

## 흰쥐에서 관절고정으로 유도한 위축하지근의 glycogen 함량과 당 섭취

영남대학교 의과대학 정형외과학교실 · 생리학교실\*

인주철 · 안종철 · 안면환 · 전춘배 · 이석강\* · 김종연\* · 김용운\*

울산대학교부설 현대해성병원

### 정 회 영

=Abstract=

#### Glycogen Metabolism and Glucose Uptake Rate of the Skeletal Muscle after Hind-limb Immobilization in Rats.

Joo Chul Ihn, M.D., Jong Chul Ahn, M.D., Myun Whan Ahn M.D., Chun Bae Jeon, M.D.,  
Suck Kang Lee\*, M.D., Jong Yeon Kim\*, M.D., Yong Woo Kim\*, M.D.  
and Hee Young Chung\*\*, M.D.

*Department of Orthopedic Surgery, School of Medicine, Yeungnam University*

*\*Department of Physiology, School of Medicine, Yeoungnam University*

*\*\*Department of Orthopedic Surgery, Huundai Haesung Hospital Ulsan University*

The effects of hind-limb immobilization by skeletal fixation of bilateral ankle and knee joints for either one or five weeks on glycogen concentrations, glycogen resynthetic activities and insulin responses to glucose uptake of hind-limb muscles were studied on male Sprague-Dawley rats.

There were significant drops in muscle wet weight to body weight ratio of immobilized soleus and plantaris. In the group immobilized for one week, the ratios of soleus and plantaris were decreased by 11% and 38% respectively; and in the group immobilized for five weeks, the ratios were decreased by 42% in both muscles equally.

The glycogen concentration and glycogen resynthetic activities of soleus and plantaris muscles in immobilized rats were decreased significantly in the one week group. However, in the five week group, these values were increased significantly compared to the values of those muscles of the one week group. The increased values of the five week group did not exceed those of the control group.

The glucose uptake rate of the soleus muscle of the hind-limbs immobilized for one week and for five weeks were studied in vitro. The basal glucose uptake rate of the muscle of the control group was  $8.4 \pm 0.77$  Mol/gm/20min. The values of basal rate and insulin responses to the glucose uptake rates in the doses of physiological and supramaximal on the soleus muscles immobilized for one week was significantly decreased, but after immobilization for five weeks, these values were not significantly different statistically from those of the control group statistically.

**Key Words:** Immobilization, Muscle, Experiment, Glycogen, Metabolism.

### 서 론

실험실에서 골격근 위축은 여러가지 방법으

로 유도할 수 있으며, 신경제거<sup>20)</sup>, 건절술<sup>21)</sup>, 관절고정<sup>19)</sup>, 석고고정<sup>6)</sup> 그리고 최근에는 우주 여행과 관련한 무중력부하 실험으로 하지 현수(hind-limb suspension) 방법<sup>11, 16)</sup> 등이 많이 이용

되고 있다. 그러나 위축근의 생리-생화학적 반응은 유도 방법에 따라서 약간의 차이가 인지되고 있으며, 흰쥐를 실험동물로 하여 하지를 1-2주간 현수한 결과 하지근 중 서근 섬유로 구성된 soleus근이 속근 섬유가 많은 gastrocnemius나 plantaris근 보다 더 심한 위축을 보였다는 보고<sup>16,17)</sup>가 있으나, 연구자들<sup>5,7,8,15)</sup>에 따라서 약간의 차이가 있으며, 종합적으로 볼때 하지 고정등에 의한 근 위축이나 근 조직변성등은 비슷한 양상임을 알 수 있다.

그외에도 위축근에 관한 연구<sup>7,8,15)</sup>는 많은 편이며, 근운동제한(hypokinesia) 초기에 뇨 요소 및 암모니아의 배설량이 증가하는 것은 근 단백질의 심한 이화현상을 암시하는 것이며, 특히 뇨중 3-methylhistidine의 배설 증가는 이 아미노산이 그 수축 단백질인 actin과 myosin의 독특한 성분인 점을 감안할때 근 수축단백의 파괴<sup>16)</sup>는 물론 근 수축력의 현저한 감소를 추정할 수 있다.

한편 위축근의 에너지 대상에 관한 연구는 위축근의 생화학적 특성의 일단을 규명할 수 있는 것으로 기대되며, 또 정형외과적인 질병의 치료 및 예후판정에 중요한 지침이 될 것으로 사료되어 흥미로우며, 특히 glycogen 합성능과 근 섬유의 당 섭취에 대한 인슐린의 반응양상과 근 섬유의 특성에 따른 이들 대사의 차이는 골격근의 생리-생화학적 연구에 중요한 자료가 될 것으로 사료된다.

Fell등<sup>9)</sup>은 전신현수(whole-body hypokinetic-hypodynamic suspension)의 방법으로 하지의 운동을 제한한 결과 7일후에 하지근 섬유의 산화능(oxidative capacity)의 감소를 관찰하였으며, 당섭취능도 감소하였으며, 인슐린에 대한 반응도 인슐린의 생리적인 농도(physiologic dose)에서나 초최대농도(supramaximal dose) 모두에서 낮았다고 하였다. 이와 비슷한 운동제한 초기의 당 대사에 관한 보고는 많으나, 비교적 오랜시간 동안의 운동제한시 glycogen 합성, 당 섭취에 대한 인슐린의 태도등에 관한 연구 보고는 그리 흔치않다.

본 연구에서는 흰쥐를 재료로 하여 족 관절과 무릎 관절을 고정하여 하지의 운동제한을 1주간 및 5주간 가한 후 하지근의 glycogen 함량을 측정하였으며, 또 경구로 glucose 용액을 투여한 후 glycogen으로 재합성되는 양을 조사하여 대조군의 그것들과 비교하였다.

이때 위축근의 기초 당 섭취능과 당 섭취능

에 대한 인슐린의 반응을 동시에 관찰하여 위축근의 glycogen 대사변화의 생리적 기전의 일단을 규명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

본 연구에서 사용한 실험동물로는 Sprague-Dawley 종 흰쥐 수컷이었으며, 체중은 300gm 내외였다. 먼저 실험동물을 대조군과 관절고정군으로 나누었으며, 관절 고정군은 다시 1주군과 5주군으로 세분하였다.

관절 고정은 양쪽 하지를 동시에 고정하였으며, 고정방법은 정형외과에서 사용하는 직경 0.035inch 굵기의 K-강선으로 족 저부를 통해서 종골과 경골 하단을 고정하고, 대퇴골 하단과 경골 상단을 무릎위 피부를 통해서 강선을 삽입하여, 고정함으로써 상하 양관절을 동시에 고정하였다. 실험 재료로는 하지근 중 서근의 대표적인 근육인 soleus근과 대부분이 속근 섬유로 구성된 plantaris근을 사용하였다. 모든 실험과정은 오후 1시부터 물을 제외한 모든 음식을 제한하여 약 24시간 절식시켰다. 본 실험에서 24시간 절식시킨 이유는 근육내 저장 glycogen량을 감소시키므로 glycogen 재합성량 및 당 섭취량을 가시화할 목적이었다.

근 glycogen의 정량을 위해서 실험동물을 thiopental sodium (40mg/kg, ip)으로 마취시켰으며, 복 대동맥을 통해서 실험 치사시킨 후 양쪽 하지로부터 soleus근과 plantaris근 전체를 완전히 적출하여 Mettler PC 220형의 top load balance로 무게를 정확히 측정하여 체중에 대한 근 무게의 비를 구하여 근 위축정도를 판단하였다. 이 중 30-50mg의 조직을 별도로 취하여 Lo등<sup>18)</sup>의 방법으로 glycogen을 정량하였다. 또 근 glucose의 재합성 양상을 보기 위하여 실험동물을 약한 ether 마취하에서 25% glucose 용액을 체중 100gm당 2ml씩 경구 투여하고 2시간 후에 위에서와 같은 방법으로 glycogen을 정량하였다.

근육의 당 섭취량은 측정 및 인슐린에 대한 반응을 추구할 목적으로는 서근인 soleus근을 사용하였다. 먼저 thiopental sodium으로 마취한 후 흰쥐를 양와위로 고정하고, 하지 부위의 털을 제거한후 하지 뒷면으로 피부 절개를 가하여 조심스럽게 soleus근을 노출하였다. 노출된 soleus근을 정상 근 긴장도를 유지한 상태에서 본 교실에서 고안한 two leg pin을 사용하여

세로로 조심스럽게 고정된 후 soleus 근 전체를 적출하였다. Two leg pin으로 고정된 soleus 근에 또 하나의 다른 two leg pin을 같은 방향으로 고정하여 예리한 면도날을 사용하여, 가운데 부위에서 세로로 절개하여 일측 하지로부터 2개의 soleus 근 표본을 작성하여 배양액에 현수할 때까지 소요되는 시간은 약 1분이었다.

시험관 실험에서 당 섭취량 측정: 먼저 Krebs-Henseleit 완충용액을 준비한 후 3-O-methylglucose (8m Mol/L, sigma chemical Co.)와 New England Nuclear 회사제품인 H-3-0-methylglucose (18u Ci/10ml) 및 C-mannitol (6u Ci/100ml)를 가하여 산도 7.4의 배양액을 만들었다. 배양액은 실험전에 37°C의 항온조에 보관하면서 산소 95%-탄산가스 5%의 조성의 공기를 계속적으로 통기시켰다. 먼저 3ml의 배양액을 취하여 본 교실에서 고안 제작한 10ml들의 유리용기에 넣고 마취하의 생체에서 적출한 약 20mg 크기의 근 표본을 20분간 배양 (incubation)한 후 근육의 당 섭취량을 방사능 검사를 통해서 측정하였으며, 배양기간 동안 계속적으로 위에서와 같은 조성의 공기를 통기하였다. 배양후 근표본을 10ml의 4°C 내외의 찬 생리 식염수로 표면에 묻어있는 배양액을 깨끗이 씻어내고 여과지로 물기를 제거한후 무게를 정확하게 평량하였다. 평량이 끝난 근표본을 20ml 용량의 scintillation vial에 넣고 강염기성의 protosol (New England Nuclear Co.) 1ml를 가하여 가끔 흔들어 주면서 24시간 방치한다. 방사능 측정을 위하여 24시간 방치한 vial에 10ml liquifluor (New England nuclear Co.)를 첨가한 후 liquid scintillation counter (Rackbet, LKB)로 방사능을 측정하였다. 근육의 당 섭취량의 계산은 Okita등<sup>18)</sup>이 사용한 double isotope 법으로 하였다.

인슐린의 반응을 보기 위해서는 배양액에 인슐린 (Nordick, Denmark)을 첨가했으며, 배양액 ml당 생리적 량에 해당되는 200u U와 초최대 량인 20,000u U2군으로 하였다.

## 성 적

하지 관절 고정 1주 및 5주군에서 soleus 근과 plantaris 근의 위축정도를 근무게-체중의 비로 평가하였다. Soleus 근의 대조군의 그것이  $3.94 \pm 0.474 (\times 10^{-4})$ , 이하 같음)인데 1주 군은  $3.49 \pm 0.379$ , 5주군은  $2.28 \pm 0.650$ 으로 각각 11

% 및 42% 무게가 감소하여 통계적으로 유의하였으며, 그 경사도는 완만하였다. Plantaris 근의 대조군에서  $9.61 \pm 0.936 (\times 10^{-4})$ 으로서 soleus보다 무게가 약 3배 더 무거웠으며, 관절 고정 1주 및 5주 군에서 각각  $5.99 \pm 0.449$  및  $5.56 \pm 0.118$ 로서 제 1주 동안에 무게가 약 38%나 많은 유의한 감소를 보인 반면, 5주 군의 무게는 1주군의 무게에 비해서 단지 4% 정도 감소하여 1주 군의 그것과 비교하여 통계적인 유의성은 없었다 (Table 1).

고정후에 위축근의 glycogen 농도의 관찰에서는, soleus 근에서 대조군이  $0.17 \pm 0.052$  (mgm/10mgm wet tissue, 이하 단위 같음)인데 비해서 1주 및 5주군에서 각각  $0.13 \pm 0.054$  및  $0.25 \pm 0.070$ 으로서 1주 군에서는 감소하는 경향을 보인데 반해서 5주 군은 오히려 대조군보다 높았다. Plantaris 근에서도 관절 고정기간에 따른 glycogen 농도는 soleus 근의 그것과 비슷한

**Table 1.** Effect of hindlimb immobilization on muscle weight to body weight ratio in rats.

	Control	Immobilization	
		1	5 weeks
Soleus	$3.94 \pm 0.474$	$3.49^* \pm 0.379$	$2.28^{**} \pm 0.650$
wet wt/BW $\times 10^{-4}$	(12)	(9)	(14)
% changes	100.0	88.6	57.9
Plantaris	$9.61 \pm 0.936$	$5.99 \pm 0.449$	$5.56 \pm 0.118$
wet wt/BW $\times 10^{-4}$	(12)	(9)	(14)
% changes	100.0	62.3	57.9

Values are means  $\pm$  SD; Values in parentheses are number of cases; \*P < 0.01 \*\*P < 0.0001 vs control; \*\*P < 0.0 vs 1 week.

**Table 2.** Glycogen concentration of the soleus and plantaris muscles after 1 and 5 weeks hindlimb immobilization in rats

	Control	Immobilization	
		1	5 weeks
Soleus	$0.17 \pm 0.052$	$0.13 \pm 0.054$	$0.25 \pm 0.070^*, \#$
	(6)	(9)	(6)
Plantaris	$0.44 \pm 0.054@$	$0.13 \pm 0.071^{**}$	$0.33 \pm 0.144^*, \#$
	(6)	(9)	(6)

Values are means  $\pm$  SD; Values in parentheses are number of cases; \*P < 0.05, \*\*P < 0.0001 vs control; #P < 0.005 vs 1 week; @P < 0.0001 vs soleus.

**Table 3.** Glycogen concentration of the soleus and plantaris muscle after glucose ingestion (0.2g/100g BW) in hindlimb immobilized rats

	Soleus		Plantaris	
	Fasting	After glucose ingestion	Fasting	After glucose ingestion
Control	0.17±0.052(6)	0.068±0.117*(6)	0.44±0.053(7)	0.66±0.107*(6)
% change	100	381	100	150
1 Week	0.13±0.054(9)	0.23±0.115**(7)	0.13±0.071##(10)	0.018±0.089(8)
% change	100	125	100	138
5 Week	0.25±0.070##(6)	0.58±0.144*(8)	0.34±0.135##(10)	0.55±0.178*(10)
% change	100	231	100	163

Values are means±SD; Values in parentheses are number of cases; \*P<0.0001, \*\*P<0.05 vs sedentary; ##P<0.0001 vs control.

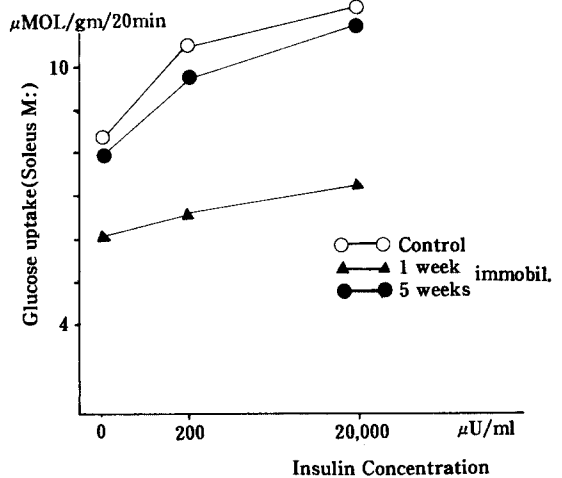
**Table 4.** In vitro glucose uptake of soleus muscle in 1 and 5 weeks immobilizing rats

	Basal rate	Insulin	
		200	20000uU/ml
Control	8.4±0.77(6)	10.5±0.87#(8)	11.4±1.31##(7)
Immobilized			
1 week	6.1±0.67*(5)	6.6±0.52*(5)	7.3±0.83*,#(5)
5 weeks	8.1±1.07(6)	9.8±1.73#(6)	11.0±1.77##(6)

Values are means±SD; values in parentheses are number of cases; \*P<0.001 vs control; #P<0.05, ##P<0.001 vs basal rate.

양상을 보여서 대조군에서  $0.44 \pm 0.054$ 인데 비해서 1주 및 5주 군에서 각각  $0.13 \pm 0.071$  및  $0.33 \pm 0.144$ 으로서 대조군보다 유의하게 낮았으며, 5주군의 값은 1주 군의 그것보다 높았다. 서근 및 속근에서 다같이 5주 군이 1주 군보다 높은 값으로 나타내는 것은 흥미로운 결과를 사료된다(Table 2).

경구 glucose 투여후 glycogen으로 재합성되는 양을 측정한 결과는 대조군의 soleus근에서는 금식후  $0.17 \pm 0.052$ 에서 경구 glucose 투여후에  $0.68 \pm 0.117$ 로 약 4배로 증가하였으나, 관절 고정 1주군에서는 약 1.7배, 5주군에서는 2배 정도 증가하여 관절 고정후의 glycogen 재합성능이 대조군의 그것에 비하여 크게 저하된 것을 나타내었다. plantaris근에서는 대조군에서 금식후  $0.439 \pm 0.053$ 에서 경구 glucose 투여후  $0.66 \pm 0.107$ 로 증가하였으나, 제 1주군에



**Fig. 1.** Decreased glucose uptake rate of immobilized soleus muscle in rats.

서는 glucose 경구투여 후에도 통계적으로 유의한 증가를 보이지 않았으며, 제5주 군에서는 증가의 정도가 대조군의 그것보다 낮았지만 유의한 증가를 보였다(Table 3).

Plantaris보다 인슐린에 대한 예민도가 높은 soleus근을 대상으로 하여 시험관에서 당 섭취량을 측정한 결과, 대조군에서 기초 당 섭취량(basal glucose uptake rate)은  $8.4 \pm 0.77 \mu \text{mol/gm/20min}$  (이하 동일단위임)이 었으며, 이것은 다른 연구자들의 측정치와 비슷한 값이었다(Table 4, 5).

생리적인 인슐린 농도에 해당하는 배양액 ml 당 200u U를 가하였을때 당 섭취량은  $10.5 \pm 0.87$ 로서 기초 섭취량에 비해서 유의하게 증가하였으며, 초최대농도에 해당하는 2000u U에서는  $11.4 \pm 1.31$ 로서 생리적 농도에 능가하는 반응을 보였다. 관절고정 1주에서 기초 당섭취량은  $6.1 \pm 0.67$ 로서 대조군이 그것에 비해서 유

의하게 낮았으며, 인슐린 첨가군에서도 대조군의 그것보다 낮았다. 관절고정 5주 군에서는 glycogen 농도나 glycogen 재합성능이 1주 군에 비해서 약간 높은 것을 볼 수 있었으며, 5주군의 당 섭취량도  $8.1 \pm 1.07$ 로서 대조군의 그것과 통계적인 차이를 발견할 수 없었으며, 인슐린에 대한 반응의 정도도 200 및 2000u U군에서 다같이 증가하여 대조군의 그것들과 사이에 별다른 차이가 없었다.

## 고 찰

본 연구에서는 관절 고정방법으로 유도한 위축 골격근의 glycogen 저장량 및 재합성능을 추구하였으며, 위축근의 glycogen 대사가 억제됨을 확인하고 그 변화에 대한 기전의 일단을 추적하기 위해서 시험관 실험을 통한 그 세포의 당 섭취능과 인슐린에 대한 반응양상을 추구하였다.

실험결과 관절 고정에 의한 근 위축의 정도가 초기에는 속근인 plantaris 근의 위축이 서근인 soleus 근보다 현저하였으며, 제 5주에서는 위축정도가 양 근에서 같았다.

이 결과 다른 연구자들<sup>5,7,8,15)</sup>의 연구결과와 비슷하였으며, 전신 현수로 유도한 연구<sup>16,17)</sup> 결과와는 약간의 차이가 있었다. 하지 현수와 관절 고정의 근본 차이는 현수에 의해서는 의지적인 운동의 일부가 가능하지만 관절 고정시에는 하지 운동이 완전히 불가능하므로 근육에 가해지는 부담의 차이가 있으며, 이로인한 근육의 반응이 다를 것으로 사료된다.

골격근 섬유의 특성에 따라 당 대사에 차이가 있다는 것은 많은 연구자<sup>1,2,10,13,14)</sup>들에 의해서 규명되고 있으며, 인슐린에 대한 반응도 차이가 있음이 증명되고 있다<sup>2,3,4)</sup>. 1주간 완전 운동제한에 의해서 속근 및 서근의 glycogen 농도가 다같이 감소하였으며, 특히 속근의 감소정도가 서근에 비해서 유의하게 높았다. 이것은 근 무게의 감소 경향과 동일한 경향이었으며, 혈류나 미토콘드리아의 산화효소가 풍부한 서근보다 속근이 운동중에 의해서 더 쉽게 피로한다는 보고<sup>10)</sup>와 비유하여 생각할때 하지 고정에 의한 근 위축의 정도가 plantaris 근에서 더 크고 glycogen 농도도 낮은 것이 아닌가 사료된다.

관절 고정 1주 군에서 glycogen 농도나 glycogen 재합성능이 대조군의 그것들보다 현저히 감소하였으며, 이것은 기초 당 섭취능이 대조군의 그것보다 유의하게 낮은것이 그 원인의 일부가 아닌가 사료되며, 동일한 위축근이 200u U의 인슐린 첨가에 의해서도 기초 섭취능의 수준에 머물고 있는 것은 근세포 표면의 인슐린 receptor의 기능에 변화가 온것이 아닌가 사료된다. 이때 초최대농도의 인슐린에 의해서도 단지 약간의 증가 경향을 보이고 있는 것은 근 세포내 효소계의 기능 즉 postreceptor event에도 변동이 온 결과 glycogen 농도의 감소 및 glycogen 재합성능이 억제되는 것이 아닌가 추정된다. 5주간 관절 고정을 한 군에서 근 위축의 정도는 1주 군보다 큰데 비해서 glycogen의 농도나 glycogen 재합성능은 오히려 높아졌으며, 또 시험관 실험에서 근 세포의 당 섭취능이나 인슐린에 대한 반응이 대조군의 그것과 별 차이가 없는 것은 예상밖의 현상으로서 설명이 어렵다 하겠다. 다만 관절 고정 초기에 올수 있는 급작스럽고 완전한 부동작성이 혈류의 급격한 감소를 초래하고 그외 많은 생리적 변화를 야기한결과로 glycogen 대사의 심한 혼란을 초래한 반면 5주간의 비교적 장기간의 고정을 통한 고정 하지근의 기능적인 적응이 glycogen 대사의 회복을 하게된 원인이 아닌가 추정되기도 하나 본 연구 결과만으로 단정하기 어려우며, 또 하나 간과하기 어려운 것은 5주간의 뼈를 통한 강선관절 고정이 차츰 느슨해진 결과 불완전한 관절 고정으로 근 운동의 일부가 회복된 것이 원인으로 작용한 것이 아닌가 생각된다. 그러나 5주 군에서 체중에 대한 근 무게의 비가 1주 군의 그것보다 많이 감소한 것으로 보아 불완전 고정만으로 설명하기는 어렵다 하겠다.

종합적으로 볼때, 관절 고정에 의한 위축근의 glycogen 대사가 정상근의 그것보다 억제된 것은 당 섭취능의 감소와 아울러 인슐린에 대한 반응도 감소가 하나의 원인으로 사료되며, 앞으로 위축은 세포내 glycogen 합성기전의 변화에 대한 추구는 흥미로운 과제로 사료된다.

## 요 약

하지 관절 고정으로 유도한 위축근의 glyco-

gen 농도, rickettsia 재합성능 및 당 섭취와 인슐린에 대한 반응을 조사한 본 실험결과를 요약하며 다음과 같다.

관절 고정에 의한 근육의 위축정도는 체중에 대한 근육의 무게비로 평가하였다. Soleus 근육은 제 1주 군에서 체중에 대한 무게비가  $3.49 \times 10^{-4}$  으로서 대조군의 그것보다 약 11% 감소하였으며, 제 5주군은 42% 감소하여 고정기간에 따른 근육 위축정도는 직선적인 양상으로 감소하였다. Plantaris 근육은 제 1주 및 제 5주에 각각 38% 및 42% 감소하였으며, 감소정도가 첫 1주에 심하였으나, 제 5주에는 미미하였다.

위축근의 glycogen 농도는 soleus 근육에서 제 1주 군에서 유의하게 감소하였으나, 5주군은 오히려 증가하였으며, plantaris 근육에서도 같은 양상이었다.

위축근의 glycogen 재합성량은 제 1주 군에서 양 근육 모두에서 대조군에 비해서 유의하게 낮았으나 5주 군에서는 오히려 증가하였다.

당 섭취능은 인슐린에 대한 반응이 예민한 것으로 알려진 soleus 근육을 대상으로 측정한 결과 대조군의 기초 섭취량은  $8.4 \pm 0.77 \mu \text{Mol}/20\text{min}$  이었으며, 인슐린 첨가에 의해서 증가함을 볼 수 있었으나, 관절 고정 제 1주 군에서는 기초 섭취량이  $6.1 \pm 0.67$ 로서 유의하게 감소하였으며, 생리적 및 초최대농도의 인슐린 첨가에 의해서도 정상수준에 이르지 못하였고 반응 곡선은 오른쪽으로 기울어졌음을 볼 수 있었다. 제 5주군에서는 기초 섭취량 및 인슐린 첨가시 모두에서 거의 정상수준이었음을 알 수 있었다.

## REFERENCES

- 1) 김종연, 김세동: 운동부하가 절식 흰쥐의 골격근 및 간장 glycogen 함량에 미치는 영향. 최신의학, 28:41-46, 1985.
- 2) 박미영, 김용운, 김종연, 이석강: 대상성 비후 하지근에서 근섬유의 특성에 따른 glycogen 재축적량. 대한의학협회지, 32:61-66, 1989.
- 3) 인주철, 김세동, 이동철, 이석강, 이영만, 김종연: 골격근의 초기 glycogen 함유량의 정도와 glucose 경구투여가 근육 glycogen의 재축적에 미치는 영향. 대한정형외과학회지, 22:349-355, 1987.
- 4) 정경화, 김종연, 김용운, 이석강: 흰쥐에서 운동부하후 경구투여한 glucose가 특성이 다른 골격근에서 glycogen으로 합성되는 속도. 영남의대학술지, 5:79-6, 1988.
- 5) Bergman, R.A., and Afifi, A.K.: The structure of the rabbit soleus muscle and the structural alterations resulting from tenotomy. Johns Hopkins Med. J., 124:119-131, 1969.
- 6) Both, F.W.: Time course of muscle atrophy during immobilization of hind-limbs in rats. J. Appl. Physiol., 43:656-661, 1977.
- 7) Eccles, J.C.: Investigations on muscle atrophies arising from disuse and tenotomy. J. Physiol. London, 103:255-266, 1944.
- 8) Edgerton, V.R., Barnard, R.J., and Peter, J. B., Marier, A. and Simpson, D.R.: Properties of immobilized hind-limb muscles of the Calago Senegalesis. Exp. Neurol., 46:115-131, 1975.
- 9) Fell, R.D., Gladden, L.B., Steffen, J.M., and contraction of slow and fast muscle in hypokinetic/hypodynamic rats. J. Appl. Physiol., 58:65-69, 1985.
- 10) Fell, R.D., Steffen, J.M., and Musacchia, X. J.: Effect of hypokinesia-hypodynamia on rat muscle oxidative capacity and glucose uptake, Am. J. Physiol., 249(Regulatory Integrative Comp. Physiol. 18): R308-R312, 1985.
- 11) Fitts, R.H., Metzger, J.M., Riley, D.A., and Unseorth, B.R.: Models of disuse: a comparison of hind-limb suspension and immobilization. J. Appl. Physiol., 60:1946-1953, 1986.
- 12) Guba, F., Takacs, A., Kiss, A., Szoor, A. and Szilagyi, T.: The effect of disuse on protein patterns in fast and slow twitch muscle. Plasticity of muscle, Ed. by D. Pette. New York: de Gruyter, 1980, pp. 507-523.
- 13) Hermansen, L., Hultman, E. and Saltin, B.: Muscle glycogen during prolonged severe exercise. Acta Physiol. Scand., 71:140-150, 1967.
- 14) Lo, S., Russel, J.C., and Taylor, A.W.: Determination of glycogen in small tissue samples. J. Appl. Physiol., 28:234-236, 1970.
- 15) Man, W.S., and Salafsky, B.: Enzymatic and physiological studies on normal and disused

- developing fast and slow cat muscles. J. Physiol. London*, 208:33-47, 1970.
- 16) Musacchia, X.J., Deavers, D.R., Meininger, and Davis, T.P.: *A model for hypokinesia: effects on muscle atrophy in the rat. J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 48:479-486, 1980.
  - 17) Musacchai, S.J., Steffen, J.M., and Deavers, D.R.: *Rat hind-limb muscle responses to suspension hypokinesia/hypodynamia. Avia. space Environ. Med.*, 54:1015-1020, 1983.
  - 18) Okida, G.T., Kabara, J.J., Richardson, F., and Le-Roy, G.V.: *Assaying compounds containing H and C. Nucleonics*, 15:111-114, 1957.
  - 19) Stephen, R.M.: *Muscular atrophy: activation of mitochondrial ATPase. Bioch. Biophys. Resear. Communi.*, 52:1278-1284, 1973.
  - 20) Stewart, K.M.: *Effect of age on response of four muscles of rat to denervation. Am. J. Physiol.*, 214:1139-1146, 1966.
  - 21) Vrbor, G.: *The effect of motor neuron activity on the speed of striated muscle. J. Physiol. London*, 169:513-526, 1963.