

간헐적인 낮은강도, 짧은기간의 운동부하가 뒷다리 부유쥐의 Type II 근육에 미치는 영향*

최명애** · 지제근*** · 김은희****

I. 서 론

1. 연구의 필요성

근육의 구조와 기능의 유지에 중요한 자극중의 하나는 중력에 대항하여(counteracting gravity) 정상적으로 생성되는 힘(force)이며, 부하저하의 여러가지 모형을 통해 골격근특성(properties)의 유지에 필요한 힘(force) 발생에 어떤 수준(level)이 있다는 것이 밝혀졌다(Alford et al, 1987 ; Baldwin et al, 1984 ; Fitts et al, 1986 ; Goldspink et al, 1986 ; Herbert et al, 1988 ; Roy et al, 1984 ; Winiarski et al, 1987). 근육에 가해지는 근력형태(force pattern)의 변화에서 초래되는 결과는 항중력 기능, 근육의 횡단(cross section)부위, 근육의 근섬유형태 구성성분(Alford et al, 1987 ; Fitts et al, 1986 ; Goldspink et al, 1986 ; Riley et al, 1985 ; Thomason et al, 1987 ; Witzman et al, 1982)과 연관된다. 항중력작용에 참여하는 근육이 항중력작용이 없는 근육에 비해 더 큰범위로 영향을 받으며 쥐의 가자미근(soleus muscle)에서 light ATPase fibers의 횡단면적이 dark ATPase fibers에 비해 뒷다리 부유에 더 민감하다(Graham et al, 1989 ; Hauschka et al, 1987, 1988).

장기간의 활동저하에 의한 근육의 불사용은 최대유산

소능력(aerobic capacity)을 줄이고(Rifenberick and Max, 1974), 쥐뒷다리의 석고봉대적용에 의한 부동(immobilization)은 사립체(mitochondria) marker enzyme의 농도와 작용을 저하시켜 근육의 산화능력(oxidative capacity)을 감소시킨다(Booth, 1977). 장기간의 활동저하는 근육단백질의 유의한 상실, 골격근이 산소를 이용하는 능력의 저하, 기능적능력(functional capacity)의 장애를 유발하며(Hung et al, 1982) 부동근육에서 근원섬유 단백질농도(myofibrillar protein concentration)가 저하되었음을 보고하였다(Jokl and Konstadt, 1983 ; Maier et al, 1976).

입원이라는 상황에서 체중부하저하와 근육수축활동의 저하는 불가피하다. 최(1991)의 보고에 의하면 입원 기간동안 주로 침상안정을 하였던 내과환자들의 하퇴돌레가 입원 3일째부터, 대퇴돌레가 입원 7일째부터 감소하였고 입원후 14일째 하지근력이 저하되었다. 이러한 결과는 입원에 의한 활동저하로 하지근에 위축이 초래되었음을 제시한다.

Balaya등(1975)은 head-up(+6°), head-down(-6°) 체위에서 30일간 침상안정하는 동안 사지의 골근 및 신근의 근전도 변화를 연구한 결과 30일간의 침상안정후 전기적 활동이 1/2로 줄었고 대퇴돌레가 유의하게 저하되었다고 보고했다. 미국 보건생정통계(health and vital statistics)에 의하면 급·만성질환이

* 이논문은 1993년도 한국과학재단 핵심전문과제 연구지원비에 의하여 연구되었음

** 서울대학교 간호대학

*** 서울대학교 의과대학

**** 한국체육과학 연구원

나 손상에 의해 일인당 14.2일의 활동제한이 있는것으로 추산했다. 골격근질량과 수축성단백질의 수요상실이 활동저하 첫 3일에서 13일동안 발생하며(Booth, 1977) 이 기간이 보건생정통계에 의한 활동제한의 평균날짜와 일치하므로 거의 모든 환자집단은 활동저하에 의한 골격근 위축발생의 위험에 처해 있다고 볼 수 있다.

또한 입원환자의 경우 급성적인 문제해결에 중점을 두어 치료나 간호를 하게 되고 활동저하에 의해 초래되는 문제는 거의 관심밖의 일로 간주되고 있는 실정이므로 골격근위축 발생 가능성이 더욱 크다고 볼 수 있다. 급성적인 문제가 해결된 후 골격근 위축문제에 관심을 갖게될때는 근위축이 상당히 진행되고 있는 상태이므로 기능회복시간이 연장되어 입원기간이 길어지며, 퇴원 후 기능적능력의 장애로 정상생활로 복귀하는 시기가 늦어진다. 이러한 문제를 해결하는 방안의 하나가 환자의 급성적인 문제해결을 하는동안 가능한 범위내에서 체중을 부하시키거나 운동을 수행시켜 근위축의 정도를 약화시키는 것이라고 할 수 있다. 그러나 이에 대한 국내에서의 노력은 저자의 연구보고(1994)를 제외하면 희소하였다. 최등(1994)은 활동제한 기간동안 주기적인 낮은 강도의 운동부하가 활동저하에 의해 유발된 Type I, II 근육의 위축정도를 줄일수 있다고 보고하였다.

Hauschka등(1988)은 뒷다리 부유쥐에 가해지는 간헐적인 체중지지 활동은 가자미근의 light ATPase fibers 와 dark ATPase fibers 둘다의 위축을 약화시킬 수 있으나 dark ATPase fibers에 더 큰 영향을 미쳤음을 보고했으며, Pierotti등(1987)은 매일 짧은 기간의 체중지지가 뒷다리 부유에 의한 slow twitch 근육인 가자미근위축을 현저하게 약화시켰음을 입증했고 Graham등(1989)은 뒷다리 부유동안 낮은 강도의 운동을 주기적으로 부하시켜 내측비복근의 fast twitch fibers의 평균 근섬유 단면적과 succinate, glycerophosphate dehydrogenase 등의 효소 활동을 정상치에 더 가깝게 변화시켰음을 보고했다.

자세근은 근력발생을 계속적으로 조정하여 중력에 대항하여 똑바로 선자세(upright position)를 유지하며 이동작에는 긴장성으로 흥분을 발사하는 작은운동 뉴론에 의해 지배되는 서서히 수축하는 근섬유가 참여한다. Type I 근육(slow twitch muscle)은 주로 slow twitch 운동단위(Type I)로 구성되며 Type I 운동단위를 지배하는 운동뉴론의 크기가 작아 단위면적당 장력이나 부하(load) 증가에 대해 먼저 동원되고(Henneman et al, 1965) fast twitch 운동단위를 지배하는 운동뉴론은 흥

분성역치가 높아 강도가 큰 운동부하시에 동원된다.

주기적인 체중지지가 뒷다리부유에 의한 적응을 개선하는데 강력한영향을 주었고, 이러한 형태의 운동과 신경·근 요구량에 의해 동원(recruit)되지 않으리라고 기대했던 근육에도 강력한영향을 주었다는 Graham등(1989), 최등(1994)의 연구결과는 낮은강도의 운동이 흥분역치기 높은 운동뉴론에 의해 지배되는 근섬유에 영향을 미칠 수 있다는 가능성을 제시하고 있다.

최등(1994)의 연구에서 활동저하 기간중 1일 3회, 1회 운동시간을 15분으로 하여 운동을 부하시킨 결과 Type II 근육의 위축이 약화되었음을 입증하였으나 입원환자의 경우 1회 운동을 15분간 지속하기 어렵기때문에 1회 운동시간을 짧게 더 잦은 간격으로 운동을 수행하는 것도 흥분역치가 높은 운동뉴론에 의해 지배되는 Type II 근육에 영향을 미치는가를 규명해볼 필요성이 증대되었다.

2. 연구 목적

본 연구는 7일간의 뒷다리부유중 간헐적인 낮은 강도, 짧은기간의 운동부하가 Type II 근육인 족척근의 질량, 상대근무게, 근원섬유 단백질 함량, Type I, II fiber의 분포비율 및 횡단면적, SDH활성에 미치는 영향을 밝히고자하며 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 뒷다리부유로 족척근의 질량, 상대근무게, 근원섬유 단백질 함량, Type I, II fiber의 분포비율 및 횡단면적, SDH활성이 저하되는가를 분석한다.
2. 뒷다리부유를 하는 동안 간헐적인 낮은 강도, 짧은기간의 운동 부하로 족척근의 질량, 상대근무게, 근원섬유 단백질 함량, Type I, II fiber의 분포비율 및 횡단면적, SDH활성이 뒷다리부유시에 비해 증가되는가를 분석한다.
3. 뒷다리부유를 하는동안 간헐적인 낮은 강도, 짧은기간의 운동 부하로 족척근의 질량, 상대근무게, 근원섬유 단백질 함량, Type I, II fiber의 분포비율 및 횡단면적, SDH활성이 대조치로 회복되는가를 분석한다.

II. 연구 방법

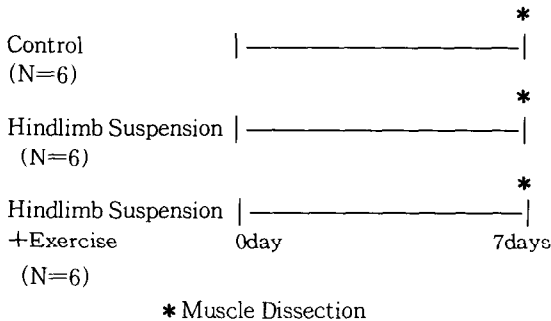
1. 연구대상

실험동물로 Adult female Wistar rats(N=18, 체중

$\approx 212.83 \pm 13.65g$)를 사용하였고 성장에 의한 변화를 최소화 시키기위해 성인쥐를 택하였다. 대조군과 실험군을 동일한 환경에 수용하였고 circadian rhythm을 위해 12시간은 밝고 12시간은 어둡게 하였으며 쥐사료(고형사료)와 물을 마음대로 먹게하였다.

2. 실험설계(그림 1)

실험동물은 무자위로 대조군, 뒷다리부유군, 뒷다리부유+운동군(이하 운동군) 3군으로 구분하였다. 대조군은 뒷다리를 부유하지않은 정상적으로 활동을 했던군이고 뒷다리부유군은 뒷다리를 부유했던군이며, 운동군은 뒷다리부유를 하는동안 주기적으로 운동을 부하였던 군이다. 세군 모두 실험시작일로부터 7일째에 족척근과 가자미근을 절제하였다.



<Figure 1> Experimental Design

3. 실험방법

1) 뒷다리 부유(hindlimb suspension)

Morey-Holton과 Wronski(1981)에 의해 개발되었고 Sweeney등(1984)이 변형시킨 방법을 이용하여 뒷다리를 부유시켰다. 이 모형에서 꼬리부유장치(tail suspension device)를 꼬리의 근위 1/2부위에 다음과 같은 방법으로 적용하였다. 꼬리를 공기건조기(air blower)로 말리며 75% 에틸알콜(ethyl alcohol)로 닦고 건조시킨후 benzoin tincture를 분무시켜 다시 건조시켰다. 피부견인테이프(skin traction tape)을 꼬리를 덮을수 있는 폭으로 잘라 꼬리에 부착시킨후 스타키넷(stockinette)으로 감싸고 반창고로 고정시켰다. 꼬리에 부착시킨 테이프의 중간에 고리를 넣고 이 고리에 안전핀을 찌른후 cage천정에 장치한 회전고리(swivel hook)에 연결시켰다.

쥐의 뒷다리가 약간 상승되도록 하는 높으로 고정시켜 뒷다리가 cage바닥에 닿지 않도록 하며 앞다리는 자유자재로 움직일 수 있어 스스로 먹고 마실수 있었다.

이 방법은 비침투성(noninvasive)이며 잠상안성이 체중부하근육에 미치는 효과를 모방하고 있어 이방법에 의해 유발되는 변화는 뒷다리에 체중부하가 없고 뒷다리 사용이 제한되어 초래되는 결과라고 할 수 있다.

뒷다리 부유동안 12시간은 밝고 12시간은 어둡게 해주며 매일 쥐를 관찰하여 꼬리변형, 비정상적인 호흡형태, 부당한 불편감, 꼬리에 색깔변화가 있는가를 관찰하였다. 이들 증상중 한가지라도 나타내는 동물은 연구대상에서 제외시켰다.

2) 뒷다리 부유동안 운동부하

뒷다리를 부유하는 동안 2시간마다 1일 5회 1분에 5m 속도로 15°경사의 treadmill에서 9분동안 운동을 부하시켰다. 이 속도는 서서히 계속적으로 걷는 속도에 해당하며 꼬리부유장치에 의한 약 10g의무게가 부가적으로 부하되는 상태로 운동을 실시하였다.

3) 근육절제와 질량측정

각군의 동물을 pentobarbital sodium(50mg/kg i.p.)으로 마취시킨 후 양쪽 뒷다리에서 족척근과 가자미근을 절제하여 생리식염수로 rinse시켰으며 지방조직과 결합조직을 신중하게 잘라낸 후 절제된 족척근과 가자미근의 젖은 무게(wet weight)를 microbalance(Mettler PE160)에서 측정하였고 상대족척근 무게와 상대가자미근 무게는 근육절제전 체중에 대한 족척근과 가자미근의 절대무게비율로 산출했다.

4) 근원섬유 단백질(myofibrillar protein) 정량

냉동보관되었던 족척근및 가자미근을 39mM sodium borate, 25mM KCl, 1mM Phenylmethylsulfonyl fluoride, 5mM EGTA를 포함한 borate-KCl buffer (pH7.0)에서 근육을 homogenize시켰다.

Homogenate를 4℃에서 2000rpm으로 15분간 원심분리시킨후 Pellet만모아 1% Triton x-100으로 씻어서 membrane-bound protein을 제거하며 0.1M KCl, 50mM tris(pH7.0), 1.0mM DTT에 재부유시켰다.

Myofibrillar pellet를 0.1M KCl, 2mM MgCl₂, 2mM EGTA, 0.01M Tris-maleate(pH 7.0), 1.0mM DTT를 포함한 low sodium buffer에서 2회 세척한 후 pellet를 증류수에 녹였다. 위의 모든 절차는 4℃에서 수

행하였으며 Lowry의 방법(Lowry et al, 1951)을 이용하여 단백질을 정량했다.

5) Myosin-ATPase 조직화학

근섬유 형태를 구분하기 위하여 실시하였다. 실험자를 적당한 크기로 잘라 OCT compound를 바르고 그위에 절제된 근육을 올려놓은 후 액체질소로 -160°C 까지 냉각된 isopentane 용액에서 급속냉동시킨후 -70°C 냉동실에 보관하였다. 냉동보관된 죽척근과 가자미근의 중간부위를 5mm두께로 잘라내어 세로로 방향을 잡아 OCT compound를 이용하여 mold에 포매(embedding)한후 -25°C 의 Cryostat에서 $10\mu\text{m}$ 두께로 잘라 슬라이드에 mount하였다. 실온에서 30-60분동안 공기로 건조시킨후 조직화학염색을 Chayen et al(1973)의 방법을 이용하여 실시하였다.

6) Hematoxylin and Eosin 조직화학

근육 표본의 전반적인 양상과 핵의 정상분포에 변화가 있는가를 관찰하고 냉동에 의한 손상여부를 살펴기 위해 Chayen et al(1973)의 방법을 이용하여 실시하였다.

7) 근섬유의 분류 및 근섬유비율과 횡단면적 측정

Myosin ATPase로 염색된 근육표본을 광학현미경으로 보아 밝게 보이는 근섬유는 Type I, 어둡게 보이는 근섬유는 Type II로 분류했다(Burke and Edgerton, 1975).

각 근섬유의 횡단면적은 Microscopic image analyzer(Leitz, ASM 68k, Netzlar)를 이용하여 200배의 배율하에서 최소한 100개의 근섬유의 tracings으로부터 측정하였다.

각 근섬유가 나타내는 상대적 비율은 총근섬유숫자의 %로 나타내었다.

8) SDH(Succinate dehydrogenase) 활성측정

Myosin ATPase조직화학과 동일한 방법으로 조직을 준비하여 SDH조직화학 염색을 Deza et al (1980)의 방법을 이용하여 실시하였다. SDH염색표본을 광학현미경(Nikon, FX-35DX, Japan)으로 보아 밝게 보이는 근섬유는 SDH활성이 작고 청자색(blue-purple)으로 보이는 근섬유는 SDH활성이 큰 것으로 분류하였다(Deza et al, 1980). 40배의 배율하에서 적정 부위를 선택하여 사진촬영한후 사진상에서 청자색근섬유와 밝게

보이는 근섬유의 숫자를 세어 각 근섬유가 나타내는 상대적 비율을 총근섬유숫자의 %로 나타내었다.

9) 동세분석

각군의 Mean \pm S.D., Mean \pm S.E.를 계산하고 군간의 차이를 Kruskal-Wallis test에 의해 검증하였으며 두군간의 차이는 Mann-Whitney U test를 실시하여 검증하였다. 통계적 유의성은 $P < 0.05$ 수준에서 채택하였다.

III. 연구 결과

(1) 실험시작시의 체중과 근육절제직전 체중의 변화. 대조군, 뒷다리부유군, 운동군의 실험시작시의 체중과 7일후 체중의 변화는 <표 1>에서 보는바와 같다.

<Table 1> PRE AND POST WEIGHT OF CONTROL, 7-DAY HINDLIMB SUSPENDED (HS) AND 7-DAY HINDLIMB SUSPENDED PLUS EXERCISE(HS-EX) RATS

	Prewt(g)	Postwt(g)	%Change
Control (n=6)	203.83 \pm 12.44	212.33 \pm 10.24	4.17
HS (n=6)	223.50 \pm 14.16	206.07 \pm 10.00	- 7.80
HS-EX(n=6)	211.17 \pm 13.51	181.25 \pm 16.04**	-14.17

Values are M \pm S. D.

n : number of animals

*significantly different from control value ($P < 0.05$)

+significantly different between HS and HS-EX ($P < 0.05$)

실험시작시 체중은 대조군이 $203.83 \pm 12.44\text{g}$, 뒷다리부유군이 $223.50 \pm 14.16\text{g}$, 운동군이 $211.17 \pm 13.51\text{g}$ 으로 3군간에 체중의 차이가 없었으나 7일후 체중은 대조군이 $212.33 \pm 10.24\text{g}$, 뒷다리부유군이 $206.07 \pm 10.00\text{g}$, 운동군이 $181.25 \pm 16.04\text{g}$ 으로 운동군이 대조군에 비해 14.64%유의하게 작았으며($p < 0.05$), 뒷다리부유군에 비해서도 12.04% 유의하게 작았다($p < 0.05$).

실험시작시부터 7일경과 후의 체중이 대조군은 4.17%증가했으나 운동군은 14.17%, 뒷다리부유군은 7.8%감소하였다.

(2) 뒷다리부유중 간헐적인 낮은강도, 짧은기간의 운동이 뒷다리근의 젖은무게와 상대근무게에 미치는 영향.

7일간의 뒷다리부유와 뒷다리부유중 간헐적인 운동이 뒷다리근의 젖은무게와 상대근무게에 미치는 영향은 <표 2, 3>에 요약된 바와 같다.

〈Table 2〉 ABSOLUTE WET WEIGHT OF PLANTARIS AND SOLEUS MUSCLE IN CONTROL, 7-DAY HINDLIMB SUSPENDED (HS) AND 7-DAY HINDLIMB SUSPENDED PLUS EXERCISE (HS-EX) RATS

	Control	HS	HS-EX	Kruskal-Wallis test		Mann-Whitney U test					
						C	HS	C	HS	EX	HS-EX
n	6	6	6	X ²	P	U	P	U	P	U	P
Plantaris (mg)	203.33 ±8.16	163.33* ±19.66	208.50+ ±5.27	0.5292	0.0052	0.5	0.0022	15.0	0.6991	1.0	0.0043
Soleus (mg)	101.67 ±9.83	80.00* ±8.59	88.33 ±13.29	8.48	0.0144	1.0	0.0043	6.5	0.0649	10.0	0.2403

Values are M±S.D. n: number of animals

* Significantly different from control value (P<0.005)

+ Significantly different between HS and HS-EX (P<0.005)

〈Table 3〉 RELATIVE WEIGHT OF PLANTARIS AND SOLEUS MUSCLE IN CONTROL, 7-DAY HINDLIMB SUSPENDED(HS) AND 7-DAY HINDLIMB SUSPENDED PLUS EXERCISE (HS-EX) RATS

	Control	HS	HS-EX	Kruskal-Wallis test		Mann-Whitney U test					
						C-HS	C-HS-EX	C-HS-EX	HS-EX-EX	HS-EX-EX	HS-EX-EX
n	6	6	6	X ²	P	U	P	U	P	U	P
Plantaris (mg/g)	0.96 ±0.04	0.90 ±0.05	1.01+ ±0.06	6.8772	0.0321	6.0	0.0649	10.0	0.2403	4.0	0.0260
Soleus (mg/g)	0.50 ±0.04	0.39* ±0.04	0.49++ ±0.04	9.6257	0.0081	1.0	0.0043	16.0	0.8182	2.0	0.0087

Values are M±S.D. n: number of animals

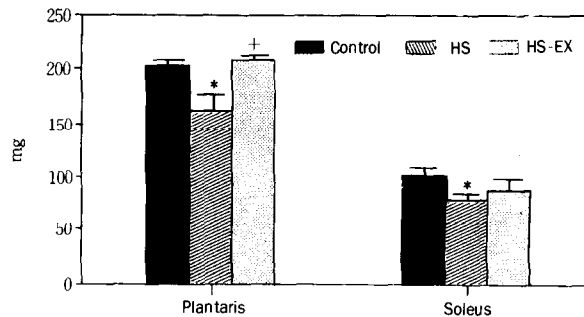
* Significantly different from control value (P<0.005)

+ Significantly different between HS and HS-EX (P<0.05)

++ Significantly different between HS and HS-EX (P<0.01)

족척근의 젖은 무게는 대조군이 203.33±8.16mg, 뒷다리부유근이 163.33±19.66mg, 운동군이 208.50±5.27mg으로 뒷다리부유근이 대조군에 비해 10.67%유의

하게 감소하였고(p<0.005) 운동군이 뒷다리부유근에 비해 27.66%유의하게 증가하였으며(p<0.005) 대조군과 차이가 없었다(그림 2)



* Significantly different from control value (P<0.005)

+ Significantly different between HS and HS-EX (P<0.005)

〈Figure 2〉 Absolute wet weight of plantaris and soleus muscle in control, 7-day hindlimb suspended(HS) and 7-day hindlimb suspended plus exercise(HS-EX) rats

상대축척근 무게는 대조군이 0.96 ± 0.04 , 뒷다리부유군이 0.90 ± 0.05 , 운동군이 1.01 ± 0.06 으로 뒷다리부유군이 대조군에 비해 6.25% 감소하였으나 통계적 유의성은 없었고 운동군이 뒷다리부유군에 비해 12.22%유의하게 증가하였으나($p < 0.05$) 대조군과 차이가 없었다(그림 3).

가자미근의 젖은 무게(wet weight)는 대조군이 $101.67 \pm 9.83\text{mg}$, 뒷다리부유군이 $80.00 \pm 8.59\text{mg}$, 운동군이 $88.33 \pm 13.29\text{mg}$ 으로 뒷다리부유군이 대조군에 비해 21.31%유의하게 감소하였고($p < 0.005$) 운동군은 뒷다리부유군에 비해 10.41% 증가하였으나 통계적 유의성은 없었고 대조군과 차이가 없었다(그림 2).

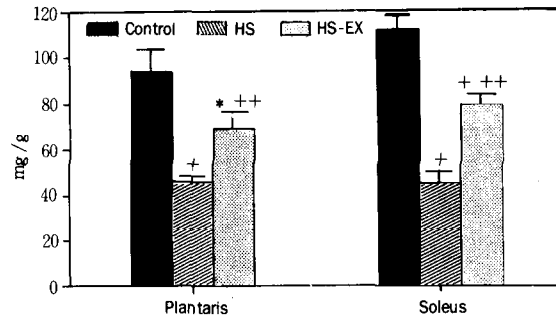
상대가자미근 무게는 대조군이 0.50 ± 0.04 , 뒷다리부

유군이 0.39 ± 0.04 , 운동군이 0.49 ± 0.04 로 뒷다리부유군이 대조군에 비해 22.0%유의하게 감소하였고($p < 0.005$) 운동군은 뒷다리부유군에 비해 25.64%유의하게 증가하였으며($p < 0.01$) 대조군과 차이가 없었다(그림 3).

(3) 뒷다리부유중 간헐적인 낮은강도 짧은기간의 운동이 뒷다리근의 근원섬유 단백질 함량에 미치는 영향.

근원섬유 단백질 함량은 근육 무게 1g당 근원섬유 단백질 함량($\text{mg/g muscle weight, mw}$)으로 나타내었다.

뒷다리부유중 간헐적인 낮은강도 짧은기간의 운동부하가 뒷다리근의 근원섬유 단백질 함량에 미치는 영향은(표 4)에 요약된 바와 같다.



* Significantly different from control value($P < .005$)

+ Significantly different between HS and HS-EX($P < .05$)

++ Significantly different between HS and HS-EX($P < .01$)

<Figure 3> Relative weight of plantaris and soleus muscle in control, 7-day hindlimb suspended(HS) and 7-day hindlimb suspended plus exercise(HS-EX) rats

<Table 4> MYOFIBRILLAR PROTEIN CONTENT OF PLANTARIS AND SOLEUS MUSCLE IN CONTROL, 7-DAY HINDLIMB SUSPENDED(HS) AND 7-DAY HINDLIMB SUSPENDED PLUS EXERCISE(HS-EX) RATS

	Control	HS	HS-EX	Kruskal-Wallis test		Mann-Whitney U test					
						C-HS		C-HS-EX		HS-HS-EX	
n	6	6	6	X ²	P	U	P	U	P	U	P
Plantaris (mg/g mw)	94.02 ±11.63	45.61** ±3.72	69.23**+ ±11.45	13.93	0.0009	0.0	0.0022	2.0	0.0087	1.0	0.0043
Soleus (mg/g mw)	112.25 ±21.43	45.29** ±7.44	79.47**+ ±4.62	15.16	0.0005	0.0	0.0022	0.0	0.0022	0.0	0.0022

Values are M ± S.D. n ; number of animals

* Significantly different from control value($P < 0.01$)

** Significantly different from control value($P < 0.005$)

+ Significantly different between HS and HS-EX($P < 0.005$)

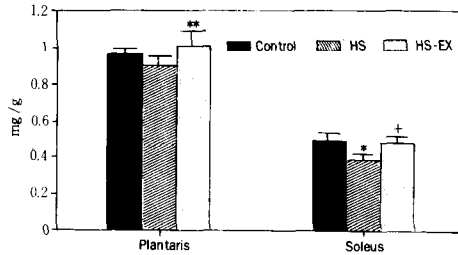
축척근의 근원섬유 단백질 함량은 대조군이 $94.02 \pm 11.63\text{mg}$, 뒷다리부유군이 $45.60 \pm 3.72\text{mg}$, 운동군

이 $69.23 \pm 11.45\text{mg}$ 으로 뒷다리부유군이 대조군에 비해 51.49% 유의하게 감소하였고($p < 0.005$) 운동군이 뒷

리 부유군에 비해 51.79%유의하게 증가하였으나($p < 0.005$), 대조군에 비해서는 26.37%유의하게 적었다($p < 0.01$).

가자미근의 근원섬유 단백질 함량은 대조군이 $112.25 \pm 21.43\text{mg}$, 뒷다리부유군이 $45.29 \pm 7.44\text{mg}$, 운동군

이 $79.47 \pm 4.62\text{mg}$ 로 뒷다리부유군이 대조군에 비해 59.65% 유의하게 감소하였고($p < 0.005$) 운동군이 뒷다리부유군에 비해 75.47%유의하게 증가하였으나($p < 0.005$), 대조군에 비해서는 29.20%유의하게 적었다($p < 0.005$) <그림 4>.



* Significantly different from control value ($P < .01$)

** Significantly different from control value ($P < .005$)

+ Significantly different between HS and HS-EX ($P < .005$)

<Figure 4> Myofibrillar protein content of plantaris and soleus muscle in control, 7-day hindlimb suspended(HS) and 7-day hindlimb suspended plus exercise(HS-EX) rats

(4) 뒷다리부유중 간헐적인 낮은 강도 짧은 기간의 운동이 뒷다리근의 Type I, II fiber의 분포 및 횡단면적에 미치는 영향.

7일간의 뒷다리부유와 뒷다리부유중 간헐적인 낮은 강도의 운동무하가 뒷다리근의 Type I, II fiber의 분포 및 횡단면적에 미치는 영향은 <표 5>에 요약된 바와 같다.

<Table 5> FIBER TYPE DISTRIBUTION AND CROSS-SECTIONAL AREA OF PLANTARIS(Pl) AND SOLEUS(Sol) MUSCLE IN CONTROL, 7-DAY HINDLIMB SUSPENDED(HS) AND 7-DAY HINDLIMB SUSPENDED PLUS EXERCISE (HS-EX) RATS

	Control		HS		HS-EX	
n	6	6	6	6	6	6
Fiber type, % of fibers	Pl	Sol	Pl	Sol	Pl	Sol
I	9.70	71.56	30.87	62.39	14.80	65.89
II	90.30	28.44	69.13	37.61	85.20	34.11
Fiber cross-sectional area by type, μm^2						
I	2557.25	3118.94	2078.63*	1838.13**	2215.89	2377.52 ⁺
	± 545.02	± 350.04	± 224.13	± 128.74	± 87.38	± 98.49
	(88)	(208)	(98)	(119)	(97)	(203)
II	2782.80	2282.09	2158.19*	1766.86*	2462.45	1868.99
	± 339.81	± 313.29	± 222.32	± 136.97	± 89.82	± 73.13
	(181)	(183)	(138)	(94)	(154)	(104)

Values of cross-sectional area are $M \pm S.E.$

n : number of animal

Number of fibers analyzed per group is indicated in parentheses.

* Significantly different from control value ($P < 0.05$)

** Significantly different from control value ($P < 0.001$)

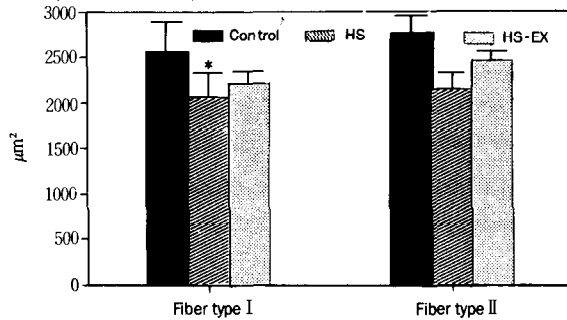
⁺ Significantly different between HS and HS-EX ($P < 0.05$)

Type I fiber와 Type II fiber의 분포비율이 족척근의 경우 대조군에서 각각 9.70%, 90.30%, 뒷다리부유근에서 30.87%, 69.13%, 운동군에서 14.80%, 85.20%이었으며 세군간에 근섬유분포에 차이가 없었다.

가자미근의 경우 Type I fiber와 Type II fiber의 분포비율이 대조군에서 각각 71.56%, 28.44%이었으며 뒷다리부유근에서 62.39%, 37.61%이었고 운동군에서 89%, 34.11%로 세군간에 근섬유분포에 차이가 없었다.

Type II 근육인 족척근과 Type I 근육인 가자미근의 근섬유 횡단면적은 족척근의 경우 Type I fiber 횡단면적은 대조군이 $2557.25 \pm 545.02 \mu\text{m}^2$, 뒷다리부유근이

$2078.63 \pm 224.63 \mu\text{m}^2$, 운동군이 $2215.89 \pm 87.38 \mu\text{m}^2$ 로 뒷다리부유근이 대조군에 비해 18.72%유의하게 감소하였고($p < 0.05$) 운동군이 뒷다리부유근에 비해 6.60% 증가했으나 통계적 유의성은 없었고 대조군과의 차이는 없었다. Type II fiber 횡단면적은 대조군이 $2782.80 \pm 339.81 \mu\text{m}^2$, 뒷다리부유근이 $2158.19 \pm 222.32 \mu\text{m}^2$, 운동군이 $2462.45 \pm 89.82 \mu\text{m}^2$ 로 뒷다리부유근이 대조군에 비해 22.45%유의하게 감소하였고($p < 0.05$) 운동군은 뒷다리부유근에 비해 14.10%증가하였으나 통계적 유의성은 없었고 대조군과 차이가 없었다<그림 5>.

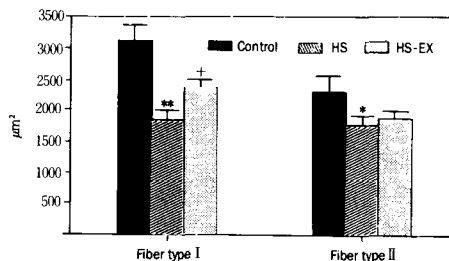


* Significantly different from control value ($P < .05$)

<Figure 5> Cross-sectional area of plantaris in control, 7-day hindlimb suspended(HS) and 7-day hindlimb suspended plus exercise(HS-EX) rats

가자미근의 경우 Type I fiber의 횡단면적은 대조군에서 $3118.94 \pm 350.04 \mu\text{m}^2$, 뒷다리부유근에서 $1838.13 \pm 128.74 \mu\text{m}^2$, 운동군에서 $2377.52 \pm 98.49 \mu\text{m}^2$ 로 뒷다리부유근이 대조군에 비해 41.07%유의하게 감소했고($p < 0.001$) 운동군은 뒷다리부유근에 비해 29.34%유의하게 증가했으며($p < 0.05$) 대조군과 차이가 없었다.

Type II fiber 횡단면적은 대조군이 $2282.09 \pm 313.29 \mu\text{m}^2$, 뒷다리부유근이 $1766.86 \pm 136.97 \mu\text{m}^2$, 운동군이 $1868.99 \pm 73.13 \mu\text{m}^2$ 로 뒷다리부유근이 대조군에 비해 22.58%유의하게 감소하였고($p < 0.05$) 운동군이 뒷다리부유근에 비해 5.78%증가했으나 통계적 유의성은 없었고 대조군과의 차이는 없었다<그림 6>.



* Significantly different from control value ($P < .05$)

** Significantly different from control value ($P < .001$)

+ Significantly different between HS and HS-EX ($P < .05$)

<Figure 6> Cross-sectional area of plantaris in control, 7-day hindlimb suspended(HS) and 7-day hindlimb suspended plus exercise(HS-EX) rats

(5) 뒷다리부유중 간헐적인 낮은강도 짧은기간의 운동이 뒷다리근의 SDH활성에 미치는 영향.

SDH활성은 SDH활성이 큰섬유와 작은섬유의 상대

적 비율로 나타내었다. 뒷다리부유중 간헐적인 낮은강도 짧은기간의 운동이 뒷다리근의 SDH활성에 미치는 영향은 <표 6>에서 보는 바와 같다.

<Table 6> SDH ACTIVITY OF PLANTARIS(PI) AND SOLEUS(Sol) MUSCLE IN CONTROL, 7-DAY HINDLIMB SUSPENDED(HS) AND 7-DAY HINDLIMB SUSPENDED PLUS EXERCISE (HS-EX) RATS (%)

	Control		HS		HS-EX	
	n		n		n	
SDH activity, % of fibers	6	6	6	6	6	6
High	PI	Sol	PI	Sol	PI	Sol
	59.7	17.2	60.4	29.7	56.3	30.2
Low	40.3	82.8	39.6	70.93	43.7	69.8

n : number of animal

족척근의 경우 SDH활성이 큰 근섬유가 대조군에서 59.7%, 뒷다리부유군에서 60.4%, 운동군에서 56.3%이었고, SDH활성이 작은 근섬유는 대조군에서 40.3%, 뒷다리부유군에서 39.6%, 운동군에서 43.7%이었다.

가자미근의 경우 SDH활성이 큰 근섬유가 대조군에서 17.2%, 뒷다리부유군에서 29.7%, 운동군에서 30.2%이었고 SDH활성이 작은 근섬유는 대조군에서 82.8%, 뒷다리부유군에서 70.93%, 운동군에서 69.8%이었다.

V. 고 찰

본 연구에서 실험시작 7일후의 체중이 대조군이 4.17% 증가하였고 뒷다리부유군은 7.8%, 운동군은 14.17% 감소하였다. 이와같이 정상활동을 하는 경우 체중이 증가하는데 비해 활동을 제한시키면 체중이 감소하였고 운동을 병행한 쥐에서는 체중의 감소가 더 컸다. 뒷다리부유군에서 체중이 감소한 것은 최등(1994)의 결과와 부합되며 활동이 자유롭지 못해서오는 식습관의 변화에 의한 것으로 생각한다. 뒷다리부유중 간헐적으로 운동했던군의 체중 감소가 뒷다리부유군에 비해 더 컸던 결과는 활동이 자유롭지 못해서오는 식습관의 변화와 운동에 의한 체지방 감소효과가 병합된것으로 생각된다.

최등(1994)의 연구에서 뒷다리부유중 주기적으로 체중을 부하했던군의 체중이 감소하였으나 뒷다리부유군에 비해 감소가 크지 않았다는 결과와 본 연구결과와는 차이가 있었다. 이는 최등(1994)의 연구에 비해 본연구에서 운동의 효과가 더 크게 나타난것으로 생각된다.

뒷다리부유에 의한 활동저하로 Type II 근육인 족척근의 젖은무게가 19.67%, 상대족척근무게는 6.25%감

소하였고, Type I 근육인 가자미근의 젖은무게가 21.31%, 상대가자미근 무게는 22.0% 감소하였다. 이러한 결과는 활동저하에 의해 가자미근 질량이 감소하였다는 Musacchia등(1981, 1983), Kasper등(1982a), Templeton등(1984), 최(1991a), 최등(1992, 1994)의 보고, 족척근 질량이 감소하였다는 Musacchia등(1981), 최등(1992, 1994)의 보고와 뒷다리부유후 상대가자미근 무게가 감소하였다는 Hauschka등(1988), Herbert등(1988), 최(1991a), 최등(1992), 상대족척근 무게가 감소하였다는 최등(1992, 1994)의 보고와 일치하고 있다.

이 결과는 7일간의 활동저하로 하지의 체중부하 근육에 위축이 유발되었음을 제시하며 Type I 근육인 가자미근에 위축발생이 더 크다는 것을 제시하고 있다. 활동저하후 Type I 근육의 위축발생이 더 큰것은 가자미근은 저근(slow-twitch muscle)으로 시시히 수축하는 산화근섬유(oxidative fiber, Type I fiber)로 구성되었으며 빠르게 수축하는 근섬유(Type II fiber)로 구성된 속근(fast-twitch muscle)에 비해 더 큰 범위로 위축이 온다(Booth and Seider, 1980; Bruce-Gregories et al, 1984; Sargeant et al, 1977; Witzman et al, 1982)는 결과와 부합된다.

뒷다리부유에 의한 활동제한에 의해 하지의 체중부하 근육의 질량이 저하된 것은 단백질합성 저하와 단백질분해의 속도가 증가되어 초래된 것으로(Appell, 1986; Henneman et al, 1965; Morey-Holton and Wronski, 1981; Goldspink, 1977) 설명될 수 있다. Booth(1977)와 Szöör등(1977)이 근육의 수분비율이 쥐에서 사지부동 등인 변화지 않는다고 보고했으므로 근육 무게가 단백질 함량의 유효한 지수(valid index)라는 것을 나타낸다.

활동저하에 의한 근육질량의 상실은 근단백의 이화작용에 의한 음성질소 균형의 발생과 연관되며(Musacchia et al, 1983) 활동수준이 변화된 후 단백질합성의 변화는 골격근의 RNA 함량변화와도 상관이 있는(Watson et al, 1984; Tucker et al, 1981) 것으로 추정될 수 있다.

본 연구결과 뒷다리부유에 의한 활동저하로 근원섬유 단백질 함량이 족척근에서 51.49%, 가자미근에서 59.65%유의하게 감소하였다.

활동저하에 의해 근원섬유 단백질농도가 저하된 본 연구의 결과는 20.5일간 무중력 상태에 노출된 쥐의 뒷다리근의 근원섬유 단백질농도가 저하되었다(GaYevskaya 등, 1979)는 보고와 일치하며 뒷다리부유 1, 2주 동안 가자미근의 절대단백 함량이 각각 30.49% 저하되었다(Steffen and Musacchia, 1984)는 보고와도 일치되고 있다.

본 실험결과 7일간의 활동저하로 자세근의 근원섬유 단백질 함량이 50%이상 상실되었으며 근원섬유 단백질 함량의 감소와 평행하게 질량이 감소되는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 활동저하에 의한 단백질합성 저하와 단백질분해속도의 증가로 근원섬유 단백질 함량이 줄어들고 질량이 감소된 것으로 볼 수 있다.

활동저하로 근원섬유 단백질함량이 줄어든 것은 뒷다리부유가 자세유지에 관여하는 근육의 slow myosin content와 slow twitch properties의 상실을 유발하며(Fell et al, 1985; Fitts et al, 1986; Templeton et al, 1984) 체중부하의 결여는 slow myosin의 expression을 억제하는(Tsika et al, 1987) 것으로 설명될 수 있다.

본 연구의 결과 뒷다리부유를 하는 동안 간헐적으로 낮은강도의 운동을 부하시키면 위축 가자미근의 질량과 상대가자미근 무게가 운동부하로 10.14%, 25.64%, 위축 족척근의 질량과 상대 족척근 무게가 27.66%, 12.22% 증가하였으며 거의 정상수준으로 회복한 것은 매일 짧은 기간의 체중지지가 뒷다리부유에 의한 slow twitch근육인 가자미근 위축을 현저하게 약화시킨 보고(Pierotti et al, 1987)와 거의 일치하고 있으며 19°경사의 treadmill에서 1분에 5m속도로 매 6시간마다 10분 동안 걸게하여 1주간의 뒷다리부유에 의해 저하된 가자미근의 크기를 증가시켰다는 Hauschka등(1988)의 결과와 일치하고, 활동저하 기간동안 주기적으로 낮은 강도의 운동을 부하하는 것이 Type I, II 근육의 위축정도를 약화시켰다는 결과(최등, 1994)와도 부합된다. 이는 운동에 의해 자세근의 운동뉴런의 동원빈도가 커짐으로

써 단백질 상실을 막아(Fell et al, 1985) 위축근의 질량을 증진시킨 것으로 설명될 수 있으며 기계적 활동(mechanical activity)이 골격근 수축성 단백질의 유지 및 재생에 중요함을(Thomason et al, 1987) 제시하고 있다.

본 연구결과 뒷다리부유중 간헐적인 낮은 강도의 운동부하로 근원섬유 단백질 함량이 족척근에서 51.79%, 가자미근에서 75.47% 활동저하시에 비해 유의하게 증가하였으나 대조군에 비해 족척근은 26.37%, 가자미근은 29.20% 유의하게 적었다. 이는 활동저하 기간동안 간헐적인 낮은 강도 짧은 기간의 운동으로 활동저하시 저하되었던 근원섬유 단백질 함량을 증가시킬 수 있음을 나타내며 근육활동 자체가 아미노산 이동을 직접 증가시키고 단백질분해를 저하시킨(Goldberg et al, 1975) 것으로 해석될 수 있다.

지속적으로 활동적인 근육은 그렇지 않은 근육에 비해 빠르게 AIB(α -aminobutyric acid)를 축적하여(Goldberg, 1977) 근원섬유 단백질 함량을 증가시킨 것으로 생각되며 활동저하시 단백질화 호르몬(catabolic hormone)에 대한 근육의 감수성이 크고 활동은 이 호르몬에 대한 감수성을 낮출 수 있으며(Goldberg and Goodman, 1969) 수축활동이 단백질분해를 억제하여(Fulks et al, 1975) 근원섬유 단백질 함량을 증가시킨 것으로 생각된다.

그러나, 활동저하기간동안 간헐적인 운동으로 Type I, II 근육의 근원섬유 단백질함량은 정상수준으로 회복되지 않았으나 질량은 정상으로 회복되었다. 이러한 결과를 놓고 볼때 뒷다리근의 질량증가에 근원섬유 단백질함량이 증가하는 것 이외의 어떤 요인이 관여했을 것으로 보며 앞으로 이러한 요인을 밝히는 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

본 실험의 결과 1일 5회, 1회 9분간 간헐적인 낮은 강도의 운동으로 위축 뒷다리근의 근원섬유 단백질 함량을 증가시킨 것은 1일 2-4시간의 체중지지 활동과 1분에 20m속도로 1일 1.5시간 30%경사의 오르막을 달리는 활동이 4주간의 뒷다리부유등인 초대된 근원섬유 단백질과 상대적, 절대적 slow myosin isoform content 등의 감소를 저하시켰다는 보고(Thomason et al, 1987)와 활동저하기간, 운동강도, 시간은 다르지만 운동에 의해 활동저하에 의해 감소되었던 근원섬유 단백질, slow myosin isoform content 등을 증가시켰다(Thomason)는 점에서 부합되고 있다.

운동으로 위축 뒷다리근의 근원섬유 단백질 함량이

증가된 결과는 뒷다리부유동안 꼬리에 추를 달아 grid를 오르게하는 활동이 근조직 1g당 정상탄백 농도와 장력을 유지시키고(Herbert et al, 1988) 비활동적인 가자미근을 신전(stretch)시킨 결과 RNA함량과 단백질 합성속도가 증가하였다는 보고(Loughna et al, 1986)와 일치되는 경향을 나타내며 기계적 활동(mechanical activity)이 골격근 수축성 단백질의 유지 및 재생에 중요함을(Thomason et al, 1987) 제시하고 있다.

본 연구결과 뒷다리부유후 족척근과 가자미근에서 Type I, II fiber의 분포가 대조군과 차이가 없었다. 이러한 결과는 부동뒷다리 근육에서 Type I fiber로 염색되는 근섬유비율이 유의하게 저하되었으며 가자미근에서 선택적으로 Type I fiber에 위축이 초래되었다는 보고(Templeton et al, 1984)와는 차이를 보이고 있다. 활동저하후 28일째 근섬유 숫자가 대조치의 88%이었고 Type II fiber의 분포비율이 증가했으며(Kasper et al, 1982a) 28일간의 뒷다리부유로 Type I fiber의 분포비율이 11%저하되었다(Kasper et al, 1990)는 보고와도 일치되지 않는다. 이러한 차이는 본연구의 뒷다리부유기간이 7일로 선행연구의 뒷다리부유기간에 비해 짧았기때문에 초래된 것으로 생각된다.

뒷다리를 부유하는동안 주기적으로 운동을 부하하여도 족척근과 가자미근에서 Type I, II fiber의 분포가 뒷다리부유군과 차이가 없었고 대조군과 차이가 없었던 본연구의 결과는 5주간의 뒷다리부유후 1분에 30m 속도로 1일 180분 1주에 5일간 7주에 걸쳐 훈련시킨결과 가자미근의 Type I fiber의 분포가 100%증가되었다(Desplanches et al, 1987)는 보고와 차이가 있으며 활동저하후 회복기에 운동을 시킨결과 Type I fiber의 비율이 회복기 28일째 대조치 이상으로 증가하였다(Kasper et al, 1982b)는 보고와도 부합되지 않는다. 이러한 차이는 본연구에서는 뒷다리부유동안 낮은강도의 운동을 1일 45분간 실시하였고 Kasper등의 연구에서는 뒷다리부유후 4주에 걸쳐 점진적으로 운동강도를 증가시켜 훈련을 시켰으며 Desplanches등의 연구에서는 7주에 걸쳐 1일 180분씩 훈련을 시켰으므로 본연구에 비해 운동강도가 크고 운동기간이 길었기 때문에 초래된 것으로 생각된다. 운동강도를 점차 증가시켜 운동한결과 Type I 섬유의 비율이 증가하였다(Holloszy and Booth, 1976)는 사실을 바탕으로 본연구에서 Type I fiber의 비율이 변화되지 않은것은 운동강도가 낮은것에 기인된것으로 추정된다.

뒷다리부유에 의해 가자미근의 Type I, II fiber의 단

면적이 유의하게 저하되었다는 본연구의 결과는 쥐의 뒷다리를 부하시켜 근육에 가해지는 부하를 1-5주간 저하시킨후 족저굴근(plantar flexor muscle)의 근섬유 횡단면적이 유의하게 저하되었다(Desplanches et al, 1987 ; Musacchia et al, 1980 ; Templeton et al, 1988 ; Winiarski et al, 1987)는 보고와 일치하며 활동저하기간이 경과함에 따라 활동저하후 28일에 가자미근의 근섬유횡단면적이 저하되었다는 보고(Kasper et al, 1990)와 일치하였다. 활동저하후 근섬유횡단면적을 연구한 대다수의 연구가 가자미근의 근섬유의 변화를 관찰하였으므로 Type II 근육에서의 변화를 비교하기 어려우나 Graham등(1989)의 연구에서 뒷다리부유후 내측비복근의 Type I, II fiber의 횡단면적이 유의하게 줄었다는 보고와 최등(1994)의 연구에서 족척근의 Type I, II fiber의 횡단면적이 유의하게 줄었다는 보고 및 본 연구결과를 통해 활동저하에 의해 Type II 근육의 근섬유 횡단면적도 저하됨을 입증하고있다. 본 연구결과 가자미근에서 Type I fiber의 횡단면적이 대조군의 58.93%, Type II fiber의 횡단면적이 77.42%로 Type I fiber가 더 큰 영향을 받았음을 나타내고 있다. 이는 가자미근에서 Type I fiber가 Type II fiber에 비해 뒷다리부유에 더 민감하다(Graham et al, 1989 ; Hauschka et al, 1988)는 결과에 의해 뒷받침된다. 족척근에서도 Type I fiber의 횡단면적이 대조군의 81.38%, Type II fiber의 횡단면적이 77.55%로 Type I fiber가 더 큰 영향을 받았음을 제시하고 있다.

본 연구에서 뒷다리를 부유하는동안 간헐적인 낮은강도 짧은시간의 운동이 가자미근과 족척근에서 Type I, II fiber의 횡단면적을 뒷다리부유시에 비해 증가시켰으며 거의 정상수준으로 회복시킨것은 19°경사의 treadmill에서 1분에 5m속도로 매 6시간마다 10분동안 걸게하여 1주간의 뒷다리부유에 의해 저하된 가자미근의 근섬유크기를 증가시켰다(Hauschka et al, 1988)는 결과와 부합되며 15°경사의 treadmill에서 1분에 5m속도로 매 6시간마다 15분동안 주기적으로 체중을 부하시켜 위축 가자미근과 족척근의 근섬유크기를 증가시켰다는 결과(최등, 1994)와 일치한다.

본 연구의 결과 근섬유 분포에는 차이가 없었고 근섬유의 횡단면적이 증가한 것은 근섬유의 크기가 증가된 것으로 해석될수 있다. Graham등(1989)은 뒷다리부유동안 주기적으로 체중을 부하시켜 내측비복근의 Type II fiber의 횡단면적을 거의 정상수준으로 회복시켰음을 보고하였으며 뒷다리를 부유하는 동안의 주기적인

체중지지가 가자미근의 Type I fiber에 비해 Type II fiber에 더 큰 영향을 주었다는 결과(Hauschka et al, 1988)와 본 연구의 간헐적인 낮은강도 짧은기간의 운동이 뒷다리부유에 의해 저하된 가자미근과 족척근의 Type I, II fiber의 횡단면적을 정상수준으로 회복시켰다는 결과를 통해 낮은강도의 운동을 간헐적으로 실시함으로써 Type I, II 근육의 Type I fiber는 물론 Type II fiber의 횡단면적을 회복시킬수 있음을 입증하고 있다.

본 연구결과, 뒷다리를 부유하는동안 간헐적인 낮은강도 짧은 기간의 운동이 족척근의 SDH활성에 변화를 초래하지 않았으나 가자미근의 경우 활동저하시와 활동저하기간동안 운동시에 SDH활성이 적은 섬유비율이 줄고 SDH활성이 큰 섬유 비율이 커진 경향을 나타냈다.

이러한 결과는 뒷다리부유동안 낮은강도의 운동을 주기적으로 부하시켜 내측비복근의 SDH활성을 활동저하시에 비해 정상치에 더 가깝게 변화시켰다(Graham et al, 1989)는 결과와는 부합되지 않고 있다.

Hearn과 Wainio(1956)가 1일 30분간 수영시킨후 골격근의 SDH활성증가를 관찰할 수 없었고 이러한 결과를 운동자극이 강하지 못했기때문으로 해석하고 있으며 최등(1992)은 정상활동후 훈련군과 뒷다리부유후 훈련군의 SDH활성이 대조군과 차이가 없었다는 결과를 운동자극이 미약하여 초래된 것으로 설명하고 있다. 이러한 선행연구의 토의를 토대로 본연구의 결과도 운동자극이 크지 않았음에 기인된 것으로 볼수 있으며 SDH활성의 변화를 가져오기 위해서는 운동기간이 충분히 길어야 할 것으로 생각된다.

이러한 실험결과만으로는 활동저하기간동안의 간헐적인 운동이 SDH활성에 미치는 영향을 입증하기 어렵다고 생각된다.

VI. 결 론

주기적인 체중지지가 뒷다리부유에 의한 적응을 개선하는데 강력한 영향을 주었고 이러한 형태의 운동이 신경·근요구량에 의해 동원(recruit)되지 않으리라고 기대했던 근육에도 강력한 영향을 주었다는 Graham등(1989), 최등(1994)의 연구결과는 낮은 강도의 운동이 흥분역치가 높은 운동뉴론에 의해 지배되는 근섬유에 영향을 미칠수 있다는 가능성을 제시하고 있다. 최등(1994)의 연구에서 활동저하 기간중 1일 3회, 1회 운동시간을 15분으로 하여 운동을 부하시킨 결과 Type II

근육의 위축이 약화되었음을 증명하였으나 입원환자의 경우 1회 운동을 15분간 지속하기 어렵기때문에, 1회 운동시간을 짧게 더 잦은 간격으로 운동을 수행하는 것도 흥분역치가 높은 운동뉴론에 의해 지배되는 Type II 근육에 영향을 미치는가를 규명해볼 필요성이 증대되어 활동저하기간동안 낮은강도 짧은기간의 운동을 간헐적으로 부하시켜 뒷다리부유군의 Type II 근육의 질량, 상대근무게, 근원섬유 단백질 함량, Type I, II fiber의 비율및 횡단면적, SDH활성을 증가시킬수 있으리라는 가정하에 실험을 시행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 7일간의 뒷다리부유에 의한 활동저하로 Type II 근육인 족척근과 Type I근육인 가자미근의 질량과 상대근 무게, 근원섬유 단백질 함량, Type I, II fiber의 횡단면적이 유의하게 감소하였다.
2. 뒷다리부유중 간헐적으로 낮은강도 짧은기간의 운동을 부하하는 것이 위축족척근과 위축가자미근의 질량및 상대근 무게를 증가시켜 정상수준으로 회복시켰다.
3. 뒷다리부유중 간헐적으로 낮은강도 짧은기간의 운동을 부하하는 것이 위축족척근과 위축가자미근의 근원섬유 단백질 함량을 유의하게 증가시켰으나 정상수준으로 회복시키지 못했다.
4. 뒷다리부유중 간헐적으로 낮은강도 짧은기간의 운동을 부하하는 것이 족척근과 가자미근의 Type I, II fiber의 분포비율에 변화를 초래하지 않았다.
5. 뒷다리부유중 간헐적으로 낮은강도 짧은기간의 운동을 부하하는 것이 위축족척근과 위축가자미근의 Type I, II fiber의 횡단면적을 증가시켰으며 거의 정상수준으로 회복시켰다.
6. 뒷다리부유중 간헐적으로 낮은강도 짧은기간의 운동을 부하하는 것이 위축족척근과 위축가자미근의 SDH활성에 변화를 초래하지 않았다.

이상의 결과를 토대로 활동저하기간동안 간헐적으로 낮은강도 짧은기간의 운동을 부하하는 것이 위축가자미근은 물론 위축족척근의 질량, 상대근무게, 근원섬유 단백질 함량, Type I, II fiber의 횡단면적을 증가시킬수 있을 것으로 사료되었다.

간호학적 적용

침상안정예의한 활동저하로 골격근위축이 발생될수 있고 이러한 근위축은 적절한 간호로 예방될수 있으나

일단 근위축이 발생하면 치료에 요하는 시간이 길어지며 퇴원후 기능적 능력에 장애가 초래되고 정상 일상생활 동작수행능력이 저하된다.

신체활동의 증진과 자기간호활동(self-care activities)을 유지시키는것이 간호의 주요한 역할이라는 관점에서 침상안정시 초래되는 하지근 위축이 낮은 강도의 운동으로 경감될 수 있음을 알고 이해함으로써 침상안정 환자간호시 운동을 계획하고 중재할 수 있으리라고 생각한다.

본 연구결과를 통해 활동저하에 의한 Type II 근육의 위축이 간헐적인 낮은강도, 짧은기간의 운동으로 감소될 수 있다는점을 간호학적으로 침상안정중인 성인 환자에게 적용할 수 있을것으로 본다.

이러한 동물실험결과를 근거로하여 활동이 저하된 성인환자에게 낮은 강도의 운동을, 짧은 기간 간헐적으로 실시하게 하는것이 하지근 위축을 감소시키는지에 대한 임상실험 연구가 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- 최명애(1991a). 운동이 위축가자미근의 질량과 상대가자미근 무게에 미치는 영향, 간호학회지, 21(3) : 281-294.
- 최명애(1991b). 입원환자에 있어 사지의 피부두껍두께, 둘레 및 근력의 변화에 관한 연구, 간호학논문집, 5(1) : 23-34.
- 최명애, 박상철, 고창순(1992). 지구력 훈련이 위축골격근과 그 산화능력에 미치는 영향, 대한스포츠의학회지, 10(2) : 151-162.
- 최명애, 박상철, 고창순(1994). 주기적인 낮은강도의 운동부하가 뒷다리부유쥐의 Type I, II 근육에 미치는 영향, 대한스포츠의학회지, 12(1) : 182-196.
- Alford, F. K., Roy, R. R., Hodgson, J. A. and Edgerton, V. R.,(1987). Electromyography of rat soleus, medial gastrocnemius, and tibialis during hindlimb suspension. Experimental Neurology, 96 : 635-649.
- Appell, H. J.,(1986). Skeletal muscle atrophy during immobilization, International Journal of Sports Medicine, 7 : 1-5.
- Balaya, N. A, Amirov, R. Z, Shaposhnikova, Ye. A, Lebedeva, I. P., and Solo-gub, S. InSandler, H. and Vernikos, J.(1986). Inactivity : physiological effects, Orlando, Academic Press, Inc., p.87.
- Baldwin, K. M. Roy, R. R. Sacks, R. D., Blanco, C. and Edgerton, V. R.,(1984). Relative independence of metabolic and neuromuscular activity. Journal of Applied Physiology, 56 : 1602-1607.
- Booth, F. W.,(1977). Time course of muscular atrophy during immobilization of hindlimb in rats, Journal of Applied Physiology, 43(4) : 656-661.
- Booth, F. W. and Seider, M. J.(1980). Effects of disuse by limb immobilization on different muscle fiber types, Plasticity of Muscle.
- Bruce-Gregories, J. and Chow, S. M.(1984). Core myofibers and related alterations induced in rats soleus muscle by immobilization in shortened position. Journal of Neurological Science, 63 : 267-275.
- Burke, R.E. and Edgerton, V.R.(1975). Motor unit properties and selective involvement in movement, Exercise and Sports Science Reviews, New York, Academic Press, 1975.
- Chayen, J., L. Bitensky, R.G. Butcher, and L.W. Poulter(1973). Practical histochemistry, London : Wiley, 24-45. 177-187.
- Desplanches, D., Mayet, M. H., Sempore, B., Frutoso, J. and Flandrois, R.(1987). Effect of Spontaneous recovery or retraining after hindlimb suspension on aerobic capacity, Journal of Applied Physiology, 63 : 1739-1743.
- Dezna C, Sheehan, H.T., Barbara, B., Hrapchak, M.SC.,(1980). Theory and practice of histotechnology, St. Louis, The C.V. mosby com.
- Fell, R. D., Steffen, J. M. and Musacchia, X. J. (1985). Effect of hypokinesia hypodynamia on rat muscle oxidative capacity and glucose uptake. American Journal of Physiology, 249(Regulatory Integrative Comp. Physiol. 18) : R308-R312.
- Finol, H., Lewis, D. M. and Owens, R.(1981). The effects of denervation on contractile properties of rat skeletal muscle, Journal of Physiology, 319 : 82-92.

- Fitts, R. H., Metzger, J. M., Riley, D. A. and Unsworth, B. R. (1986). Models of disuse: a comparison of hindlimb suspension and immobilization, Journal of Applied Physiology, 60 : 1946–1953.
- Fulks, R. M. J. B. L and A. L. Goldberg. (1975). Effects of insulin, glucose and amino-acids on protein turnover in rat diaphragm, Journal of Biological Chemistry, 250, 290–298.
- Gayevskaya, M. S., N. A. Veresotskaya, N. S. Kolganova, Y. V. Kolchina, L. M. Kurkina, and Y. A. (1979). Nosova. Changes in metabolism of soleus muscle tissues in rats following flight aboard the Cosmos-690 biosatellite, Space Biology Aerospace medicine, 13 : 16–19.
- Goldberg, A. L., S. M. Martel and M. J. Kushmerick. (1975). In vitro preparation of the diaphragm and other skeletal muscles, Method enzymology : hormones and cyclic nucleotides, Eds. B. W. O. Malley and J. G. Hardman, Academic, New York.
- Goldberg, A. L. and H. M. Goodman. (1989). Amino acid transport during work-induced growth of skeletal muscle, American Journal of Physiology, 216, 1111–1115.
- Goldberg, A. L. and H. M. Goodman. (1977). Amino acid transport during work-induced growth of skeletal muscle, American Journal of Physiology, 264 : 267–282.
- Goldspink, D. F., Morton, A. J., Loughna, P. and Goldspink, G. (1977). The effect of hypokinesia and hypodynamia on protein turnover and the growth of four skeletal muscle, American Journal of Physiology, 264 : 267–282.
- Goldspink, D. F., Morton, A. J., P. Loughna, and G. Goldspink. (1986). The Effect of Hypokinesia and Hypodynamia on protein turnover and The Growth of four Skeletal muscles of the rat, Pfluegers Archives, 407 : 333–340.
- Graham, S. C., Roy, R. R., Hauschka, E. O. and Edgerton, V. R. (1989). Effects of periodic weight support on medial gastrocnemius fibers of suspended rat, Journal of Applied Physiology, 67(3) : 945–953.
- Hauschka, E. O., Roy, R. R. and Edgerton, V. R. (1987). Size and metabolic properties of single fibers in rat soleus after hindlimb suspension, Journal of Applied Physiology, 62 : 2338–2347.
- Hauschka, E. O., Roy, R. R. and Edgerton, V. R. (1988). Periodic weight support effects on rat soleus fibers after hindlimb suspension, Journal of Applied Physiology, 65(3) : 1231–1237.
- Hearn, G. R. and Wainio, W. W. (1956). Succinic Dehydrogenase of the heart and skeletal muscle of exercised rats, American Journal of Physiology, 185 : 438–350.
- Herbert, ME., Roy, R. R., Hodgson, J. A. and Edgerton, V. R. (1988). Influence of one week hindlimb suspension and intermittent high load exercise on rat muscles, Experimental Neurology, 102 : 190–198.
- Henneman, E., Somjen, C. G. and Carpenter, D. O. (1965). Functional significance of cell size in spinal motor neurons, Journal of Neurophysiology, 28 : 599–620.
- Holloszy, J. O. and Booth, F. W. (1976). Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle, Physiological Review, 38 : 273–291.
- Hung, J., Goldwater, D., Convertino, J. A., McKillop, J. H., Goris, ML. and DeBusk, R. F. (1982). Mechanisms for decreased exercise capacity after bed rest in normal middle-aged men, American Journal cardiology, 51(January 15) : 344–348.
- Jokl, P. and S. Konstadt (1983). Effect of hindlimb immobilization on muscle function and protein composition, Clinical Orthopedics, 174, 222–228.
- Kasper, C. E., White, T. P. and Maxwell, L. C. (1982a). Adaptation of rat skeletal muscle to hypokinesia, The Physiologist, 25(4) : 260.
- Kasper, C. E., White, T. P. and Maxwell, L. C. (1982b). Influence of exercise on the recovery of skeletal muscle from hypokinesia, Federation Proceedings, 42(4) : 994.

- Kasper, C. E., White, T. P. and Maxwell, L. C. (1990). Running during recovery from hindlimb suspension induces muscular injury, Journal of Applied Physiology, 68(2) : 533-539.
- Loughna, P., Goldspink, G. and Goldspink, D. F. (1986). Effect of inactivity and passive stretch on protein turnover in phasic and postural rat muscle, Journal of Applied Physiology, 61 : 173-179.
- Lowry, O.H., N.J. Rosebrough, A.J. Farr and A.J. Rand, Protein measurement with Folin phenol reagent (1951). J. Bio. Chem., 193 : 265-275.
- Maier, A., J. L. Crockett, D. R. Simpson, C. W. Saubert and V. R. Edgerton (1976). Properties of immobilized guinea pig hindlimb muscles, American Journal of Physiology, 231, 1520-1526.
- Morey-Holton, E. and Wronski, T. J. (1981). Animal models for simulating weightlessness, The Physiologist, 24(Suppl. 6), 45.
- Musacchia, X. J., Deavers, D. R., Meininger, G. A. and Davis, T. P. (1980). A model for hypokinesia: Effects on muscle atrophy in the rat, Journal of Applied Physiology, 48 : 479-486.
- Musacchia, X. J., Steffen, J. M. and Deavers, D. R. (1981). Suspension restraint induced hypokinesia and antiorthostasis as a stimulation of weightlessness, The Physiologist, 246 (Suppl.).
- Musacchia, X. J., Steffen, J. M. and Deavers, D. R. (1983). Rat hindlimb muscle responses to suspension hypokinesia/hypodynamia, Aviation, Space Environmental Medicine, 54 : 1015-1020.
- Pierotti, D. J., Roy, R. R., Flores, V. and Edgerton, V. R. (1987). Influence of one week hindlimb suspension and intermittent low load exercise on rat muscles (Abstract). The Physiologist, 30 : 170.
- Rifenberck, D. H. and Max, S. R. (1974). Substrate utilization by disused rat skeletal muscle. American Journal of Physiology, 226 : 295-297.
- Riley, D. A., Ellis, S., Slocum, G. R., Satanayana, T., Bain, J. L. W. and Sedlak, F. R. (1985). Hypogravity-induced atrophy of rat soleus and extensor digitorum longus muscles, Muscle and Nerve, 10 : 560-568.
- Robert, D. and Smith, D. J. (1989). Biochemical aspects of peripheral muscle fatigue: A review, Sports Medicine, 7 : 125-138.
- Roy, R. R., Sacks, R. D., Baldwin, K. M., Short, M. and Edgerton, V. R. (1984). Interrelationships of contraction time, Vmax, and myosin ATPase after spinal transection, Journal of Applied Physiology, 56 : 1594-1601.
- Sargeant, A. J., Davies, C. T. M., Edwards, R. H. T., Maunder, C., Young, A. (1977). Functional and structural changes after disuse of human muscle, Clinical Science Molecular Medicine, 52 : 337-342.
- Steffen, J. and Musacchia, X. J. (1984). Effect of hypokinesia on protein, RNA and DNA in rat hindlimb muscles, American Journal of Physiology, 247 : R728-R732.
- Szoor, A., Boross, A., Hollosi, G., Szilagyi, T., and Kesztyus, L. (1977). Experimental investigations on hypokinesia of skeletal muscle with different functions. I. Changes in muscle weight, protein, and contractile properties. Acta Biologica Academiae Scientiarum Hungaricae, 28(2) : 195-204.
- Templeton, G. H., Padalino, M., Manton, J., Glasberg, M., Silver, C. J., Silver, P., De Mantino, G., Leconey, T., Klug, G., Hagler, H. and Sutks, J. L. (1984). Influence of suspension hypokinesia on rat soleus muscle, Journal of Applied Physiology, 56(2) : 278-286.
- Thomason, D. B., Herrick, R. E., and Baldwin, K. M. (1987). Activity influences on soleus muscle myosin during rodent hindlimb suspension, Journal of Applied Physiology, 63 : 138-144.
- Tsika, R. W., Herrick, R. E., and Baldwin, K. M. (1987). Interaction of compensatory overload and hindlimb suspension on myosin isoform expression, Journal of Applied Physiology, 62(6) :

2180-2186.

- Tucker, K. R., Seider, M. J. and Booth, F. W. (1981). Protein synthesis rates in atrophied gastrocnemius muscles after limb immobilization, *Journal of Applied Physiology*, 51(1) : 73-77.
- Watson, P. A., Stein, J. P. and Booth, F. W. (1984). Changes in actin synthesis and actin m-RNA content in rat muscle during immobilization, *American Journal of Physiology*, 247:C39-C44.
- Winiarski, A. M., Roy, R. R., Alford, E. K., Chiang, P. C. and Edgerton, V. R. (1987). Mechanical properties of rat skeletal muscle after hindlimb suspension, *Experimental Neurology*, 96: 650-660.
- Witzmann, F. A., Kim, D. H. and Fitts, R. H. (1982). Hindlimb immobilization: length tension and contractile properties of skeletal muscle, *Journal of Applied Physiology*, 53: 335-345.

- Abstract -

Effect of intermittent low-intensity, short duration exercise on Type II muscle of suspended rats

Choe, Myoung Ae* · Ji, Jae Keun**
Kim, Eun Hee***

The purpose of this study was to determine the effect of intermittent low-intensity, short duration exercise during hindlimb suspension on the mass, relative weight, myofibrillar protein content, cross-sectional area of Type I and Type II fibers and SDH activity in Type II (plantaris) muscle.

To examine the effectiveness of intermittent low-intensity, short duration exercise on mass,

myofibrillar protein content and fiber size, the hindlimbs of adult female Wistar rats were suspended (HS) and half of these rats walked on a treadmill for 45 min/day (9 min every 2h) at 5m/min and a 15° grade (HS-EX).

Plantaris wet weight was 19.67% significantly smaller ($p < 0.005$) and relative plantaris weight was 6.25% smaller compared with those of control rats following seven days of hindlimb suspension. Plantaris wet weight and relative plantaris weight increased by 27.66%, 12.22% each through intermittent exercise during hindlimb suspension ($p < 0.005$, $p < 0.05$), moreover, plantaris wet weight and relative plantaris weight of the HS-EX rats were similar to those of control rats. Soleus wet weight and relative soleus weight decreased significantly by 31% and 22.0% in the HS rats ($p < 0.05$). Soleus wet weight and relative soleus weight increased by 10.41%, 25.64% respectively through intermittent exercise during hindlimb suspension, furthermore, soleus wet weight and relative weight of the HS-EX rats were closer to those of control rats.

Myofibrillar protein content of plantaris and soleus decreased significantly by 51.49%, 59.65% each, following seven days of hindlimb suspension ($p < 0.005$). Myofibrillar protein content of plantaris and soleus increased by 51.79%, 75.47% each with significance through intermittent exercise during hindlimb suspension ($p < 0.005$). Myofibrillar protein content of plantaris and soleus in HS-EX rats was smaller than that of control rats.

No change was observed in fiber type percentage following 1 week of hindlimb suspension or exercise during hindlimb suspension.

The type I fiber cross-sectional area of both soleus and plantaris muscle was 18.72% and 41.07% lower in the HS than that of the controls ($p < 0.05$,

* College of Nursing, Seoul National University

** Dept. of Pathology, College of Medicine, Seoul National University

*** Korea Sport Science Institute

$p<0.001$), that of both muscles was 6.60% and 29.34% greater in the HS-EX than that of the HS rats.

HS plus intermittent low-intensity short duration exercise resulted in Type I fiber cross-sectional area closer to the controls.

Type II fiber cross-sectional area of both plantaris and soleus muscle was 22.45% and 22.58% smaller in the HS than in the controls, that of both muscles in the HS-EX was 14.10%, 5.78% greater

than HS.

Intermittent exercise during hindlimb suspension resulted in Type I, II fiber cross-sectional area closer to the control value.

There was no change in SDH activity following 1week of hindlimb suspension or exercise during hindlimb suspension in the plantaris muscle.

The results suggest that intermittent low intensity short duration exercise can ameliorate Type II muscular atrophy induced by hindlimb suspension.