

활동저하후 회복기의 운동훈련이 쥐의 위축근의 길이와 둘레에 미치는 영향

최 명 애* · 안 속 희**

I. 서 론

1. 연구의 필요성

근육의 크기가 활동형태에 의해 영향을 받는다는것은 잘 알려져 있다. 활동저하는 근육위축을 유발하며 골격근 위축의 크기와 위축발생속도는 활동제한과 근육에 가해지는 체중부하의 양에 의해 결정된다(Booth, 1977, 1982 ; Booth & Gollnick, 1983 ; Finol, 1981).

침상안정, 비활동(inactivity), 사지와 체간부 석고붕대 적용에 의한 근육사용 저하로 골격근 질량이 상실되어 1-2개월간 근육사용이 저하되면 정상크기의 반으로 줄어든다(Sandler & Venikos, 1986). 침상안정동안 하지의 항중력근이 기경 많은 영향을 받기 하지둘레와 근력저하를 관찰할 수 있다(Choe, 1991).

굴곡자세로 활동이 억제된 근육은 근절(sarcomere)이 상실되어 크기가 작아지며(Tabary et al, 1972) 활동이 저하되면 근절생산이 줄어든다(Williams & Goldspink, 1973). 뒷다리부유 3일과 10일사이에 가자미근 섬유질의 반경성장(radial growth)이 완전하게 억제되었고 10일 이후 정상치의 76%로 반경성장이 저하되었다(Darr & Schultz, 1989). 이러한 결과는 팔뚝저하로 근육성장이 억제된다는 것을 나타내고 있다.

성장이 완료된 근육(adult muscle)을 굴곡자세(flex-

ed position)로 움직이지 못하게 억제하였을때 직렬로 위치하는 근절이 상실되었고 억제제를 제거했을때 근절의 숫자가 정상으로 회복되었다(Williams & Goldspink, 1973). 이와 같은 결과는 근절의 숫자를 정상으로 유지시키기 위해 근육이 정상 운동범위에서 수축해야 한다는것을 제시한다.

훈련에 의한 근육성장은 개개근 섬유질의 비후(hypertrophy)에 의한 것으로, 세포내 근원섬유가 두터워지며 근원섬유의 숫자가 증가한다(McArdle et al, 1981)는 사실을 바탕으로 근육에 정상활동 이상으로 자극을 주면 근육성장에 의해 위축근의 질량회복을 증진시킬수 있으리라는 가정하에 실험을 실시하여 침상안정 후 회복기의 운동훈련에 의해 위축근의 질량회복이 증진되었음을 증명했다(최, 1991). 위축근의 질량회복증진은 근육질량의 증가에 의한것이며 근육질량의 증가는 근원섬유의 증대 또는 첨가(addition), 근절의 첨가에 의한 둘레성장과 길이성장에 의한 것이다(Enesco & Puddy, 1964 ; Goldspink, 1968, 1970 ; Moss, 1968 ; Smith, 1963). 이러한 관점에서 볼때 운동에 의한 위축근의 질량회복 증진이 둘레성장과 길이성장중 어느것에 의한 것인가를 규명해 볼 필요가 있다고 생각되나 이에 대한 연구보고가 거의 없으므로 본 연구에서는 침상안정 후 회복기의 운동훈련이 위축 가자미근(soleus muscle)과 족척근(plantaris muscle)의 길이와 둘레에

* 서울대학교 간호대학

** 서울시청 건강구명안내센터

미치는 영향을 밝히고자 한다.

운동을 침상안정에 의한 활동저하로 초래되는 근위축을 보다 빠른 기일내에 회복시키기 위한 간호중재로 이윅하려면 운동이 위축근의 회복에 미치는 효과에 대한 지식이 필수적이므로 운동에 의한 위축근회복에 관한 지견을 얻는 일이 필요하다고 생각된다.

본 연구에서 동물모형을 이용한 것은 인간에서는 특정근육을 절제하여 질량을 측정하는것이 불가능하기 때문이다.

2. 연구목적

본 연구는 뒷다리 부유에 의한 활동저하후 회복기 28일에 걸쳐 실시한 운동이 위축근의 길이와 둘레에 미치는 영향을 규명하기 위한것이며 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 1) 14일간의 뒷다리 부유로 가자미근과 족척근의 질량이 감소되는가를 분석한다.
- 2) 활동저하가 가자미근과 족척근의 길이와 둘레에 미치는 영향을 분석한다.
- 3) 회복기 28일에 훈련군과 비훈련군에서 위축 가자미근및 족척근의 길이와 둘레가 대조치로 회복되는가를 분석한다.
- 4) 회복기 28일에 위축 가자미근 및 족척근의 길이와 둘레에 훈련군과 비훈련군간에 차이가 있는지를 분석한다.

3. 용어의 정의

근위축(muscle atrophy) · 근원섬유(myofibrils)의 단백질 상실에 의한 근육질량의 감소

뒷다리 부유(hindlimb suspension) : 침상안정동안 발생하는것과 같은 운동저하 상태를 모방하기 위해 개발된 모형

회복기 : 수영(swimming)훈련을 하거나 정상활동(cage sedentary)으로 회복하는 뒷다리 부유후 기간

II. 연구방법

1. 연구대상

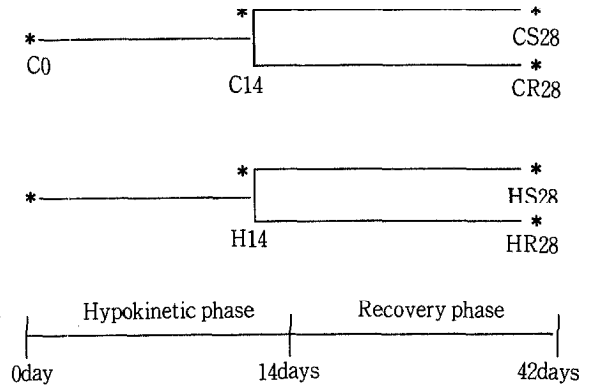
실험동물로 Adult female Wistar rats(N=65, 100-120 days old, 체중=187.65±14.13g)를 사용하였

고 성장에 의한 변화를 최소화시키기 위해 성인 쥐(adult rats)를 택하였다.

대조군과 실험군을 동일한 환경에 수용하였고 circadian rhythm을 위해 12시간은 밝고 12시간은 어둡게 하였으며 쥐 사료(고형사료)와 물을 마음대로 먹게 하였다.

2. 실험설계<그림 1>

실험동물은 무작위로 다음과 같이 대조군 4군, 활동저하군 3군으로 구분하였다. 대조군은 뒷다리를 부유하지



C : Control
H : Hypokinetic
R : Runner
* : Sacrifice point

C0 : Control(0day)
C14 : Sedentary control(14days)
CS28 : Sedentary control(14days) followed by sedentary recovery(28days)
CR28 : Sedentary control(14days) followed by exercise training(28days)
H14 : Hypokinesia(14days)
HS28 : Hypokinesia(14days) followed by sedentary recovery(28days)
HR28 : Hypokinesia(14days) followed by exercise training(28days)

Fig. 1. Experimental design

않은 정상적으로 활동을 했던 군이며 활동저하군(hypokinetic group)은 뒷다리를 부유했던 군이다.

1) 대조군

- ① 0일 대조군, C0
- ② 14일 대조군, C14
- ③ 14일간의 정상활동(cage sedentary)후 28일 훈련군, CR28
- ④ 14일간의 정상활동후 28일 비훈련군, CS28

2) 활동저하군

- ⑤ 14일간의 뒷다리부유군, H14
- ⑥ 14일간의 뒷다리부유후 28일 훈련군, HR28
- ⑦ 14일간의 뒷다리부유후 28일 비훈련군, HS28

14일간의 정상활동을 시작할 당시의 체중, 가자미근과 족척근의 질량을 알기 위해 0일 대조군을 설정하였으며, 14일간 뒷다리를 부유했던 활동저하군(H14)의 대조군은 14일간 정상활동을 실시했다(C14). 14일간 뒷다리를 부유했던 후 회복기에 28일에 걸쳐 운동을 실시하였거나(HR28) 정상활동을 하였으며(HS28) 이의 대조군은 28일간 정상활동후 회복기에 28일에 걸쳐 운동을 실시하였거나(CR28) 정상활동을 하였다(CS28).

0일 대조군은 0일에, 14일 정상활동군은 정상활동한 지 14일째, 회복기 대조군은 14일간 정상활동후 28일에 걸쳐 운동을 실시하였거나 정상활동한 지 28일 마지막 날에 가자미근과 족척근을 절제하였고 활동저하군은 14일간 뒷다리부유후 28일에 걸쳐 운동을 실시하였거나 정상활동한 지 28일 마지막날 가자미근과 족척근을 절제하였다.

3. 실험방법

1) 뒷다리 부유(hindlimb suspension)에 의한 근위축 유발

Morey-Holton과 Wronski(1981)에 의해 개발되었고 Sweeney등(1984)이 변형시킨 활동저하 방법을 이용하여 근위축을 유발시켰다. 이 모형에서 꼬리 부유장치(tail suspension device)를 꼬리의 근위 1/2 부위에 다음과 같은 방법으로 적용하였다. 꼬리를 공기 건조기(air blower)로 말리며 75% 에틸 알콜(ethyl alcohol)로 닦고 건조시킨 후 benzoin tincture를 분무시켜 다시 공기건조기로 건조시켰다. 피부부인 테이프(skin trac-

tion tape)을 꼬리를 덮을 수 있는 쪽으로 잘라 꼬리에 부착시킨 후 스타키넷(stockinette)으로 삼싸고 만장고로 고정시켰다. 꼬리에 부착시킨 테이프의 중간에 고리를 넣고 이 고리에 안전핀을 찌른후 cage 천정에 장치한 회전고리(swivel hook)에 연결 시켰다. 쥐의 뒷다리가 약간 상승되도록 하는 높이로 고정시켜 뒷다리가 cage바닥에 닿지 않도록 하였으며 앞다리는 자유롭게 움직이도록 하였다(최, 1991). 앞다리를 자유자재로 움직일 수 있어 스스로 먹고 마실 수 있었다. 식습관과 음습관에 의한 증가로 볼 때 이러한 형태의 뒷다리 부유가 동물에 가하는 긴장(stress)을 최소로 한다(Sweeney et al, 1984).

이 방법은 비 침투적(non-invasive)이며 침상안정이 체중부하 근육에 미치는 효과를 모방하고 있어 이 방법에 의해 초래되는 변화는 뒷다리에 체중부하가 없고 뒷다리사용이 제한되어 초래되는 결과라고 할 수 있다.

뒷다리 부유동안 매일 쥐를 관찰하여 비정상적인 호흡형태, 부당한 불편감, 꼬리에 색깔변화가 있는가를 사정하였다.

2) 회복기 훈련

25-28°C의 따뜻한 물에서 체중의 5%에 해당하는 추를 꼬리에 매달아 수영훈련을 하였다(Baker & Horvath, 1964). 회복기에 체중이 증가하고 있었으므로 운동 실시전마다 체중을 측정하여 체중의 5%에 해당하는 추를 꼬리에 매달았다. 점증적으로 운동부하를 증가시키기 위해 28일 훈련기간동안 훈련시간을 1주 단위로 증가시켜 첫주는 5분, 둘째주는 7분, 셋째주, 네째주는 9분간 수영훈련을 시켰다. 네째주에 9분이상 운동을 지속하지 못했으므로 운동시간을 9분으로 하였다. 뒷다리 부유후 훈련군의 경우 첫째주에 5분간 수영을 지속하지 못했으므로 첫째주는 3분, 둘째주는 5분, 셋째주는 6분, 네째주에는 7분간 수영훈련을 시켰다.

3) 근육절제와 질량측정

각 군의 동물에게 sodium pentobarbital(4mg/100g 체중)을 복강내에 주사하여 마취시킨 후 가자미근과 족척근을 절제하였고 절제된 근육의 젖은 무게(wet weight)를 microbalance(Mettler PE 160)에서 측정하였다.

가자미근은 비골두(head of fibula)의 근위(proximal) 부착부위에서 원위(distal) 아킬레스 건(Achilles tendon)까지 절제하였고 족척근은 원위근(distal ten-

don)을 가자미근의 건과 아킬레스 건을 둘러싸는 피포(sheath)의 다른 근육에서 분리한 후 종골(calcaneus) 근위(proximal)쪽에서 절제하였고 종자골(sesamoid bone)에 부착된 근위건의 아랫부분까지 절제하였다.

4) 근육의 길이와 둘레 측정<그림 2>

절제된 근육을 microdissecting tweezer로 잡아당기지 않고 반듯하게 편 후에 실을 이용하여 근육의 길이와 둘레를 잰 후 실을 10cm자 위에 놓은 후 자의 눈금에 해당하는 수치를 읽어 기록하였다.

근육의 길이는 근육-건 접합부(junction) 사이의 길이를 측정하였다. 가자미근은 원위 근육-건 접합부의 근위 근육-건 접합부사이의 길이를 측정하였고 족척근은 원위 근육-건 접합부와 근위 절제단까지의 길이를 측정하였다.

둘레는 근육(muscle belly)의 가장 큰 팽대부의 주위로 실을 둘러서 측정하였다.

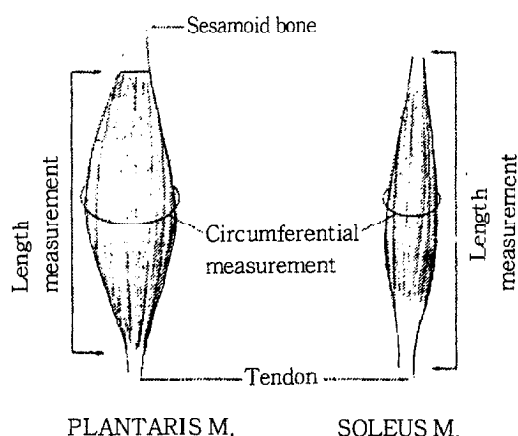


Fig. 2. Schematic of the plantaris and soleus muscles illustrating the sites for the length and circumference measurements.

5) 통계분석

각 군에서 측정된 가자미근 및 족척근의 길이, 둘레, 질량을 평균과 표준편차로 나타내었다. 각 군간의 차이를 Kruskal-Wallis test에 의해 검증하였으며 두 군간의 차이를 검증하기 위해 Mann-Whitney U test를 실시하였다.

III. 연구결과

1. 뒷다리 부유후 체중의 변화

대조군과 뒷다리 부유군간에 실험시작시 체중에 차이가 없는가를 검증하기 위해 Mann-Whitney U test를 한 결과 두 군간에 차이가 없는것으로 나타났다. 14일간의 뒷다리 부유후 체중이 $180.79 \pm 16.24g$ 으로 대조군의 체중 $203.46 \pm 12.69g$ 에 비해 유의하게 작았다($p=.0007$). 대조군은 실험 시작시부터 14일 경과후 체중이 5.42% 증가하였고 뒷다리 부유군은 부유전에 비해 부유후 체중이 0.72% 증가하였다(표 1).

2. 뒷다리 부유가 가자미근과 족척근의 질량에 미치는 영향

14일간의 뒷다리 부유가 가자미근과 족척근의 질량에 미치는 영향은 표 2에서 보는 바와 같이 가자미근 질량은 대조군이 $105.70 \pm 6.62mg$, 뒷다리 부유군이 $53.00 \pm 5.54mg$ 으로 뒷다리 부유군의 가자미근 질량이 대조군의 50.14%로 유의하게 작았다($p=.0000$).

족척근 질량은 대조군이 $213.90 \pm 12.03mg$, 14일 뒷다리 부유군이 $144.00 \pm 26.26mg$ 으로 뒷다리 부유군의 족척근 질량이 대조군의 67.32%로 유의하게 작은것으로 나타났다($p=.0000$).

<Table 1> Pre and postweight of control and hypokinetic group

	Control	Hindlimb suspension	Mann-Whitney U test	
	Oday(C0)	14day(H14)	U	P
n	10	10		
Prewrite(g)	193.00 ± 7.89	179.50 ± 12.35	19.0	.054
Postweight(g)	203.46 ± 12.69	$180.79 \pm 16.24^*$	8.0	.0007
Post/pre	1.06 ± 0.10	1.01 ± 0.12		

Values are M \pm SD n : number of animals

* Significantly different from C0 value($p<0.001$)

〈Table 2〉 Effect of hypokinesia on muscle mass in soleus and plantaris muscles

	Control	Hindlimb suspension	Mann-Whitney U test	
	14day(C14)	14day(H14)	U	P
n	10	10		
Soleus weight(mg)	105.70± 6.62	53.00± 5.54*	.0	.0000
% difference	—	-49.86		
Plantaris weight(mg)	213.90±12.03	144.00±26.26*	.0	.0000
% difference	—	-32.86		

Values are M±SD n : number of animals

*Significantly different from C14 value(p<0.0001)

3. 뒷다리 부유가 가자미근과 족척근의 길이에 미치는 영향

14일간의 뒷다리 부유가 가자미근과 족척근의 길이에 미치는 영향은 표 3과 같다.

가자미근의 길이는 0일 대조군이 18.60±2.07mm, 14

일 대조군이 18.30±1.42mm, 14일 뒷다리 부유군이 18.10±2.88mm로 뒷다리 부유군의 가자미근 길이가 정상 상태의 길이와 차이가 없었다. 족척근 길이는 0일 대조군이 24.00±1.41mm, 14일 대조군이 24.80±2.62mm, 14일 뒷다리 부유군이 25.60±2.63mm로 뒷다리 부유군의 족척근 길이가 정상상태의 길이와 차이가 없었다.

〈Table 3〉 Effect of hypokinesia on length of soleus and plantaris muscles

	Control		Hindlimb suspension	Kruskal-Wallis test	
	0 day(C0)	14 days(C14)	14days(H14)	Chi-square	Sig.
n	10	10	10		
Soleus length(mm)	18.60±2.07	18.30±1.42	18.10±2.88	.2987	.8613
% difference			1.1		
Plantaris length(mm)	24.00±1.41	24.80±2.62	25.60±2.63	2.7723	.2500
% difference		—	3.22		

Values are M±SD n : number of animals % difference : % difference from C14 value

4. 뒷다리 부유가 가자미근과 족척근의 둘레에 미치는 영향

14일간의 뒷다리 부유가 가자미근과 족척근의 둘레에 미치는 영향은 표 4에서 보는 바와 같이 가자미근 둘레는 0일 대조군이 9.60±1.84mm, 14일 대조군이 11.60±

1.26mm, 14일 뒷다리 부유군이 6.00±13.3mm로 뒷다리 부유군의 가자미근 둘레가 0일 대조군의 62.50%, 14일 대조군의 51.72%로 유의하게 작았다(p=.0000).

족척근 둘레는 0일 대조군이 11.60±1.84mm, 14일 대조군이 14.40±0.84mm, 뒷다리 부유군이 9.60±0.84mm로 뒷다리 부유군의 둘레가 0일 대조군의 82.

〈Table 4〉 Effect of hypokinesia on circumference of soleus and plantaris muscles

	Control		Hindlimb suspension	Kruskal-Wallis test		Mann-Whitney U test		U test	
	0 day(C0)	14 days(C14)	14 days(H14)	Chi-square	Sig.	C0-C14	P	C14-H14	P
n	10	10	10			U		U	
Soleus circumference	9.60±1.84	11.60±1.26*	6.00±1.33***+	19.72	.0001	7.0	.0005	.0	.0000
% difference			48.28						
Plantaris circumference	11.60±1.84	14.40±0.84*	9.60±0.84***+	19.91	.0000	17.0	.0115	.0	.0000
% difference			-33.33						

Values are M±SD(mm) n : number of animals % difference : % difference from C14 value

* significantly different from C0 value (p<.05)

** significantly different from C0 value (p<.001)

*** significantly different from C0 value (p<.0005)

+ significantly different from C14 value (p<.0001)

76%, 14일 대조군의 66.67%이었으며 이는 유의한 차이를 나타냈다($p=.0000$).

활동저하에 의해 가자미근과 족척근의 둘레가 각각 대조군의 51.72%, 66.67%로 가자미근 둘레가 족척근의 그것에 비해 더 감소하였으며 가자미근과 족척근의 둘레감소와 평행하게 질량이 감소하였음을 그림 3에 보여

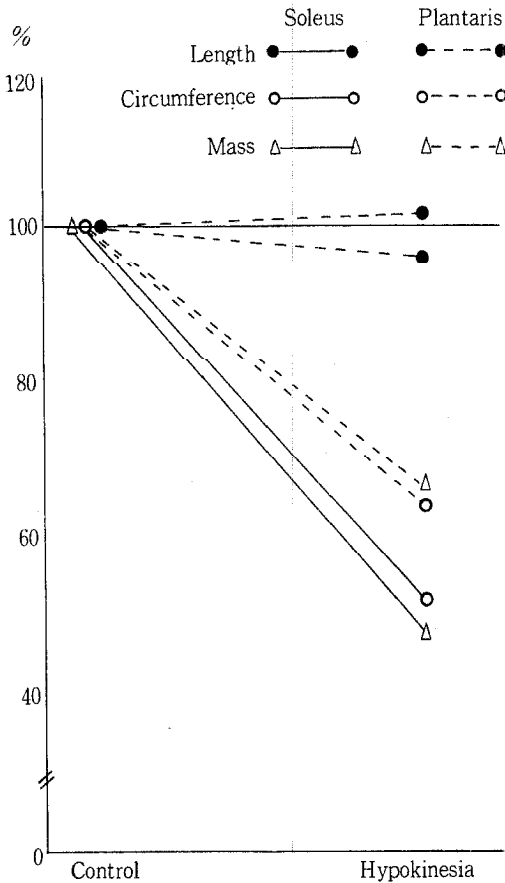


Fig. 3. Effect of hypokinesia on length, circumference and mass of soleus and plantaris muscle

주고 있다.

5. 뒷다리 부유후 훈련과 비훈련이 가자미근과 족척근의 길이에 미치는 영향

뒷다리 부유후 훈련과 비훈련이 가자미근과 족척근의 길이에 미치는 영향은 표 5에 요약된 바와 같다.

14일간의 정상활동 후 4주간의 비훈련군과 훈련군의 가자미근 길이가 각각 $19.90 \pm 1.52\text{mm}$, $19.13 \pm 1.46\text{mm}$ 이었고 뒷다리 부유후 4주간의 비훈련군과 훈련군의 가자미근 길이가 $21.22 \pm 2.05\text{mm}$, $19.50 \pm 1.60\text{mm}$ 로 4군산에 차이가 없었다.

14일간의 정상활동 후 4주간의 비훈련군과 훈련군의 족척근 길이가 각각 $25.20 \pm 1.87\text{mm}$, $26.63 \pm 1.30\text{mm}$ 이었고 뒷다리 부유후 4주간의 비훈련군과 훈련군의 족척근 길이가 $26.89 \pm 1.36\text{mm}$, $26.38 \pm 2.26\text{mm}$ 로 각 군간에 차이가 없었다.

6. 뒷다리 부유후 훈련과 비훈련이 가자미근과 족척근의 둘레에 미치는 영향

뒷다리 부유후 훈련과 비훈련이 가자미근과 족척근의 둘레에 미치는 영향은 표 6에 요약된 바와 같다.

14일간의 정상활동 후 4주간의 비훈련군과 훈련군의 가자미근 둘레가 각각 $11.20 \pm 1.03\text{mm}$, $12.00 \pm 0.93\text{mm}$ 이었고 뒷다리 부유후 4주간의 비훈련군과 훈련군의 가자미근 둘레가 $8.00 \pm 1.41\text{mm}$, $13.25 \pm 1.49\text{mm}$ 로 4군간에 차이가 있었다. 뒷다리 부유후 비훈련군의 가자미근 둘레는 정상상태로 회복되지 않았으며 훈련군의 가자미근 둘레는 대조군에 비해 14.22% 더 컸고 이는 유의한 차이를 보였다($p=.0434$). 회복기 28일에 뒷다리 부유후 훈련군의 가자미근 둘레가 비훈련군에 비해 유의하게 컸다($p=.0001$).

족척근의 둘레는 대조군이 $14.40 \pm 0.84\text{mm}$, 정상활동

<Table 5> Effect of exercise on length of soleus and plantaris muscles

	Control	28-day control recovery		28-day hypokinetic recovery		Kruskal-Wallis test	
		Sedentary (CS28)	Trained (CR28)	Sedentary (HS28)	Trained (HR28)	Chi-square	Sig.
n	10	10	8	9	8		
Soleus length(mm)	18.30 ± 1.42	19.90 ± 1.52	19.13 ± 1.46	21.22 ± 2.05	19.50 ± 1.60	4.0548	.2556
% difference	—	8.74	4.54	15.96	6.56		
Plantaris length(mm)	24.80 ± 2.62	25.20 ± 1.87	26.63 ± 6.30	26.89 ± 1.36	26.38 ± 2.26	5.5421	.1361
% difference	—	1.61	7.38	8.43	6.37		

Values are M \pm SD

n : number of animals

% difference : % difference from control value

〈Table 6〉 Effect of exercise on circumference of soleus and plantaris muscles

	Control		28-day control recovery		28-day hypokinetic recovery		Kruskal-Wallis test	
	n		Sedentary(CS28)	Trained(CR28)	Sedentary(HS28)	Trained(HR28)	Chi-square	Sig.
Soleus circumference	10	11.60±1.26	11.20±1.03	12.50±0.93	8.00±1.41***	13.25±1.49*†	22.7917	0.0000
% difference	-	-3.34	776	776	-31.03	14.22		
Plantaris circumference	10	14.40±0.84	13.06±0.84	15.50±1.41#	11.33±1.41***++	15.75±0.71***†	23.3486	0.0000
% difference	-	-5.56	764	764	-21.32	9.38		

Values are M ± SD (mm) n: number of animals % difference: % difference from control value

* Significantly different from control value (p < .05) ** Significantly different from control value (p < .005)
 # Significantly different from CS28 value (p < .05) ## Significantly different from CS28 value (p < .005)
 ### Significantly different from CS28 value (p < .0005) + Significantly different from CR28 value (p < .0001)
 +++ Significantly different from CR28 value (p < .0005) † Significantly different from HS28 value (p < .0001)

Mann-Whitney U test

Control-CS28		Control-CR28		Control-HS28		Control-HR28		CS28-CR28	
U	P	U	P	U	P	U	P	U	P
42.0	.5787	25.0	.2031	3.0	.0002	17.5	.0434	18.0	.0545
32.0	.1903	22.0	.1220	4.0	.0003	13.0	.0155	12.0	.0117

후 비훈련군이 $13.60 \pm 0.84\text{mm}$, 훈련군이 $15.50 \pm 1.41\text{mm}$, 뒷다리부유후 비훈련군이 $11.33 \pm 1.41\text{mm}$, 훈련군이 $15.75 \pm 0.71\text{mm}$ 로 4군 간에 차이가 있었다. 뒷다리 부유후 비훈련군의 족척근 둘레는 정상상태로 회복되지 않았고 훈련군의 족척근 둘레는 정상군에 비해 9.38% 더 컸으며 이는 유의한 차이를 보였다($p = .0155$). 회복기 28일에 뒷다리 부유후 훈련군의 족척근 둘레가 비훈련군에 비해 유의하게 컸다($p = .0001$).

회복기 비훈련군의 가자미근과 족척근의 둘레, 가자미근 질량이 정상상태로 회복되지 않았으나 훈련군의 가자미근과 족척근의 둘레가 정상치 이상으로 현저하게 증가했고 기미근과 족척근의 질량도 증가했다(그림 4).

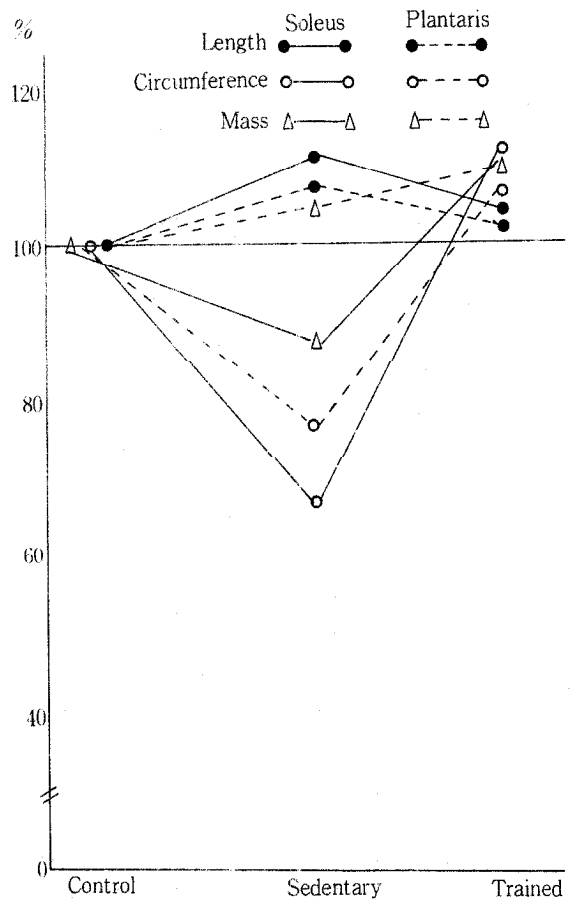


Fig 4. Effect of exercise on length, circumference and mass of soleus and plantaris muscle

IV. 고 찰

14일간의 뒷다리 부유후 체중이 대조군에 비해 유의하게 적었다. 이러한 결과는 뒷다리 부유시에 13.5g의 차이가 있었고 활동이 자유롭게 못해서 오는 식습관의 변화에 의한것으로 생각된다.

뒷다리 부유후 체중이 뒷다리 부유시에 비해 0.72% 증가되었다. 이는 Musacchia등(1980)의 활동이 저하된지 3일동안 체중이 급격하게 저하했고 이후 체중이 1일 2.8g의 비율로 증가했다는 보고와 비교할 때 체중이 증가하는 경향은 일치하나 본 연구의 체중증가는 14일간의 뒷다리 부유후 1.2g증가하는 정도이었다.

활동저하로 인해 가자미근과 족척근의 질량이 대조군의 50.14%, 67.32%로 현저하게 감소하였으므로 14일간의 활동저하로 근위축이 유발되었음을 보여주고 있다. 이러한 결과는 활동저하에 의해 가자미근과 족척근질량이 감소하였다는 Musacchia등(1981, 1983)의 보고, 가자미근 질량이 감소하였다는 Kasper등(1982a), Templeton등(1984)의 보고, 최(1991)의 보고와 일치하고 있다.

본 연구에서 뒷다리 부유에 의해 가자미근과 족척근의 둘레가 현저하게 감소하였고 길이는 변화가 없었다. 이와 같은 결과는 활동저하에 의해 둘레성장이 억제되었다는것을 나타낸다. 뒷다리 부유후 근육의 길이는 정상근육의 길이와 차이가 없었고 가자미근 섬유의 반경성장(radial growth)이 뒷다리 부유 3일과 10일 사이에 어찌되어 10일 이후 정상치의 76%로 저하되었다(Darr & Schultz, 1989)는 결과와 잘 부합하고 있다. 석고붕대 적용에 의한 4주간의 부동으로 가자미근과 족척근의 둘레가 감소하였다는 보고(Gossman et al, 1981)와도 일치하고 있다. 이러한 결과는 활동이 저하되면 근절(sarcomere)이 상실되어 근육의 크기가 작아지며(Tabary et al, 1972) 근절생산이 줄어들어(Williams & Goldspink, 1971) 근육둘레가 저하되는 것으로 설명될 수 있다.

본 연구에서 뒷다리 부유후 가자미근과 족척근의 길이가 정상근육의 길이와 차이가없게 나타난 결과는 Darr & Schultz의 보고와 일치되나 Gossman등의 석고붕대적용에 의한 4주간의 부동으로 족척근길이는 정상과 차이가 없었고 가자미근의 길이가 정상에 비해 짧아졌다는 보고와는 차이를 보이고 있다. 이와 같은 차이는 본 연구와 Darr & Schultz의 연구에서는 뒷다리부유에 의해 활동저하를 유도하였고 Gossman등의 연구는 석

고붕대를 적용하여 부동을 유발하였으므로 가자미근이 정상운동 범위에서 수축하는 정도가 다르기 때문에 초래된것으로 생각된다.

활동저하에 의해 가자미근의 둘레감소가 속적근의 그것에 비해 크게 나타난 결과는 지근(slow twitch muscle)이 속근(fast twitch muscle)에 비해 더 큰 범위로 위축이 온다(Booth & Seider, 1980 ; BruceGregorios et al, 1984 ; Sargeant, 1977 ; Witzman et al, 1982)는 연구보고에 의해 지지될 수 있다고 생각한다.

가자미근은 주로 서서히 수축하는 산화근섬유(oxidative fiber, Type I)로 구성되어 있는 지근(slow-twitch muscle)이고 족척근은 빠르게 수축하는 근섬유(Type II)로 구성된 속근이다. 가자미근에서 주로 많은 slow-twitch fibers가 체중부하동안 먼저 동원(recruit)되며 수축빈도의 변화에 아주 민감한 긴장성 활동형태(tonic activity pattern)를 지니므로(Appell, 1986 ; Henneman et al, 1965 ; Morey-Holton and Wronski, 1981) 이들 근육의 체중부하 역할이 뒷다리 부유동안 유의하게 변화되어 가자미근의 질량감소가 현저했고 둘레가 정상의 1/2로 감소되었다고 볼 수 있다.

운동훈련에 의해 위축근의 길이변화는 없었으나 위축근의 둘레가 현저하게 증가했고 회복기 28일에 훈련군의 위축근 둘레가 비훈련군에 비해 유의하게 컸다.

이와 같은 결과는 운동훈련에 의해 위축근의 길이 성장은 없었고 둘레성장이 촉진되었음을 나타낸다. 운동훈련에 의한 위축근의 둘레성장은 기능적 과부하(functional overload)에 의한 근육크기의 증가(Hall-Claggs, 1970, 1972 ; James, 1973, 1976 ; Rowe and Goldspink, 1968) 즉 근육비후에 의한 결과로 볼 수 있다. 비후 과정은 수축성 단백질의 합성과 직접 연관되는 것으로 단백질합성이 증가하고 단백질해가 저하되어 세포내 근원섬유가 두터워지며(McArdle et al, 1981) 근원섬유가 어떤 크기 이상으로 외측으로 성장하여 두개의 근원섬유로 길이로 나누어져 근원섬유 숫자가 증가하는것(Goldspink, 1972)으로 설명하고 있다.

운동에 의해 위축근의 둘레가 현저하게 증가된 것은 운동훈련에 의한 위축근의 질량회복 증진이 근육의 둘레성장에 의한것임을 시사하고 있다. 이러한 결과는 체중지지와 운동이 뒷다리 부유시 초래된 근원섬유 단백질의 감소를 줄였다는 Thomason등(1987)의 보고에 의해 지지될 수 있다고 생각하며 자세근의 운동뉴론의 동원빈도가 커짐으로써 단백질 상실을 막아(Fell et al, 1985) 위축근의 둘레가 커진것으로 해석될 수 있다. 그

러므로 운동훈련에 의한 위축근의 둘레성장은 단백질합성을 자극하고 단백질분해를 억제하여 근조직에 단백질을 축적시켜(Goldspink, 1977) 근육이 비후된 결과라고 설명될 수 있다.

운동이 위축근의 둘레성장을 촉진시키는것은 특수 아미노산을 축적하는 능력이 비후 가자미근에서 크고(Goldberg & Goodman, 1969) 수축활동이 단백질분해를 억제하며(Fulks et al, 1975) 단백질합성 속도가 증가되고(Hamosh et al, 1967) 근육(isolated muscle)에 직접 자극을 가하는것이 아미노산 흡수를 증진시키며(Peterson & Lesch, 1972) 근단백의 분해를 억제하여(Goldberg et al, 1975) 초래된 것으로 생각된다.

본 연구에서 위축 가자미근의 둘레성장이 위축 족척근에 비해 크게 나타난것은 지구력활동에 주로 Type I 섬유질의 운동단위가 동원되기 때문인것으로 생각된다.

가자미근은 Type I 근육으로서 ATP(Adenosine triphosphate)를 분해하는 속도가 느리고 에너지공급을 유산소대사(aerobic metabolism)에 의존하며 피로에 대한 저항이 큰 반면 족척근은 Type II 근육으로서 ATP분해속도가 빠르고 에너지 공급을 혐기성 인산화(anaerobic phosphorylation)와 당원(glycogen)에 의존하며 쉽게 피로해진다. 이와 같이 두 근육의 특성이 다르기 때문에 지구력활동에 주로 Type I 근육인 가자미근이 작용하여 가자미근의 단백질 상실이 억제됨으로서 Type II 근육인 족척근에 비해 둘레성장이 큰 것으로 해석할 수 있다.

이렇게 본다면 근육활동이 단백질합성을 증가시키고 단백질분해를 저하하여 세포내 근원섬유가 두터워지며 근절첨가로 근원섬유 숫자가 증가하여 근육이 비후됨으로써 위축근의 둘레성장이 커진것으로 설명될 수 있다.

본 실험결과와 고찰을 토대로 정상활동이상의 근육활동에 의해 쥐의 위축근의 둘레성장을 증진시킬 수 있으므로 위축근의 질량회복은 근육의 둘레성장에 의한것으로 생각된다.

V. 결 론

뒷다리 부유에 의한 활동저하로 가자미근과 족척근에 위축이 유발되었음을 확인한 후 회복기에 실시한 운동이 위축근의 길이와 둘레에 미치는 영향을 규명하기 위해 female adult Wistar rats의 뒷다리를 14일간 부유시킨 후 이어 28일간 정상활동을 시키거나 운동훈련을 시킨 후 훈련군의 위축 가자미근및 족척근의 길이와 둘레

를 측정하였다.

활동저하가 가자미근과 족척근의 길이와 둘레에 미치는 영향을 분석하고 회복기 28일에 위축 가자미근및 족척근의 길이와 둘레가 대조치로 회복되는가를 분석하여 회복기 28일에 위축 가자미근및 족척근의 길이와 둘레에 훈련군과 비훈련군간에 차이가 있는가를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 14일간의 뒷다리 부유에 의한 활동저하로 가자미근과 족척근의 위축이 유발되었다.
- 2) 뒷다리 부유후 가자미근과 족척근의 둘레는 각각 51.72%, 66.67% 감소되었으나($p=.0000$) 길이변화는 없었다.
- 3) 뒷다리 부유후 회복기의 훈련군과 비훈련군간에 위축 가자미근및 족척근의 길이에 차이가 없었다.
- 4) 회복기 비훈련군의 위축 가자미근및 족척근의 둘레는 정상상태로 회복되지 않았으나 훈련군의 위축 가자미근및 족척근의 둘레는 정상군에 비해 각각 14.22%, 9.38% 더 컸고 이는 유의한 차이를 보였다($p=.0434$, $p=.0155$).
- 5) 회복기 28일에 훈련군의 위축 가자미근및 족척근의 둘레가 비훈련군에 비해 유의하게 컸다($p=.0001$).

이와 같은 결과를 토대로 활동저하후 회복기에 운동훈련을 실시함으로써 쥐의 위축근의 둘레성장을 증진시킬 수 있으므로 침상안정후 회복기 운동이 근육의 둘레성장을 촉진시켜 위축근의 질량회복 증진을 가져올 수 있음을 보여주고 있다.

참 고 문 헌

- 최명애, 운동이 쥐의 위축가자미근의 질량과 상대근 무게에 미치는 영향, 대한간호학회지, 1991, 21(3), 281-294.
- Appl. H.J. Skeletal muscle atrophy during immobilization, *Int. J. Sports Med.* 1986, 7, 1-5.
- Booth, F.W., Time course of muscular atrophy during immobilization of hindlimbs in rats, *J. Appl. Physiol.* 1977, 43(4) : 656-661.
- Booth, F.W., Effect of limb immobilization on skeletal muscle, *J. Appl. Physiol.* 1982, 52(5) : 1113-1118.
- Booth, F.W. and M.J. Seider, Effects of disuse by

- limb immobilization on different muscle fiber types, *Plasticity of Muscle*. 1980.
- Booth, F.W. and P.D. Gollnick, Effects of disuse on the structure and function of skeletal muscle, *Med. Sci. Sports Exerc.* 1983, 15, 415-420.
- Bruce-Gregorios, J. and S.M. Chow, Core myofibers and related alterations induced in rats soleus muscle by immobilization in shortened position, *J. Neurol. Sci.* 1984, 63, 267-275.
- Darr, K. and E. Schultz, Hindlimb suspension suppresses muscle growth and satellite cell proliferation, *J. Appl. Physiol.* 1989, 67(5), 1827-1834.
- Enesco, M and D. Puddy, Increase in the number of nuclei and weight in skeletal muscle of rats of various ages, *Am. J. Anat.* 1964, 111, 235-244.
- Fell, R.D., J.M. Steffen and X.J. Musacchia, Effect of hypokinesia-hypodynamia on rat muscle oxidative capacity and glucose intake, *Am. J. Physiol.* 1985, 249, R308-R312.
- Finol, H., D.M. Lewis, and R. Owens, The effects of denervation on contractile properties of rat skeletal muscle, *J. Physiol.* 1981, 319, 82-92.
- Fulks, R.M. J.B.L. and A.L. Goldberg, Effects of insulin, glucose and aminoacids on protein turnover in rat diaphragm, *J. Biol. Chem.* 1975, 250, 290-298.
- Goldberg, A.L., Protein synthesis in tonic and phasic skeletal muscle, *Nature*. 1967, 216, 1219-1220.
- Goldberg, A.L. and H.M. Goodman, Amino acid transport during work-induced growth of skeletal muscle, *Am. J. Physiol.* 1969, 216, 1111-1115.
- Goldberg, A.L., J.D. Etlinger, D.F. Goldspink, and C. Jablecki, Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle, *Med. Sci. Sports Exerc.* 1975, 7, 248-261.
- Goldspink, D.F., The influence of immobilization and stretch on protein turnover of rat skeletal muscle, *J. Physiol.* 1977, 264, 267-282.
- Goldspink, G., Sarcomere length during postnatal growth of mammalian muscle fibers, *J. Cell Sci.* 1968, 3, 539-548.
- Goldspink, G., The proliferation of myofibrils during muscle fiber growth, *J. Cell Sci.* 1970, 6, 593-604.
- Goldspink, G., Postembryonic growth and differentiation of striated muscle. In *the structure and function of muscle*, vol. 1, Ed. G.H. Bourne, Academic Press, London : 179-236, 1972.
- Gossman, M.R., S.J. Rose, S.A. Sahrmann and C.R. Katholi, Length and circumference measurements in one-joint and multi-joint muscles in rabbits after immobilization, *Phys. Ther.* 1986, 66(4), 516-520.
- Hall-Craggs, E.C.B., The longitudinal division of fibers in overloaded rat skeletal muscle, *J. Anat.* 1970, 107, 459-470.
- Hall-Craggs, E.C.B., The significance of longitudinal fiber division in skeletal muscle, *J. Neuro Sci.* 1972, 15, 27-32.
- Hamosh, M., M. Lesch, J. Baron and S. Kaufman, Enhanced protein synthesis in a cell-free system from hypertrophied skeletal muscle, *Science*. Y. 1967, 157, 935-937.
- Henneman, E., C.G. Somjen and D.O. Carpenter, Functional significance of cell size in spinal motor neurons, *J. Neurophysiol.* 1965, 28, 599-620.
- James, N.T., Compensatory muscular hypertrophy in the extensor digitorum longus muscle of the mouse, *J. Anat.* 1976, 122, 121-131.
- James, N.T., Compensatory hypertrophy in extensor digitorum longus muscle of the rat, *J. Anat.* 1973, 116, 57-65.
- McArdle, W.D., F.I. Katch and V.L. Katch, *Exercise physiology : energy, nutrition, and human performance*, Lea & Febiger, Philadelphia, 1981, 296-297.
- Morey-Holton, E. and T.J. Wronski, Animal models for simulating weightlessness, *The Physiologist*. 1981, 24(Suppl. 6), 45.
- Moss, F.P., The relationship between dimensions of the fibers and the number of nuclei during normal growth of skeletal muscle in the domestic fowl, *Am. J. Anat.* 1968, 122, 555-564.
- Musacchia, X.J., D.R. Deavers, G.A. Meininger and

- T.P. Davis, A model for hypokinesia : Effects on muscle atrophy in the rat, *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 1980, 48, 479-486.
- Musacchia, X.J., J.M. Steffen and D.R. Deavers, Suspension restraint : induced hypokinesia and antiorthostasis as a simulation of weightlessness, *The Physiologist*. 1981, 246(Suppl).
- Musacchia, X.J., J.M. Steffen and D.R. Deavers, Rat hindlimb muscle responses to suspension hypokinesia /hypodynamia, *Aviat. Space Environ. Med.* 1983, 54, 1015-1020.
- Peterson, M.D. and M. Lesch, Protein synthesis and amino acid transport in the isolated rabbit ventricular papillary muscle : effect of isometric tension development, *Cir. Res.* 1972, 31, 317-327.
- Rowe, R.W.E. and G. Goldpink, Surgically induced hypertrophy in skeletal muscles of the laboratory mouse, *Anat. Rec.* 1968, 161, 69-76.
- Sandler, H. and J. Vernicos, *Inactivity : Physiological effects*, Orland Academic Press, Inc. 1986.
- Sargeant, A.J., C.T.M. Davies, R.H.T. Edwards, C. Maunders, A. Young, Functional and structural changes after disuse of human muscle, *Clin. Sci. Mol. Med.* 1977, 52, 337-342.
- Smith, I.H., Relations of body size to muscle cell size and number in the chicken, *Poult. Sci.* 1963, 12, 283-290.
- Sweeney, J.R., G.J. Marshall, H. Gruber and M.E. Kirchen, Effect of non-weightbearing on fracture healing, *The Physiologist*. 1984, 27(Suppl. 6), 35-36.
- Tabary, J.C., C. Tabart, C. Tardieu, G. Tardieu and G. Goldpink, Physiological and structural changes in the cat's soleus muscle due to immobilization at different lengths by plaster casts, *J. Physiol.* 1972, 224, 231-244.
- Templeton, G.H., M. Padalino, J. Manton, M. Glasberg, C.J. Silver, P. Silver, G. DeMartino, T. Leconey, G. Klug, H. Hagler, and J. L. Sutko, Influence of suspension hypokinesia on rat soleus muscle, *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 1984, 56(2), 278-286.
- Thomason, D.B., R.E. Herrick, and K.M. Baldwin, Activity influences on soleus muscle myosin during rodent hindlimb suspension, *J. Appl. Physiol.* 1987, 63, 138-144.
- Williams, P.E. and G. Goldspink, The effect of immobilization on the longitudinal growth of striated muscle fibers, *J. Anat.* 1973, 116(1), 45-55.
- Witzman, F.A., D.H. Kim, and R.H. Fitts, Recovery time course in contractile function of fast and slow skeletal muscle after hindlimb immobilization, *J. Appl. Physiol.* 1982, 52, 667-682.

- Abstract -

Effect of Exercise Training following Hypokinesia on the Length and Circumference of Atrophied Soleus and Plantaris Muscle in Rats

Choe, Myoung-Ae* · Ahn, Suk-Heui**

The purpose of this study was to determine the effect of exercise training on the length and circumference of atrophied muscles to see whether improvement in restoring the atrophied muscle mass, of either length or circumference growth could be induced through exercise training.

Adult female Wistar rats were maintained for 14 days with hindlimb suspension. Rats were then

* College of Nursing, Seoul National University

**Seoul Poisoning and Emergency Control Center

assigned randomly to a sedentary group or training group. The length and circumference of both atrophied soleus and plantaris muscle for the training and sedentary groups following hindlimb suspension were compared with those of a control group. Length and circumference of both atrophied soleus and plantaris muscle in trained group was compared with those in the sedentary group.

The results can be summarized as follows;

- 1) Atrophy of soleus and plantaris muscle was induced with hindlimb suspension.
- 2) The circumference of both the soleus and plantaris muscle following hindlimb suspension was reduced to 51.72%, 66.67% respectively compared to the control group. The length of both the soleus and plantaris muscle following hindlimb suspension did not show any difference compared to the control group.
- 3) There was no difference in length for either the

atrophied soleus or plantaris muscle between the trained and the sedentary group during recovery from hindlimb suspension.

- 4) The circumference of both the atrophied soleus and plantaris muscle did not return to normal in the sedentary group, however, the circumference of both the atrophied soleus and plantaris muscle were significantly greater than of the control in the trained group, 14.22% and 9.38% respectively.
- 5) The circumference of both the atrophied soleus and plantaris muscle in the trained group was significantly larger than that of both muscles in the sedentary group at day 28 of recovery.

From these results, it can be suggested that improvement in restoring the atrophied muscle mass through exercise training might be induced by growth of the muscle circumference.