

흰쥐의 후지 석고 고정, 탈신경 및 부유에 의한 근위축의 비교

고려대학교 보건대학 물리치료과
윤 범 철 · 이 명 화* · 김 난 수 · 홍 혜 정
신구대학 물리치료과
유 병 규

Comparison of Muscle Atrophy Induced by Cast Fixation, Denervation and Suspension of Rat Hindlimb

Yoon, Bum-Chul, Ph.D., P.T., O.T. · Lee, Myoung-Hwa*, M.S., P.T.
Kim, Nan-Soo, M.S., P.T. · Hong, Hye-Jung, M.D.

Dept. of Physical Therapy, College of Health Science, Korea University

Yu, Byong-Kyu, Ph.D., P.T.
Dept. of Physical Therapy, Shin-gu College

< Abstract >

The aim of this study was to compare features of muscle atrophy induced by cast fixation, denervation and suspension of rat hindlimb. Muscle mass and glycogen of the soleus and plantaris muscles were studied after 3, 7, or 14 days of cast fixation, denervation and suspension.

The results were as follows:

1. Body weight of rats decreased significantly after 3 days and showed gradually increase after 7 and 14 days of hindlimb cast fixation, denervation and suspension. Particularly hindlimb suspended rats showed a rapid decrease after 3 days in body weight.
2. Relative weight of soleus and plantaris muscles decreased significantly by hindlimb cast fixation, denervation and suspension, particularly after 7 days. The decrease rate was the lowest in suspended rats.
3. Glycogen content of soleus muscle decreased significantly after 14 days of hindlimb cast fixation, denervation and suspension. Also glycogen content of plantaris muscle decreased significantly after 14 days of hindlimb cast fixation and denervation, but not significantly after hindlimb suspension.

These results indicate that suspension of hindlimb muscles causes less atrophy than cast fixation or denervation, likely due to maintainment a few activities during hindlimb suspension.

We concluded that the decrease in mechanical strains imposed on the muscle during inactivity was the main factor for the development of atrophy. These basic data suggest that some experimental conditions such as electrostimulation or stretching, participate in countermeasure programmes.

I. 서론

팔거근은 정상적인 운동신경지배, 고유수용성감각 작용, 체중지지와 근수축으로 발생하는 기계적 스트레스가 존재할 때 완전한 기능을 할 수 있다(Fell 등, 1985; Finol 등, 1981; Fredericks, 1996; Salvatori 등, 1989). 만약 이들 요인 중 하나가 변화되면 근육은 구조와 기계적 특성, 에너지 대사를 새로운 기능수준에 맞추어 빠르게 적응하게 된다.

이러한 내적, 외적 환경변화에 따른 근육의 적응을 연구하기 위한 실험모델로는 일반적으로 동물을 사용해왔다. 특히 쥐를 이용하여 사지의 석고 고정(Booth, 1982, 1987; Fitts 등, 1989), 탈신경(Jaweed 등, 1975; Kobayashi 등, 1997; van Meeteren 등, 1997), 부유 또는 현수(Desplanches 등, 1987; Fitts 등, 2000) 등과 같은 방법들을 통한 실험이 최근까지 활발히 진행되고 있다.

이들 실험의 결과, 근위축이 초래되어 근량이 줄고(Herbert 등, 1988; Jaspers과 Tischler, 1984), 수축 능력이 저하되며(Fitts 등, 1986; Herbert 등, 1988; Templeton 등, 1984), 근육의 생리학적(Fitts 등, 1986; Herbert 등, 1988; Templeton 등, 1984; Tsika 등, 1987), 조직학적(Desplanches 등, 1987; Graham 등, 1989; Hauschka 등, 1987, 1988; Roy 등, 1987), 생화학적(Baldwin 등, 1984; Desplanches 등, 1987; Fitts 등, 1986; Tsika 등, 1987) 특성들이 변화된다는 것을 밝혀냈다. 근위축 및 특성의 변화는 초기에 빠르게 진행되어 극적인 적응이 며칠 내로 일어나고 차차 느린 속도로 진행되며, 이들 실험적 처치의 결과 공통적으로 일어난다(Pierotti 등, 1990).

다른 조직과 마찬가지로 근육은 단백질 합성과 분해 속도의 균형으로 질량이 유지된다. 사지의 고정, 탈신경, 부유는 단백질대사에 영향을 미쳐 근육의 이화작용을 일으킴으로써 근위축을 유발하게 된다(Lieber, 1992; Appell, 1990; Sandler, 1986). 그러나 근육 부하와 활동의 기능적 요구가 단백질 합성과 분해 속도의 균형을 어떻게 조절하는 가는 정확히 알려져 있지 않다(Fredericks, 1996).

후지 고정의 모형은 근육의 활동을 제한시킬 뿐만 아니라 체중부하도 제거하여 근위축을 일으키고(Fredericks, 1996; Lindboe과 Platou, 1982), 탈신

경 모형은 근육에 대한 신경영양적 인자의 결손 및 근수축 기능의 상실에 따른 비활동을 유발함으로써 근위축을 일으킨다(Allt, 1975; Dobkin 1996; Guyton, 1986). 한편 후지 부유 모형은 비교적 활동을 유지시키는 상태에서 체중 부하를 제거함으로써 위축을 유발한다(Pierotti 등, 1990). 따라서 이들 실험 모형에 따라 유발되는 근위축의 정도와 양상이 다르게 나타날 것으로 생각된다. 이에 사지의 석고 고정, 탈신경 및 부유에 따른 근육의 형태적, 대사적 변화의 양상을 비교하고, 이에 대한 가능성이 있는 기전을 밝히는 것도 의의가 있으리라고 본다.

본 연구에서 쥐의 후지에 석고 고정, 탈신경 및 부유를 적용한 후, 조직화학적으로 근섬유형의 분포가 다른 가자미근(soleus)과 족척근(plantaris)에서 근 무게 및 글리코겐 농도를 시기별로 측정하여 그 결과를 알아보았다. 이는 향후 임상에서 여러 가지 원인에 의한 신경근육 질환 환자에게 개별적이고 효과적인 물리치료적 접근방법을 개발하는데 기초 자료로써 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

II. 연구방법

1. 실험동물

체중 200~280g인 Sprague-Dawley계 숫컷 쥐 36마리를 사용하였다. 실험동물을 대조군, 석고 고정군, 탈신경군, 부유군으로 구분하고 다시 각 집단을 3일, 7일, 14일군으로 나누어 각각 3마리씩 무선 할당하였다. 실험동물들을 항온, 항습이 유지되는 동일한 실험실 환경에서 사판되는 고형사료와 물을 충분히 공급하였다.

2. 고정, 탈신경, 부유 방법

1) 석고 고정

Gossman 등(1981)의 방법을 변형하여 쥐의 우측 후지를 먼저 스타킹으로 감싼 다음 석고로 다시 스타킹위를 감쌌다. 석고 고정이 끝난 후에 plastic cast를 석고위에 씌워 흰쥐가 석고를 감는 것을 방지하였다(Figure 1) 고정시 다리의 자세는 슬관절과 족관절을 약간 굴곡시켜 단축위로 고정하였다(Jokl와 Konstadt, 1983).

2) 탈신경

쥐를 복강내 마취(pentobarbitone 40mg/kg BK)한 후, 대전자부와 슬관절을 이은 선의 1/2근위에서 피부를 2~2.5cm 정도의 길이로 절개하고 둔부와 슬와부의 근육을 박리하여 좌골신경을 노출시켰다. 노출된 신경이 좌골절흔에서 출현하는 부위로부터 5~6mm 정도 내려간 원위부를 틀루이던 청으로 정밀하게 표시한 후, 그 부위에서 견인되지 않도록 조심스럽게 신경을 들어올려 지혈겸자(NO.5 jeweler's forceps)로 표시해둔 부위에 30초간 압박손상을 주었다(Koning 등, 1986). 신경 손

상시 지혈겸자는 3단계로 힘을 가할 수 있게 만들어진 것을 사용하여 가장 강한 3단계의 힘으로 손상을 유발하여 손상정도가 동일하게 하였다(Figure 2).

3) 후지 부유

쥐의 후지를 공중 부유 시키기 위하여 벨트로 쥐의 복부를 감싸고 벨트에 연결된 줄에 고리를 달아 쥐의 후지가 바닥에 닿지 않도록 높이를 조절하여 고리를 쥐 사육장의 천장에 매달았다(Figure 3). 고리는 360° 회전이 가능한 것으로 하여 사지를 자유롭게 움직일 수 있도록 하였다.

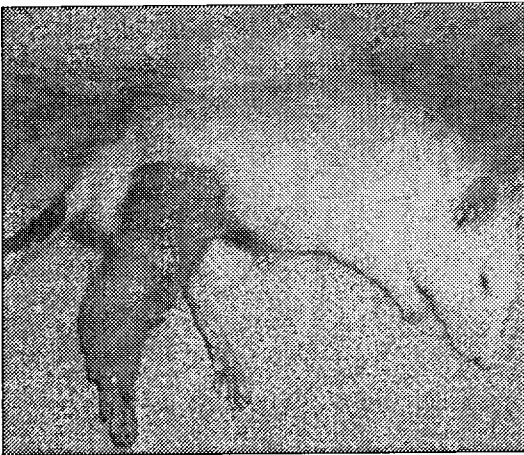


Figure 1. Cast fixation of hindlimb for unweighting and inactivity model

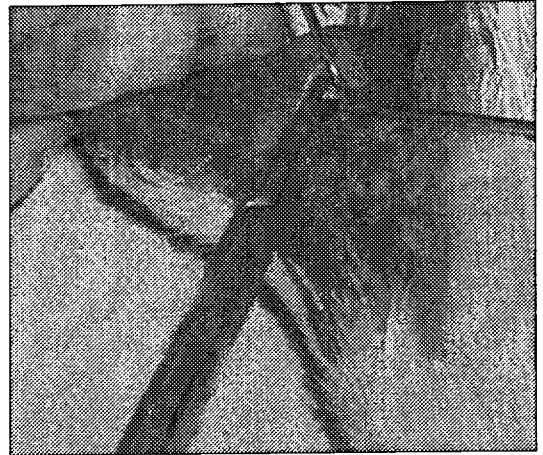


Figure 2. Surgical procedure for denervation of sciatic nerve

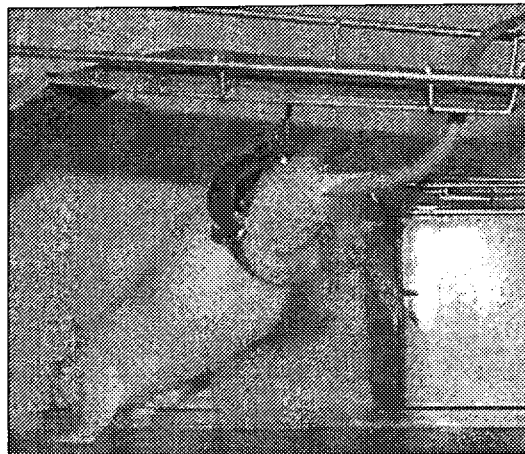


Figure 3. Hindlimb suspension for gravitational unloading model

3. 측정방법

1) 체중 및 근 무게

체중을 측정할 후 쥐를 희생시키고 우측 하퇴부를 절개하여 가자미근과 족척근을 절취하고 즉시 미세 저울 (microbalance-Mettler PE 160)을 이용하여 근육의 젖은 무게를 측정하였다. 각 실험 동물의 근 무게를 표준화하기 위하여 상대근 무게, 즉 체중에 대한 근 무게의 비를 구하였다.

2) 근 글리코겐 농도 분석

글리코겐 농도는 효소법(Fushiki, 1995)을 이용하여 분석하였다. 절취한 가자미근과 족척근을 액화 질소에 10초 정도 담가 급속 냉각시킨 후 근조직을 30% KOH 0.25ml에 넣고 30분간 끓는 물에 담가서 소화시킨 후 Na₂SO₄ 포화액 0.05ml, 95% EtOH를 첨가한 후 이것을 원심 분리시켜 침전물이 가라앉게 되면 침전을 수거하여 세척과정 2회 반복하였다. 불순물이 제거된 침전물에 0.6 NHCL 0.5ml을 넣어 2시간 동안 끓는 물에서 가수 분해하여 글리코젠을 얻은 후 Kit를 이용하여 글리코젠 농도를 분석하였다.

4. 자료 처리

본 연구의 자료는 SPSS (ver. 10.0) 통계 프로그램을 이용하여 분석하였다. 각 시점별로 체중, 근 무게, 근 글리코젠 농도에 대한 집단간 차이를 검증하기 위하여 one-way ANOVA를 실시하고 Duncan 방법을 이용하여 사후 검증하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 체중의 변화

〈Table 1〉에서와 같이 처치 후 3일에 체중이 대조군 18.87g, 석고 고정군 -2.80g, 탈신경군 -12.20g, 부유군 -16.86g 증감하여 대조군과 석고 고정군, 탈신경군, 부유군간에 유의한 차이가 있었다(P=0.004). 처치 후 7일에 체중이 대조군 30.17g, 석고 고정군 16.13g, 탈신경군 48.9g, 부유군 17.57g 증가하여 대조군과 석고 고정군, 부유군간에는 유의한 차이가 있었으며 대조군과 탈신경군 사이에는 유의한 차이가 없었다(P=0.042). 14일에는 체중이 대조군 75.4g, 석고 고정군 50.27g, 탈신경군 69.53g, 부유군 2.07g 증가하여 대조군과 부유군간에 유의한 차이가 있었으나 대조군과 석고 고정군, 탈신경군간에는 유의한 차이가 없었다(P=0.001).

Table 1. The result of one-way ANOVA on the changes of the body weight

Unit (g)

	Mean ± SD				F	P	Post-hoc
	G1	G2	G3	G4			
D1	18.87± 4.41	- 2.80± 1.70	-12.20± 3.9	-16.86±16.23	10.036	0.004	G1 G2 G3 G4
D2	30.17± 9.47	16.13± 7.58	48.90± 4.99	17.57±21.38	4.396	0.042	G2 G4 G3 G1
D3	75.40±17.28	50.27±19.71	69.53±13.32	2.07± 7.91	14.332	0.001	G4 G2 G1 G3

D1 : 3일군, D2 : 7일군, D3 : 14일군

G1 : 대조군, G2 : 석고 고정군, G3 : 탈신경군, G4 : 부유군

2. 근 무게의 변화

상대 가자미근 무게는 〈Table 2〉에서와 같이 처치 후 3일에 석고 고정군 0.41, 탈신경군 0.38, 부유군 0.42로 대조군 0.43에 비해 각각 4.7%, 11.6%, 2.3% 감소하였으나 유의하지 않았다. 처치 후 7일에 석고 고정군 0.17, 탈신경군 0.26, 부유군 0.25로 대조군 0.45에 비

해 각각 62.2%, 42.2%, 44.4%씩 유의하게 감소하였다(P=0.000). 처치 후 14일에 석고 고정군 0.20, 탈신경군 0.20, 부유군 0.29로 대조군 0.40에 비해 각각 50.0%, 50.0%, 27.5%씩 유의하게 감소하였다(P=0.000). 상대 족척근 무게는 〈Table 2〉에서와 같이 처치 후 3일에 석고 고정군 0.74, 탈신경군 0.85, 부유군 0.82로 대조군 0.88에 비해 각각 15.9%, 3.4%,

6.8%씩 감소하였으나 집단간 유의한 차이는 없었다. 처치 후 7일에 석고 고정군 0.40, 탈신경군 0.60, 부유군 0.77로 대조군 0.93에 비해 각각 56.9%, 35.5%, 17.2%씩 매우 유의하게 감소하였다(P=0.001). 처치 후 14일에 석고 고정군 0.59, 탈신경군 0.45, 부유군

0.96으로 0.84의 대조군과 비교하여 석고 고정군과 탈신경군은 각각 29.8%, 46.4%씩 유의하게 감소하였던(P=0.031) 반면, 부유군은 14.3% 증가하였고 통계적 유의성은 없었다.

Table 2. The result of one-way ANOVA on muscle weight and relative muscle weight

Variables	Mean ± SD				F	P	Post-hoc	
	G1	G2	G3	G4				
D1	SR	0.43±0.01	0.41±0.05	0.38±0.03	0.42±0.13	0.355	0.787	
	PR	0.88±0.05	0.74±0.13	0.85±0.02	0.82±0.08	1.768	0.231	
D2	SR	0.45±0.04	0.17±0.03	0.26±0.03	0.25±0.05	21.271	0.000	$\overline{G1}$ $\overline{G3}$ $\overline{G4}$ $\overline{G2}$
	PR	0.93±0.12	0.40±0.06	0.60±0.05	0.77±0.03	16.619	0.001	$\overline{G1}$ $\overline{G4}$ $\overline{G3}$ $\overline{G2}$
D3	SR	0.40±0.01	0.20±0.04	0.20±0.04	0.29±0.04	20.517	0.000	$\overline{G1}$ $\overline{G4}$ $\overline{G3}$ $\overline{G2}$
	PR	0.84±0.02	0.59±0.11	0.45±0.06	0.96±0.32	4.969	0.031	$\overline{G4}$ $\overline{G1}$ $\overline{G2}$ $\overline{G3}$

D1 : 3일군, D2 : 7일군, D3 : 14일군

G1 : 대조군, G2 : 석고 고정군, G3 : 탈신경군, G4 : 부유군

SR : 상대 가지미근 무게(근무게 g / 체중 g), PR : 상대 족척근 무게(근무게 g / 체중 g)

3. 근 글리코겐 농도의 변화

(Table 3)에서와 같이 가지미근의 글리코겐 농도는 처치 후 3일에 석고 고정군 0.70mg/g, 탈신경군 0.71mg/g, 부유군 0.50mg/g으로 0.95mg/g의 대조군과 비교하여 석고 고정군, 탈신경군과 후지부유군이 각각 26.3%, 25.3%, 47.4%감소하였으며, 통계적 유의

성은 없었다. 처치 후 7일에 석고 고정군 0.27mg/g, 탈신경군 0.26mg/g, 부유군 0.29mg/g으로 대조군 0.35mg/g에 비해 각각 22.9%, 25.7%, 17.2% 감소하였으나 유의한 차이는 없었다. 처치 후 14일에 석고 고정군 0.14mg/g, 탈신경군 0.17mg/g, 부유군 0.17mg/g으로 대조군 1.37mg/g에 비해 각각 89.8%, 87.6%, 87.6%씩 유의하게 감소하였다(P=0.015). 즉

Table 3. The result of one-way ANOVA on muscle glycogen density

Unit (mg/g)

Variables	Mean ± SD				F	P	Post-hoc	
	G1	G2	G3	G4				
D1	SG	0.95±0.59	0.70±0.88	0.71±1.20	0.50±0.33	1.266	0.350	
	PG	5.30±0.51	3.14±1.04	2.75±1.18	3.41±2.57	1.639	0.256	
D2	SG	0.35±0.03	0.27±0.14	0.26±0.08	0.29±0.21	0.298	0.826	
	PG	2.71±2.29	2.60±1.64	2.48±1.80	4.63±1.13	1.002	0.440	
D3	SG	1.37±0.80	0.14±0.03	0.17±0.09	0.17±0.06	6.536	0.015	$\overline{G1}$ $\overline{G4}$ $\overline{G3}$ $\overline{G2}$
	PG	4.27±0.54	0.32±0.23	1.17±1.14	4.47±0.96	21.166	0.000	$\overline{G4}$ $\overline{G1}$ $\overline{G3}$ $\overline{G2}$

D1 : 3일군, D2 : 7일군, D3 : 14일군

G1 : 대조군, G2 : 석고 고정군, G3 : 탈신경군, G4 : 부유군

SG : 가지미근 무게당 글리코겐량(mg/g), PG : 족척근 무게당 글리코겐량(mg/g)

척근의 글리코겐 농도는 처치 후 3일에 석고 고정군 3.14mg/g, 2.75mg/g, 3.41mg/g으로 대조군 5.3mg/g에 비해 각각 40.8%, 48.1%, 35.7%씩 감소하였으나 유의하지는 않았다. 처치 후 7일에 석고 고정군 2.6mg/g, 탈신경군 2.48mg/g, 부유군 4.63mg/g으로 2.71mg/g의 대조군과 비교하여 석고 고정군과 탈신경군이 각각 4.1%, 8.5% 감소하였던 반면 부유군은 70.8% 증가하였으며, 통계적 유의성은 없었다. 처치 후 14일에 석고 고정군 0.32mg/g, 탈신경군 1.17mg/g, 부유군 4.47mg/g으로 대조군 4.27 mg/g에 비교하여 석고 고정군과 탈신경군이 각각 92.5%, 72.5% 감소하였던 반면 부유군은 4.7% 증가하였다. 통계적 검정 결과, 대조군과 석고 고정군, 탈신경군간에 매우 유의한 차이가 있었으나(P=0.000), 대조군과 부유군간에는 유의한 차이가 없었다.

IV. 고 찰

근골격계의 정상적인 구조와 기능 유지를 위한 중요한 자극 중의 하나는 체중지지 또는 근수축을 통한 신체활동으로 발생하는 기계적 부하이다. 체중지거나 신체 활동의 기능이 제거된 상황에서는 근골격계에 대한 기능적 부하가 후지 근육의 정상적인 생리적 상태를 유지하기에는 불충분하다(Hauschka 등, 1988).

체중이 쥐 후지의 고정, 탈신경 및 부유 후 3일에 감소하였으며, 특히 부유시 감소폭이 컸다. 이와 같은 현상은 활동저하 후 3일 동안 체중이 급격하게 감소하였다는 Musacchia 등(1980)과 최명애(1997)의 보고와 일치하였다. 이후 7일, 14일에는 체중이 점차 증가하였으며, 증가폭도 대조군과 크게 다르지 않았다. 그러나 고정이나 탈신경과 비교하여 부유군의 체중 증가는 적게 일어났다.

Thomason 등(1987)은 후지 부유시 체중 감소의 원인을 후지 근육의 위축과 hypervolemia로 기인된 이뇨의 증가 때문으로 설명하고 있다.

근육의 고정, 탈신경 및 체중무부하는 근위축을 유발하여 근 무게를 감소시킨다. 고정으로 쥐의 가자미근 무게가 1주 후 35%, 2주 후 45%의 감소를 보고하였으며(Close, 1972), 6주 고정으로 가자미근이 58%, 족척근이 55%, 비복근이 62% 감소하였고(Herbison 등, 1978), 8주 고정으로 상완삼두근의 무게가 38% 감소하

였다고(Nicks 등, 1989) 선행논문들은 보고하고 있다.

손상으로 신경이 변성되어 정상적으로 근육을 지배하지 못하면 근위축이 발생한다. 좌골신경을 손상시킨 쥐에서 비복근의 무게가 1주 후 31%, 3주 후 66% 감소하였고(Savolainen, 1988), 4주 후 60.19% 감소하였다(이재형과 이경로, 1990). 윤범철 등(2000)은 좌골신경 압박손상된 쥐에서 손상 2주 후 가자미근과 내측 비복근의 무게가 각각 54.5%, 48% 감소하였음을 보고하였다.

후지를 부유한 쥐에서는 체중 무부하에 대한 반응으로 가자미근의 무게가 3일에 7%, 5일에 20% 감소하였다(Fell 등, 1985). 1주간 부유로 가자미근과 비복근의 무게가 각각 21%, 19% 감소하였으며(Pierotti 등, 1990), 2주간의 부유로 가자미근, 족척근, 비복근의 무게가 각각 46%, 22%, 24% 감소하였다(Marsh, 1992). Jain 등(1997)은 15일의 부유로 가자미근이 41%, 족척근의 무게가 13.3% 감소하였다고 보고하였으며, Desplabches 등(1990)은 5주 부유 후 가자미근 무게가 60% 감소하였음을 보고하였다.

본 연구에서는 석고 고정과 탈신경으로 인한 가자미근은 7일에 급속히 위축되어 40% 이상 무게가 감소되었으며 14일에는 대조군의 50% 정도로 근 무게가 감소하였다. 한편 후지 부유로 인한 위축율은 7일에 45% 정도였으나 이후 14일에는 다시 증가하여 고정 또는 탈신경과 다른 양상을 나타냈다. 족척근의 위축은 석고 고정군에서 7일에 가장 심하게 일어났고 이후 다시 증가하였으며, 탈신경군에서는 14일까지 계속 위축되어 대조군의 54% 정도로 감소되었다. 부유군은 고정 또는 탈신경군에 비해 위축 정도가 작으나 7일에 위축이 컸으며, 14일에는 오히려 대조군보다 무게가 더 크게 증가하였다. 탈신경 후 근위축이 14일까지 계속되었던 것은 탈신경군은 손상 후 2~3주까지 급속히 위축되어 근 무게가 감소되다가 신경재지배가 이루어진 후 다시 근 무게가 증가한다는 Badke 등(1989), Herbison 등(1973a, 1973b), 윤범철 등(2000)과 일치하는 결과이다.

석고 고정시 쥐의 골격근에서 당 이용률(glucose uptake)에 대한 인슐린 민감성(Seider 등, 1982)과 글리코겐 농도가 감소하였다(Abratov 1990; Booth, 1987). 탈신경 근육에서도 인슐린 민감성과 반응이 감소하였고(Burant 등, 1984), 글리코겐 분해와 단백질 분해의 속도는 증가(Beynon 등, 1986)되는 반면, 근 글리코겐 합성효소의 활성도는 감소하였다(Wallis, 1999). 근 글리코겐은 고정, 탈신경 후 비슷한 정도로 소실되었

다(Lazere 등, 1943). 본 연구에서도 14일의 고정 및 탈신경으로 근 글리코겐 농도가 80% 이상 감소되어 Abratov (1990) 등의 연구 결과와 일치하였다.

고정이나 탈신경에 따른 근 무게 감소의 원인을 Elliott와 Thomson(1963)은 글리코겐 합성에 관련된 효소계의 장애로 인해 근 글리코겐이 소실되어 단백질 절약 작용(protein-sparing action of glycogen)의 기능을 수행하지 못하게 됨에 따라 단백질이 소실되고, 이는 결국 근 무게 감량의 원인이 되는 것으로 설명하였다. 다시 말해 고정과 탈신경으로 인하여 인슐린 민감성과 그에 따른 근육의 당 이용률이 감소되고, 근육에서는 당 유입이 안되므로 세포내 에너지원으로 저장되어있던 글리코겐을 고갈시키게 되며 이에 따라 근조직을 이루고 있는 근 단백질도 에너지원으로 사용됨으로써 근 무게가 감량되는 것으로 생각된다.

그러나 부유 근육에서는 인슐린 민감성이 크게 변화되지 않으며(Tischler 등, 1990), 더욱이 당 이용률이 증가되고 근 글리코겐 농도가 증가되는 것으로 보고되었다(Fitts 등, 2000; Tischler & Slentz, 1995; Tischler 등, 1990; Henriksen & Tischler, 1988). 본 연구의 결과 부유 근육의 글리코겐 농도가 대조군보다 증가되지는 않았으나, 고정 또는 탈신경 근육에 비해 높은 농도를 나타내었다. 이는 본 연구에서 고정 또는 탈신경 근육에 비해 부유 근육의 위축이 덜 발생된 이유를 설명해주는 것으로 생각된다.

사지 고정 및 탈신경 후 조직화학적 근섬유형에 따른 근위축 정도를 분석한 결과, 지근 섬유에 비해 속근의 위축이 크게 일어났다는 연구(Dobkin, 1996; Kraft, 1990; Rile와 Allin, 1973; 이재형과 이경로, 1990)와 지근 섬유의 위축이 현저하였다는 연구(Karpati와 Engel, 1968)와 상반된 결과들과 속근과 지근 무게가 같은 정도의 소실을 보여 위축 정도에서 차이가 없음을 보고한 연구(Booth와 Kelso, 1973; Herbison 등, 1978; Jaweed 등, 1975)도 있어 아직 확실히 결론지을 수 없다. 본 연구에서는 고정군과 탈신경군에서 지근 가지미근과 속근 족척근의 무게 감소율이 큰 차이를 보이지 않아 Booth와 Kelso(1973) 등의 결과와 같았다.

그러나 후지 부유로 인한 체중 무부하의 효과는 근섬유형에 따라 뚜렷이 다른 결과가 나타난다.

즉 쥐의 후지 근육에서 굴근보다는 항중력근인 신근에서 위축이 크게 나타나며 특히 족척근이나 비복근과 같은 속근보다는 지근 섬유가 우세한 가지미근 근육에서

현저하게 일어난다는 것이 일반적인 정설이다(Park 등, 1992, Tischler와 Slentz, 1995). 본 연구에서도 후지 부유로 족척근에 비해 가지미근의 위축이 크게 나타나 선행연구들과 일치된 결과를 나타내었다.

속근 섬유들은 단기간의 힘있는 위상성 활동에 적합한 반면, 지근 섬유들은 주로 긴장성 자세의 고정자로서 작용한다. 긴장성 자세 고정근들은 위상성 활동중에는 비교적 비활동적인 상태에 있게 된다. Gollnic 등(1974)은 근섬유들이 수축 유형에 따라 다르게 동원되고 있음을 제시하여 이를 뒷받침하였다. 쥐 가지미근에서 I형과 II형 근섬유는 산화근 섬유이다. 그러므로 자세 유지를 위한 활동시 두 유형의 섬유가 동시에 동원될 것이며 따라서 그 두 섬유들이 유사한 기능적 활동에 사용됨으로써 크기도 비슷할 것이다. 반면 위상성의 족척근은 기능적 활동을 위해 속근 섬유인 II형 섬유들에 일차적으로 의존하고 I형 섬유들은 비교적 비활동적인 상태에 있게 된다.

석고 고정시 가지미근과 족척근 각각의 근육에서 특정 기능적 활동에 주도적인 섬유들의 위축이 크게 일어났다. 즉 가지미근에서는 I형과 II형이 같은 정도로, 족척근에서는 II형 섬유가 더 크게 위축되었다(Herbison 등, 1978). 탈신경 근육에서도 같은 결과가 보고되었다(윤범철 등, 2000; Jaweed 등, 1975).

한편 체중 무부하의 후지 부유 모형에서는 II형의 속근 섬유에 비해 I형 지근 섬유의 위축이 크게 일어났으며 지근 섬유에서 속근 섬유로의 근섬유형 전환이 일어났다(Ohira, 2000; Tischler와 Slentz, 1995). 따라서 후지 부유에 의한 체중 무부하는 항중력에 기능하던 지근 섬유의 활동이 없어지고 위상성 활동만을 유지하게 됨으로써 전체적으로 근육의 무용성으로 인하여 근 무게는 감소되면서 여기에 지근 섬유는 속근 섬유로 전환이 이루어져 글리코겐 농도가 증가되는 것으로 생각된다. 결국 후지 부유 모형은 근 기능의 변화에 따라 근섬유형의 변화를 유발함으로써 고정 또는 탈신경 근육보다 병리적인 변화가 적었다.

V. 결 론

쥐의 후지에 3일, 7일, 14일간 석고 고정, 탈신경, 부유를 적용한 후 체중, 가지미근과 족척근의 상대근 무게 및 글리코겐 농도를 측정, 분석하여 대조군과 비교한 결

른은 다음과 같다.

1. 체중이 쥐 후지의 고정, 탈신경 및 부유 후 3일에 감소하였으며, 특히 부유시 가장 크게 감소 하였다. 7일, 14일에는 체중이 점차 증가하였다.

2. 쥐 가자미근과 족척근의 상대근 무게가 고정, 탈신경 및 부유로 감소하였으며, 처치 후 7일에 가장 컸다. 고정과 탈신경에 의한 무게 감소율은 비슷하였고, 부유에 의한 감소율이 비교적 작았다. 지근 가자미근과 속근 족척근의 무게 감소율이 고정과 탈신경시에는 비슷하였으나, 부유시에는 족척근에 비해 가자미근의 무게 감소율이 컸다.

3. 가자미근의 글리코겐 농도는 고정, 탈신경, 부유후 14일에 유의하게 감소하였으며, 족척근의 글리코겐 농도는 고정과 탈신경 14일에 유의하게 감소하였으나, 부유시에는 유의한 변화가 없었다. 결론적으로 후지 부유로 인한 근위축이 석고 고정 또는 탈신경에 비해 적게 발생되었다. 이는 후지 부유 동안 활동이 어느 정도 유지되었기 때문이라고 보며, 따라서 비활동시 근육에 부과되는 기계적 스트레스의 상실이 근위축 발생의 주된 요인이 된다

〈 참고 문 헌 〉

윤범철, 유병규, 이명화 : 흰쥐의 탈신경근 위축에 미치는 영향, 한국전문물리치료학회지, 7(3), 34-48, 2000.

이재형, 이경로 : 전기자극이 흰쥐 탈신경 근육의 위축에 미치는 영향, 대한물리치료학회지, 2, 47-63, 1990.

최명애 : 근위축 발생전의 지구력 운동이 쥐의 뒷다리근의 질량, 근원섬유 단백질 함량 및 근섬유 단면적에 미치는 영향, 간호학회지, 27(1), 96-109, 1997.

Abratov NI : Carbohydrate and lipid metabolism in rats after hypokinesia, Mater Med Pol, 22(4), 281-285, 1990.

Allt G : Pathology of the peripheral nerve, In D. N. London (Ed.), The peripheral nerve. London: Chapman & Hall, 1975.

Appell HJ : Muscular atrophy following immobilization: A review, Sports Med, 10(1), 42, 1990.

Badke A, Irintchev A, Wernig A : Maturation of transmission in reinnervated mouse soleus muscle, Muscle Nerve, 12, 580-586, 1989.

Baldwin KM, Roy RR, Sacks RD et al : Relative independence of metabolic and neuromuscular activity, J Appl Physiol, 56(6), 1602-1607, 1984.

Beynon RJ, Fairhurst D, Cookson EJ : Turnover of skeletal muscle glycogen phosphorylase, Biomed Biochim Acta, 45(11-12), 1619-1625, 1989.

Booth FW : Effect of limb immobilization of skeletal muscle, J Appl Physiol, 52(5), 1113-1118, 1982.

Booth FW : Physiologic and biochemical effects of immobilization on muscle, Clin Orthop, 219, 15-20, 1987.

Booth FW, Kelso JR : Effect of hind-limb immobilization on contractile and histochemical properties of skeletal muscle, Pflugers Arch, 342(3), 231-238, 1973.

Burant CF, Lemmon SK, Treutelaar MK et al : Insulin resistance of denervated rat muscle: a model for impaired receptor-function coupling, Am J Physiol, 247(5 Pt 1), E657-E666, 1984.

Close RI : Dynamic properties of mammalian skeletal muscles, Physiol Rev, 51(1), 129-197, 1972.

Desplanches D, Kayar SR, Sempore B et al : Rat soleus muscle ultrastructure after hindlimb suspension, J Appl Physiol, 69(2), 504-508, 1990.

Desplanches D, Mayet MH, Sempore B et al : Effect of spontaneous recovery or retraining after hindlimb suspension on aerobic capacity, J Appl Physiol, 63(5), 1739-1743, 1987.

Dobkin BH : Neurologic rehabilitation. Philadelphia, FA: Davis, 1996.

Elliott DR, Thomson DJ : Dynamic properties of denervated rat muscle treated with electrotherapy, Am J Physiol, 205(1), 173-176, 1963.

- Fell RD, Steffen JM, Musacchia XJ : Effects of hypokinesia-hypodynamia on rat muscle oxidative capacity and glucose uptake, *Am J Physiol*, 249(3 Pt 2), R308-R312, 1985.
- Finol H, Lewis DM, Owens R : The effects of denervation on contractile properties of rat skeletal muscle, *J Physiol*, 319, 82-92, 1981.
- Fitts RH, Brimmer CJ, Heywood-Cooksey A et al : Single muscle fiber enzyme shifts with hindlimb suspension and immobilization, *Am J Physiol*, 256(5 Pt 1), C1082-C1091, 1989.
- Fitts RH, Metzger JM, Riley DA et al : Models of disuse: a comparison of hindlimb suspension and immobilization, *J Appl Physiol*, 60(6), 1946-1953, 1986.
- Fitts RH, Romatowski JG, De La Cruz L et al : Effect of spaceflight on the maximal shortening velocity, morphology, and enzyme profile of fast- and slow- twitch skeletal muscle fibers in rhesus monkeys, *J Gravit Physiol*, 7(1), S37-S38, 2000.
- Fredericks CM : Disorders of the peripheral nervous system: The peripheral neuropathies. In C. M. Fredericks & L. K. Saladin (Eds.), *Pathophysiology of the motor systems: Principles and clinical presentations* (pp. 346-372). Philadelphia, FA: Davis, 1996.
- Fushiki T, Matsumoto K, Inoue K et al : Swimming endurance capacity of mice is increased by chronic consumption of medium-chain triglycerides, *J Nutr*, 125(3), 531-539, 1995.
- Gollnick PD, Karlsson J, Piehl K et al : Selective glycogen depletion in skeletal muscle fibres of man following sustained contractions, *J Physiol*, 241(1), 59-67, 1974.
- Gossman MR, Rose SJ, Sahrman SA et al : Length and circumference measurements in one-joint and multi-joint muscles in rabbits after immobilization, *Phys Ther*, 66(4), 516-520, 1986.
- Graham SC, Roy RR, West SP et al : Exercise effects on the size and metabolic properties of soleus fibers in hindlimb-suspended rats, *Aviat Space Environ Med*, 60(3), 226-234, 1989.
- Guyton AC : *Textbook of medical physiology*. Philadelphia, WB: Saunders, 1986.
- Hauschka EO, Roy RR, Edgerton VR : Periodic weight support effects on rat soleus fiber after hindlimb suspension, *J Appl Physiol*, 65(3), 1231-1237, 1988.
- Hauschka EO, Roy RR, Edgerton VR : Size and metabolic properties of single fibers in rat soleus after hindlimb suspension, *J Appl Physiol*, 62(6), 2338-2347, 1987.
- Henriksen EJ, Tischler ME : Glucose uptake in rat soleus: effect of acute unloading and subsequent reloading, *J Appl Physiol*, 64(4), 1428-1432, 1988.
- Herbert ME, Roy RR, Edgerton VR : Influence of one-week hindlimb suspension and intermittent high load exercise on rat muscles, *Exp Neurol*, 102(2), 190-198, 1988.
- Herbison GJ, Jaweed MM, Ditunno JF : Muscle Fiber Atrophy after cast immobilization in the rat, *Arch Phys Med Rehabil*, 59(7), 301-305, 1978.
- Herbison GJ, Jaweed MM, Ditunno JF : Reinnervating muscle in rats: The effect of overwork, *Arch Phys Med Rehabil*, 54(11), 511-514, 1973a.
- Herbison GJ, Jaweed MM, Ditunno JF et al : Effect of overwork during reinnervation of rat muscle, *Experimental Neurology*, 41, 1-14, 1973b.
- Horl M, Bruch HP, Gold R et al : Carbohydrate metabolism of dog skeletal muscle during immobilization, *Res Exp Med (Berl)*, 187(2), 81-85, 1987
- Jain PK, Banerjee PK, Baboo NS et al : Physiological properties of rat hind limb muscles after 15 days of simulated weightless environment, *Indian J Physiol Pharmacol*,

- 41(1), 23-28, 1997.
- Jaspers SR, Tischler ME : Atrophy and growth failure of rat hindlimb muscles in tail-cast suspension, *J Appl Physiol*, 57(5), 1472-1479, 1984.
- Jaweed MM, Herbison GJ, Ditunno JF : Denervation and reinnervation of fast and slow muscles a histochemical study in rats, *The Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 23(11), 808-827, 1975.
- Jokl P, Konstadt S : The effect of limb immobilization on muscle function and protein composition, *Clin Orthop*, 174, 222-229, 1983.
- Karpati G, Engel WK : Correlative histochemical study of skeletal muscle after suprasegmental denervation, peripheral nerve section and skeletal fixation, *Neurology*, 18(7), 681-692, 1968.
- Kobayashi J, Mackinnon SE, Watanabe O et al : The effect of duration of muscle denervation on functional recovery in the rat model, *Muscle Nerve*, 20(7), 858-866, 1997.
- Koning PD, Brakkee JH, Gispen WH : Methods for producing a reproducible crush in the sciatic and tibial nerve of the rat and precise testing of return of sensory function: Beneficial effects of melanocortins, *Journal of Neurological Sciences*, 74, 237-246, 1986.
- Kraft GH : Fibrillation potential amplitude and muscle atrophy following peripheral nerve injury, *Muscle Nerve*, 13(9), 814-821, 1990.
- Lieber, RL : Skeletal muscle adaptation to decreased use, Williams & Wilkins, Baltimore, 1992.
- Lindboe CF, Platou CS : Disuse atrophy of human skeletal muscle. An enzyme histochemical study, *Acta Neuropathol (Berl)*, 56(4), 241-244, 1982.
- Marsh DR, Campbell CB, Spriet LL : Effect of hindlimb unweighting on anaerobic metabolism in rat skeletal muscle, *J Appl Physiol*, 72(4), 1304-1310, 1992.
- Musacchia XJ, Deavers DR, Meininger GA et al : A model for hypokinesia: effects on muscle atrophy in the rat, *J Appl Physiol*, 48(3), 479-486, 1980.
- Nicks DK, Beneke WM, Key RM et al : Muscle fiber size and number following immobilization atrophy, *J Anat*, 163, 1-5, 1989.
- Ohira Y : Neuromuscular adaptation to microgravity environment, *Jpn J Physiol*, 50(3), 303-314, 2000.
- Park BR, Cho JS, Kim MS et al : Effects of intermittent sciatic nerve stimulation on the soleus and medial gastrocnemius muscle atrophy in hindlimb suspended rats, *Kor J Physiol*, 26(2), 159-166, 1992.
- Pierotti DJ, Roy RR, Flores V et al : Influence of 7 days of hindlimb suspension and intermittent weight support on rat muscle mechanical properties, *Aviat Space Environ Med*, 61(3), 205-210, 1990.
- Riley DA, Allin EF : The effects of inactivity, programmed stimulation and denervation on the histochemistry of skeletal muscle fiber types, *Exp Neurol*, 40(2), 391, 1973.
- Roy RR, Bello MA, Bouissou P et al : Size and metabolic properties of fibers in rat fast twitch muscle after hindlimb suspension, *J Appl Physiol*, 62(6), 2348-2357, 1987.
- Salvatori SD, Ernesto Z, Francesco V et al : Denervation-induced proliferative changes of triads in rabbit skeletal muscle, *Muscle Nerve*, 11, 1246-1259, 1989.
- Sandler H : Effects of inactivity on muscle. Chapter 4. In Sandler, H and Vernikos J (eds): *Inactivity: Physiologic effects*. Academic Press, Orlando, 1986.
- Savolainen J, Myllyla V, Myllyla R, et al : Effects of denervation and immobilization on collagen synthesis in rat skeletal muscle and tendon. *Am J Physiol*, 254(6 Pt 2), R897-R902, 1988.
- Seider MJ, Nicholson WF, Booth FW : Insulin resistance for glucose metabolism in disused

- soleus muscle of mice, *Am J Physiol*, 242(1), E12-E18, 1982.
- Templeton GH, Padalino M, Manton J et al : The influence of rat suspension-hypokinesia on the gastrocnemius muscle, *Aviat Space Environ Med*, 55(5), 381-386, 1984
- Thomason DB, Herrick RE, Surdyka D et al : Time course of soleus muscle myosin expression during hindlimb suspension and recovery, *J Appl Physiol*, 63(1), 130-137, 1987.
- Tischler ME, Satarug S, Eisenfeld SH et al : Insulin effects in denervated and non-weight-bearing rat soleus muscle, *Muscle Nerve*, 13(7), 593-600, 1990.
- Tischler ME, Slentz M : Impact of weightlessness on muscle function, *ASGSA Bull*, 8(2), 73-81, 1995.
- Tsika RW, Herrick RE, Baldwin KM : Interaction of compensatory overload and hindlimb suspension on myosin isoform expression, *J Appl Physiol*, 62(2), 2180-2186, 1987.
- Van Meeteren NL, Brakkee JH, Hamers FP et al : Exercise training improves functional recovery and motor nerve conduction velocity after sciatic nerve crush lesion in the rat. *Arch Phys Med Rehabil*. 78(1):70-77, 1997.
- Wallis MG, Appleby GJ, Youd JM et al : Reduced glycogen phosphorylase activity in denervated hindlimb muscles of rat is related to muscle atrophy and fibre type, *Life Sci*, 64(4), 221-228, 1999.