vertebrate muscle. *J. Histochem. Cytochem.* 12 : 171, 1964.
38. Pachter, B.R., Eberstein, A. and Goodgold, J. : Electrical stimulation effect on denervated skeletal myofibers in rats : A light and electron microscopic study. *Arch. Physiol. Med Rehabil*, 63 : 472, 1982.
39. Pette, D., Muller, W., Leisner, E. and Vrbova, G. : Time dependent effects on contractile properties, fibre population, myosin light chains and enzymes of energy metabolism in intermittently and continuously stimulated fast twitch muscle of the rabbit. *Pfluegers Arch.*, 346 : 103, 1976.
40. Riley, D.L. and Allin, E.F. : The effects of inactivate programmed stimulation and denervation in the histochemistry of skeletal muscle fiber types. *Exp. Neurol.*, 40 : 391, 1973.
41. Romanul, F.C.A. : Enzymes in muscle. I. Histochemical studies of enzyme in individual muscle fiber. *Arch. Neurol.*, 11 : 355, 1964.
42. Romanul, F.C.A. and Hogan, E.L. : Enzymatic changes in denervated muscle : I.

- Histochemical study. *Arch. Neurol.*, 13 : 263, 1964.
43. Romanul, F.C.A. and Meulen, J.P. : Slow and fast muscles after cross innervation. *Arch. Neural.*, 17 : 387, 1967.
  44. Schmirig, K., Mclaughlin, J., Gruninger, W. : The effect of electrical stimulation on the experimentally denervated rat muscle, 2nd J. Rehab. Md., 9 : 55, 1977.
  45. Sunderland, S. : Nerve and nerve injury 2nd ed. Edinburgh Churchill Livingstone., 1978.
  46. Suzuki, A. and Tabnate, H. Distribution of myofiber types in the hip and thigh musculature of sheep. *Anat. Rec.*, 221 : 494~502, 1988.
  47. Thomas, M.M., Thomas, K.A. : Effect of high voltage stimulation on edema reduction in the rat hind limb, *Physical Therapy* 66~1703, 1987.
  48. Tidy : Massage and remedial exercise. John Wrisht and Sons LTD., 5, 1976.
  49. Verhaagen, J., Oestreicher A.B., Edward, P.H., Veldmann, H., Jennekens, F.G.I., Gispens W.H. : Light and electron microscopical study of phosphoprotein b-50 following denervation and reinnervation of the rat soleus muscle. *J. Neurosci.* 1759~1768, 1988.
  50. Weibel, E.R., Kistler, G.H. and Scherle, W.F., : Practice stereological methods for morphometric cytology. *J. Cell Biol.*, 30 : 23, 1966.
  51. White, N.A. II, McGavin, M.D. and Smith, J.e. : Age-related change in percentage of fiber types and mean fiber diameters of the ovine quadriceps muscle. *Am. J. Vet. Res.*, 39 : 1297~1302, 1978.