

# 저강도 격일 운동과 매일 운동이 쥐 뒷다리근에 미치는 근 비대 효과 비교

최명애<sup>1</sup> · 고종진<sup>2</sup> · 곽현경<sup>3</sup> · 백지현<sup>4</sup> · 정진영<sup>3</sup> · 송연정<sup>4</sup> · 안경주<sup>6</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 간호대학 교수, <sup>2</sup>국군함평병원 간호사, <sup>3</sup>서울대병원 간호사, <sup>4</sup>서울아산병원 간호사, <sup>5</sup>서울대학교 간호대학 학부생, <sup>6</sup>청주대학교 간호학과 조교수

## Comparison of Hypertrophic Effects of Low-Intensity Exercise on Rat Hindlimb Muscles between Every Other Day Exercise and Everyday Exercise

Myoung Ae Choe<sup>1</sup>, Jong Jin Go<sup>2</sup>, Hyun Kyung Kwak<sup>3</sup>, Jihyun Baek<sup>4</sup>, Jin Yung Jung<sup>3</sup>, Yeon Jeong Song<sup>5</sup>, Gyeong-Ju An<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Professor, College of Nursing, Seoul National University, Seoul; <sup>2</sup>Nurse, The Armed Forces Hampyeong Hospital, Hampyeong; <sup>3</sup>Nurse, Seoul National University Hospital, Seoul; <sup>4</sup>Nurse, Asan Medical Center, Seoul; <sup>5</sup>Undergraduate Student, Seoul National University, Seoul; <sup>6</sup>Assistant Professor, Department of Nursing, Cheongju University, Cheongju, Korea

**Purpose:** The purpose of this study was to compare the hypertrophic effects of low-intensity exercise on weight, myofibrillar protein content and Type I, II fiber cross-sectional area of hindlimb muscles of rats between every other day exercise and every day exercise.

**Methods:** Adult male Sprague-Dawley rats were assigned to 1 of 3 groups: control group (C, n = 6), experimental group 1 (E1, n = 7) and experimental group 2 (E2, n = 7). Rats in E1 group had 7 sessions (every other day) and those in E2 group had 14 sessions (every day) of exercise in which they ran on a treadmill for 30 min/day at 10 m/min. **Results:** Muscle weight, cross-sectional area of type I fiber and myofibrillar protein content of soleus and myofibrillar protein content of plantaris in E1 group, and myofibrillar protein content of soleus and cross-sectional area of type I fiber of plantaris in E2 group were greater than those in C group. Cross-sectional area of type I fiber of soleus of E1 group was higher than E2 group while cross-sectional area of type I fiber of plantaris of E2 group was higher than E1 group. **Conclusion:** Hypertrophy of hindlimb muscles occurs from every other day exercise similar to every day exercise.

**Key Words:** Exercise; Muscular weight; Muscle fiber cross-sectional area; Myofibrillar protein

국문주요어: 운동, 근무게, 근섬유 횡단면적, 근원섬유 단백질

## 서론

### 1. 연구의 필요성

장기간의 부동에 의해 전신적으로 최대 산소소모량, 심박출량, 정맥환류, 심근수축력 및 혈액용적이 감소하며 국소적으로 근위축이 초래된다. 부동에 의한 근위축으로 근력이 매일 약 5%씩 저하되고 근용적 및 근지구력의 감소가 동반된다(Kasper, 2003). 또한 활동저하 상태가 되면 근육의 단백질 합성 속도가 감소하기 시작하여 근

위축이 발생하며 처음 1주일 동안 가장 급격히 나타나고 1-2개월 경과하면 근육 크기가 반으로 줄어들게 된다. 이러한 근위축은 주로 Type I 근섬유로 구성된 하지의 항중력근에 나타난다(Choe, 1998). 특히 불용성 근위축 과정에서 근섬유 횡단면적과 Type I 근섬유 비율이 모두 감소하므로 Type I 근섬유에 많이 함유된 미토콘드리아 효소의 농도와 활성을 저하시켜 근육의 산화능력을 감소시킨다(Jakobsson, Borg, Edstrom, & Grimby, 1988).

병원에 입원한 환자의 경우 활동저하는 불가피하며, 그에 따른 근위축의 발생 위험성이 크다고 할 수 있다. 또한 이러한 근위축은 지역사회에서도 질병이나 통증, 피로, 호흡곤란 같은 증상이나 노화에 의해 활동이 저하되는 경우에도 발생할 가능성이 높다(Choe, 1995).

Corresponding author:

Gyeong Ju An, Assistant Professor, Department of Nursing, Cheongju University, 586 Daeseong-ro, Sangdang-gu, Cheongju 360-764, Korea  
Tel: +82-43-229-8992 Fax: +82-43-229-7988 E-mail: antheresa@cju.ac.kr

투고일: 2011년 2월 19일 심사완료일: 2011년 2월 21일 게재확정일: 2011년 3월 20일

이러한 불용성 근위축을 막기 위해 가장 많이 이용하는 간호중재는 운동요법이며, 수술 후 환자, 장기 입원환자뿐 아니라 활동이 저하된 지역사회 노인들에게 적극적으로 권장되고 있는 간호중재이다(Kasper, 2003). 운동 중재 결과로 근육 단백질 합성은 증가되고 단백질 분해가 감소됨으로써 근비대(hypertrophy)가 나타난다(Isfort et al., 2002). 근비대란 근육 세포의 크기가 증대되어 근육 질량이 증가되는 것을 말하며, 일반적으로 근원섬유 단백질 함량이 증가되고 Type I, II 근세포 횡단면적이 커지며 근육 무게도 증가된다(Carpenter & Karpati, 2001). 수축성 단백질인 액틴(actin)과 미오신(myosin) 증가와 근육 1 cm<sup>3</sup> 횡단면적이 최대 3-4 kg의 부하를 수축시킬 수 있으므로 근섬유 횡단면적 증가로 근력도 근비대와 함께 증가한다(Prior, Yang, & Terjung, 2004). 위에 적용된 운동중재는 매일 운동을 부하하여 뒷다리근의 근육무게와 단백질 함량을 증가시켰다는 연구결과들을 보고한 바 있다(Choe, 1995; Choe, 1998; Choe, 2002)

그러나 입원환자나 노인들은 정상 성인에 비해 강도가 높은 운동을 수행하기 어려우므로 근위축을 예방하기 위하여 이들에게 적용되는 운동중재는 강도가 낮은 저강도의 운동이어야 한다(Alley & Thompson, 1997). 또한 저강도의 운동이라 하더라도 간호사는 환자에게 운동을 매일 하도록 권해야 할지, 격일로 하도록 권유해야 할지를 선택하여야 한다. 일반적으로 운동요법을 처방할 때 운동 빈도는 주 3회 이상으로 권장하고 있으며 신체적 무리가 없다면 매일 운동하는 것도 바람직하다고 제시하고 있다(Korean Institute of Sports Science, 1999). 이러한 선택을 하기 위해서는 과학적인 근거가 필요하나, 아직 이에 대한 연구 보고가 거의 없는 실정이다. 그러므로 저강도 운동에 의한 근비대 효과가 매일 운동을 하는 것과 격일로 운동하는 것에 차이가 있는지를 규명해야 할 필요성이 증대되었다. 만약 본 연구에서 격일 운동으로 나타나는 근비대가 매일 운동과 차이가 없는 것을 입증한다면, 근위축 발생 위험이 있는 대상자들에게 격일 운동을 하도록 권유하는 근거를 제공할 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 저강도 운동에 의해 근비대 효과가 있는지를 확인하고 매일운동군과 격일운동군의 근비대 효과를 비교하고자 한다.

## 2. 연구 목적

본 연구의 목적은 저강도 격일 운동과 매일 운동이 쥐 뒷다리근의 Type I 근육인 가자미근과 Type II 근육인 족척근에 근비대 효과를 가져 오는지를 확인하고 격일운동군과 매일운동군의 근비대 효과를 비교하는 것이며 구체적인 연구 목적은 다음과 같다.

- 1) 14일간의 저강도 운동으로 격일운동군과 매일운동군의 근육

무게, 근원섬유 단백질 함량 및 Type I, II 근섬유 횡단면적이 대조군에 비해 커졌는지를 확인한다.

- 2) 14일간의 저강도 운동이 근육 무게, 근원섬유 단백질 함량, Type I, II 근섬유 횡단면적에 미치는 효과를 격일운동군과 매일운동군에서 비교한다.

## 연구 방법

### 1. 연구 설계

본 연구는 S대학교 실험동물 윤리위원회의 승인을 받은 후 규정에 따라 진행되었다. 순수실험연구로 수행되었으며 실험동물은 무작위로 세 군에 배정하였다. 대조군(Control: C)은 14일간 정상활동을 한 군이며, 격일운동군(Exercise 1: E1)은 14일간 격일 운동을 실시한 군이고, 매일운동군(Exercise 2: E2)은 14일간 매일 운동을 실시한 군이다. 세 군 모두 실험시작일로부터 15일째에 가자미근과 족척근을 절제하였다.

### 2. 연구 대상

체중 220-240 g의 male Sprague-Dawley rat (Koatech, Pyeongtaek, Korea) 20마리를 대조군(C), 격일운동군(E1), 매일운동군(E2)에 각각 6, 7, 7마리씩 무작위 배정하였다. 세 군을 동일한 환경에 수용하였고(온도: 22±2°C, 습도: 45-55%) 12시간은 밝고 12시간은 어둡게 하였다. 동물의 고품사료(Cargill Agri Purina, Inc., Korea)와 물은 마음대로 먹을 수 있게 하였다.

### 3. 실험 방법

#### 1) 저강도 운동 부하

일반적으로 운동 중 최대 산소섭취량( $VO_2max$ )의 45-60%를 필요로 하는 운동을 저강도 운동이라고 정의한다(Gute, Laughlin, & Amann, 1994). 본 실험에서는 Gute 등(1994)의 연구 결과에 따라 쥐에 적용되는 저강도 운동을 산소섭취량이 최대 산소섭취량의 58%가 되도록 10 m/min의 속도로 쥐를 운동시킨 것을 의미한다. Choe 등(2002)의 연구 결과를 바탕으로 본 실험에서는 운동 속도와 경사가 조절될 수 있는 rodent animal treadmill에서 10° 경사로 10 m/min의 속도로 운동을 시행하였다. 이러한 속도는 Gute 등(1994)의 연구 결과에 따라 최대산소섭취량을 계산하여 보면 58% $VO_2max$ 이므로 저강도 운동이며 선행연구(Choe, 1995; Choe, 1998; An, Lee, Lim, Choi, & Choe, 2000)를 통해 근위축 경감 효과가 입증된 방법이다. 따라서 본 연구에서의 저강도 운동은 1회 운동 시 30분, 1일 2회(오전 9시, 오후 6시) 실시하여 하루에 총 60분을 시행하였다. 이러한

운동 부하를 14일 동안 E1군은 격일로 실시하여 총 7회를 수행하였고 E2군은 매일 실시하여 총 14회 수행하였다.

2) 체중 및 사료섭취량 측정

쥐의 체중 및 사료 섭취량은 매일 동일한 시간인 오후 5시에 electrobalance (A&D HF-2000, Japan)를 이용하여 측정하였으며 사료 섭취량은 매일 24시간 전에 제공한 사료의 무게에서 남은 사료의 무게를 빼서 계산하여 측정하였다.

3) 근육 절제 및 무게측정

실험 마지막 날에 pentobarbital sodium을 50-70 mg/kg의 용량으로 복강내 주사로 투여하여 마취용량으로 복강내 주사로 투여하여 마취시킨 후, 뒷다리에서 가자미근과 족척근을 절제하여 microbalance (A&D FX-300, Japan)에서 무게를 측정하였다.

4) 근원섬유의 단백질 함량 측정

Choe 등(2004)의 연구에서 제시된 방법에 따라 단백질 정량은 분광광도계(spectrophotometer, UV1601, SHIMADZU, Japan)를 이용하여 Serva Blue G dye가 함유된 Bio-Rad (Bio-Rad Laboratories, USA) 1 mL를 Bradford assay 방법으로 분석하였다. 소 혈청 알부민(bovine serum albumin)을 표준용액으로 이용하여 분광광도계에서 나타난 흡광도(absorbance, A<sub>595</sub>) 수치를(μg/mL)를 읽어 해당 근육의 단백질 함량(mg/g)을 산출하였다.

5) Type I, II 근섬유의 횡단면적 측정

Choe, Kim, An, Lee와 Choi (2008)의 연구에서 제시된 방법에 따라 근섬유 형태를 Type I과 Type II로 구분하기 위해 myosin-ATPase (adenosinotriphatase) 조직화화법을 실시하였다. 이 근육 표본을 광학현미경(CX-31, Olympus, Japan)으로 보아 어둡게 보이는 근섬유는 Type I, 밝게 보이는 근섬유는 Type II로 분류하였다. 근섬유의 단면적은 microscopic image analyzer (Leit, ASM 68k, Netzlr)를 이용하여 100배의 배율하에 image photoshop 작업과 BMI plus SE를 이용하여 일정면적 내에서 Type I, II 근섬유의 유형별 횡단면적을 산출하였다.

4. 자료 수집 방법

연구기간은 2009년 4-6월까지였으며, 실험에 이용된 쥐들은 동물실에 반입된 후 7일간 실험실 환경에 적응하는 기간을 두었다. 실험기간 14일 동안 매일 체중과 사료 섭취량을 측정하였고, 실험 마지막날에 체중을 측정후 근육을 절제하였다.

5. 자료 분석 방법

SPSS WIN 11.0 프로그램을 이용하여 각 군의 실험 시작 시와 근육절제 직전의 체중, 사료 섭취량, 근육무게, 근원섬유 단백질 함량, 근섬유 횡단면적은 평균과 표준편차로 나타내었고, 세 군 간의 차이는 ANOVA로 분석하였으며 사후검정은 Tukey test를 이용하였다. 실험 시작 시와 근육절제 시의 체중비교는 paired t-test를 이용하여 분석하였으며 모든 통계적 유의수준은  $p < .05$ 에서 채택하였다.

연구 결과

1. 체중

대조군(C), 격일운동군(E1), 매일운동군(E2)의 실험 시작시 체중(preweight)과 근육절제 직전의 체중(postweight)은 Table 1에서 보는 바와 같다. 실험 시작 시의 체중은 세 군 간에 유의한 차이가 없었다( $F = 0.161, p = .853$ ). 근육절제 직전 체중인 Postweight의 경우, C군의 근육절제 직전 체중은  $325.50 \pm 11.70$  g으로 E1군의  $313.87 \pm 3.15$  g에 비해 유의하게 높았다( $p = .046$ ). E2군의 근육절제 직전 체중은  $314.19 \pm 7.58$  g으로 나타나 C군과 유의한 차이가 없었고( $p = .052$ ), E1군과 E2군의 근육절제 직전 체중에도 유의한 차이를 보이지 않았다( $p = .997$ ).

2. 총 식이섭취량

각 군의 총 사료섭취량은 Table 1에 제시된 바와 같다. 대조군(C), 격일운동군(E1), 매일운동군(E2)의 총 사료섭취량은 각각  $323.31 \pm 17.01$  g,  $309.94 \pm 8.39$  g,  $319.52 \pm 36.24$  g으로 세 군 간에 유의한 차이가 없었다( $F = 0.550, p = .587$ ).

3. Type I, II 근육 무게

세 군의 근육 무게를 비교한 결과가 Table 2에 제시되어 있다. 가자미근 무게는 세 군 간에 유의한 차이가 없었으며( $F = 1.642, p = .223$ ), 족척근 무게도 세 군 간에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다( $F = 1.028, p = .379$ ).

Table 1. Body Weight and Total Dietary Intake

Group	Prewriteight (g)	Postweight (g)	Total dietary intake
	M ± SD		
Control (n=6)	237.88 ± 3.13	325.50 ± 11.70	323.31 ± 17.01
E1 (n=7)	237.09 ± 2.84	313.87 ± 3.15*	309.94 ± 8.39
E2 (n=7)	237.84 ± 2.82	314.19 ± 7.58	319.52 ± 36.24
F (p)	0.161 (.853)	0.301 (.625)	0.550 (.587)

\*Significant difference between Control and E1 groups ( $p < .05$ ).

E1군의 가자미근 무게는  $138.4 \pm 12.7$  mg으로 C군의 가자미근 무게  $123.7 \pm 3.8$  mg에 비해 유의하게 큰 것으로 나타났다( $p = .020$ ). E2군의 가자미근 무게  $133.9 \pm 8.8$  mg은 C군의  $123.7 \pm 3.8$  mg에 비해 8.2% 더 큰 경향을 보였으나 유의한 차이는 없었다. 또한 E1군과 E2군의 족척근 무게는  $364.1 \pm 23.3$  mg,  $358.3 \pm 25.9$  mg으로 C군의  $343.5 \pm 27.1$  mg에 비해 각각 5.9%, 4.3% 더 큰 경향을 나타냈다.

#### 4. Type I, II 근육의 근원섬유 단백질 함량

세 군의 가자미근과 족척근의 근원섬유 단백질 함량을 비교한 결과가 Table 3에 요약되어 있다. 가자미근의 근원섬유 단백질 함량은 세 군 간에 유의한 차이가 있었으며( $F = 30.569$ ,  $p < .001$ ), 족척근 근원섬유 단백질 함량도 세 군 간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $F = 7.373$ ,  $p = .005$ ). E1군과 E2군의 가자미근 근원섬유 단백질 함량  $112.03 \pm 17.87$  mg/g과  $123.27 \pm 8.21$  mg/g은 C군의 가자미근 근원섬유 단백질 함량  $67.33 \pm 12.31$  mg/g에 비해 유의하게 컸으며( $p < .001$ ,  $p < .001$ ), E1군과 E2군의 가자미근 근원섬유 단백질 함량에는 유의한 차이가 없었다( $p = .288$ ). E1군의 족척근 근원섬유 단백질 함량  $53.94 \pm 3.35$  mg/g은 C군의 족척근 근원섬유 단백질 함량  $44.97 \pm 5.76$  mg/g에 비해 유의하게 컸고( $p = .004$ ), E2군의 족척근 근원섬유 단백질 함량  $50.29 \pm 3.34$  mg/g은 C군의  $44.97 \pm 5.76$  mg/g에 비해 11.1% 큰 경향을 나타냈으나 통계적으로 유의하지 않았다. 또한 족척근 근원섬유 단백질 함량은 E1군과 E2군 간에도 유의한 차이가 없었다( $p = .262$ ).

**Table 2. Hindlimb Muscles Weight**

Group	Soleus (mg)	Plantaris (mg)
	M ± SD	M ± SD
Control (n = 6)	$123.7 \pm 3.8$	$343.5 \pm 27.1$
E1 (n = 7)	$138.4 \pm 12.7^*$	$364.1 \pm 23.3$
E2 (n = 7)	$133.9 \pm 8.8$	$358.3 \pm 25.9$
F (p)	1.642 (.223)	1.028 (.379)

\*Significant difference between Control and E1 groups ( $p < .05$ ).

**Table 4. Fiber Cross-Sectional Area of the Hindlimb Muscles**

Group	Soleus		Plantaris	
	type I M ± SD	type II M ± SD	type I M ± SD	type II M ± SD
Control (n = 6)	$1,223.74 \pm 87.85$	$1,563.09 \pm 501.65$	$640.58 \pm 154.82$	$1,103.59 \pm 142.90$
E1 (n = 7)	$1,525.13 \pm 229.78^{15}$	$1,150.10 \pm 166.12$	$726.55 \pm 160.04^{\dagger}$	$1,190.81 \pm 325.71$
E2 (n = 7)	$1,255.53 \pm 86.12$	$1,446.34 \pm 311.44$	$960.23 \pm 141.86^{15}$	$1,055.44 \pm 101.68$
F (p)	5.886 (.024)*	1.534 (.274)	3.665 (.039)*	0.758 (.798)

\*Significant difference among 3 groups ( $p < .05$ ); <sup>15</sup>Significant difference between Control and E1 groups ( $p < .05$ ); <sup>†</sup>Significant difference between Control and E2 groups ( $p < .05$ ); <sup>‡</sup>Significant difference between E1 and E2 groups ( $p < .05$ ).

#### 5. Type I, II 근섬유 횡단면적

세 군의 가자미근과 족척근의 Type I, II 근섬유 횡단면적을 비교한 결과가 Table 4에 제시되어 있다.

##### 1) 가자미근

가자미근의 Type I 근섬유 횡단면적은 세 군 간에 유의한 차이가 있었으며( $F = 5.886$ ,  $p = .024$ ), Type II 근섬유 횡단면적은 세 군 간에 유의한 차이가 없었다( $F = 1.534$ ,  $p = .274$ ). E1군의 가자미근 Type I 근섬유 횡단면적  $1,525.13 \pm 229.78 \mu\text{m}^2$ 은 C군의  $1,223.74 \pm 87.75 \mu\text{m}^2$ 에 비해 유의하게 컸고( $p = .007$ ), E2군의  $1,255.53 \pm 86.12 \mu\text{m}^2$ 에 비해서도 큰 것으로 나타났다( $p = .011$ ).

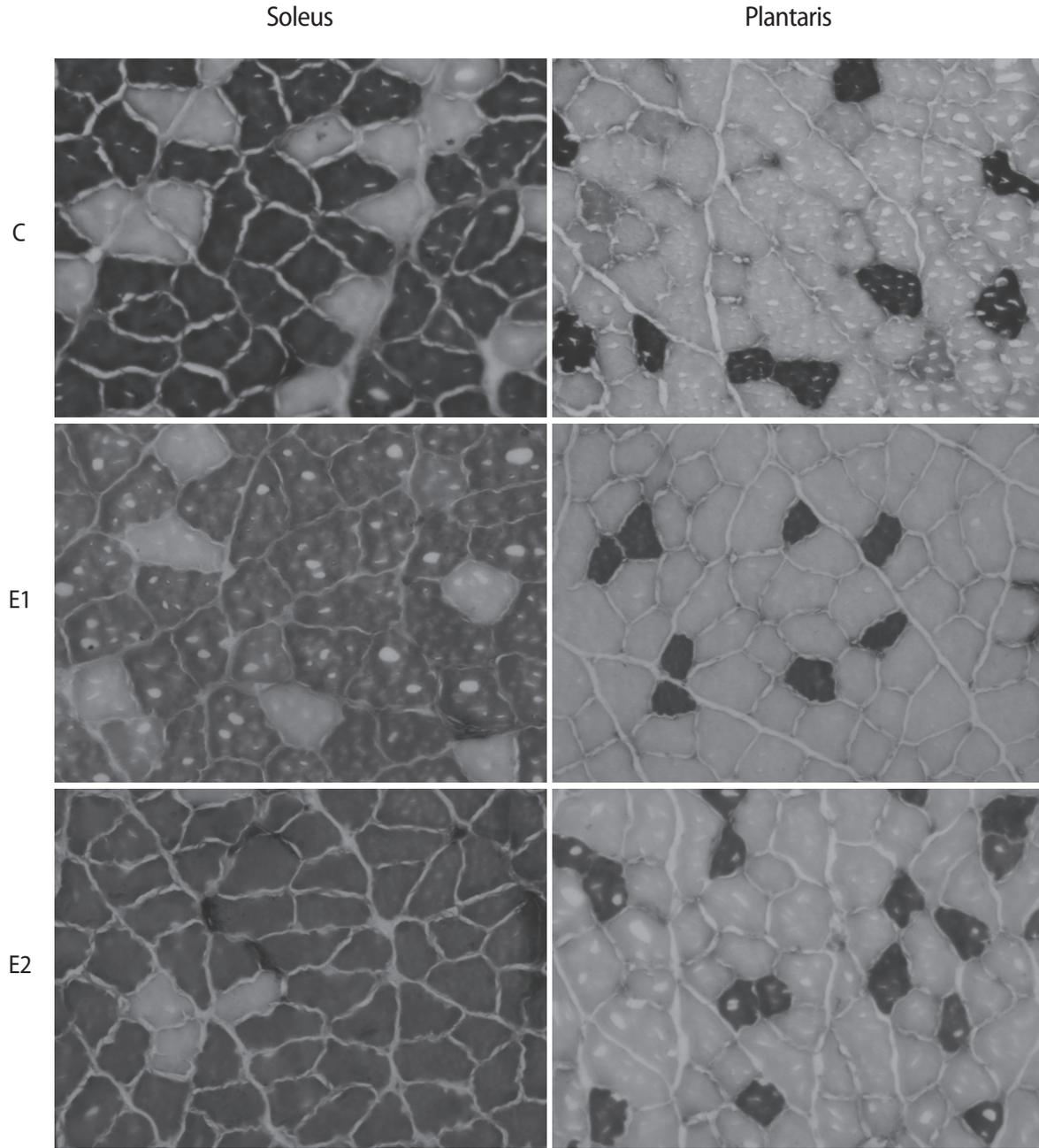
##### 2) 족척근

족척근의 Type I 근섬유 횡단면적은 세 군 간에 유의한 차이가 있었으며( $F = 3.665$ ,  $p = .039$ ) Type II 근섬유 횡단면적은 세 군 간에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다( $F = 0.758$ ,  $p = .798$ ). E1군과 C군의 족척근 Type I 근섬유 횡단면적을 비교한 결과, E1군의  $726.55 \pm 160.04 \mu\text{m}^2$ 은 C군의  $640.58 \pm 154.82 \mu\text{m}^2$ 에 비해 유의하게 컸으며( $p = .041$ ) E2군의  $960.23 \pm 141.86 \mu\text{m}^2$ 은 C군의  $640.58 \pm 154.82 \mu\text{m}^2$ 에 비해 유의하게 컸다( $p = .001$ ). E2군의  $960.23 \pm 141.86 \mu\text{m}^2$ 은 E1군의  $726.55 \pm 160.04 \mu\text{m}^2$ 에 비해 유의하게 큰 것으로 나타났다( $p = .031$ ). C군, E1군 및 E2군의 가자미근과 족척근 횡단면의 근섬유 분포가 Figure. 1에 제시되어 있다.

**Table 3. Myofibrillar Protein Content of the Hindlimb Muscles**

Group	Soleus (mg/g)	Plantaris (mg/g)
	M ± SD	M ± SD
Control (n = 6)	$67.33 \pm 12.31$	$44.9788 \pm 5.7635$
E1 (n = 7)	$112.03 \pm 17.87^{\dagger}$	$53.9489 \pm 3.3568^{\dagger}$
E2 (n = 7)	$123.27 \pm 8.21^{\ddagger}$	$50.2943 \pm 3.3470$
F (p)	30.569 (.000)*	7.373 (.005)*

\*Significant difference among 3 groups ( $p < .05$ ); <sup>†</sup>Significant difference between Control and E1 groups ( $p < .05$ ); <sup>‡</sup>Significant difference between Control and E2 groups ( $p < .05$ ).



**Figure 1.** Cross-sections of soleus and plantaris muscles in rats in the C (first line), E1 (second line), and E2 (third line) groups. The left column is soleus, and the right column is plantaris muscles. C: control, E1: exercise every other day, E2: exercise every day, dark: Type I muscle fiber, light: Type II muscle fiber (myosin ATPase staining,  $\times 100$ ).

### 논 의

본 연구는 14일간의 저강도 운동에 의해 근비대가 나타나는지를 확인하고, 격일 운동과 매일 운동이 Type I 근육인 가자미근과 Type II 근육인 족척근에 미치는 효과를 비교하기 위해 시도되었다. 본 연구결과, 저강도 운동 후 격일 운동을 한 E1군은 가자미근의 근육

무게, 가자미근과 족척근 근원섬유 단백질 함량, 가자미근과 족척근 Type I 근섬유 횡단면적이 C군에 비해 컸고, 매일 운동을 한 E2군은 가자미근 근원섬유 단백질 함량, 족척근 Type I 근섬유 횡단면적이 C군에 비해 컸기 때문에 두 군 모두 14일간의 저강도 운동으로 근비대 효과가 나타났다.

격일 운동을 한 E1군의 가자미근 및 족척근과 매일 운동을 한 E2

근의 가자미근의 근원섬유 단백질 함량이 증가한 것은 운동을 부하시킴으로써 체중부하와 근수축이 일어나며 이러한 기계적 활동이 단백질 분해를 저하시켜 골격근 수축성 단백질을 유지하고 재생을 증진시킨 것(Park, 2005)으로 설명된다. 본 연구에서 E1군의 가자미근 Type I 근섬유 횡단면적과 E2군의 족척근 Type I 근섬유 횡단면적이 C군에 비해 큰 것은 근원섬유 단백질 함량이 증가하면 근원섬유의 용적과 밀도가 커짐으로써(Kasper, McNulty, Otto, & Thomas, 1993) 근섬유 횡단면적이 증가된 것으로 이해된다. 운동으로 인한 골격근 내 글리코겐 재합성 양과 비율은 식이에 큰 문제가 없는 한 정상보다 높은 농도로 증가되며(Kim, Whi, Ahn, Nam, & Yeo, 2005) 운동으로 인해 자극된 근섬유는 많은 미토콘드리아를 포함하고 더 많은 근 필라멘트와 근원섬유를 형성하며 세포들 사이의 결합조직의 양 또한 증가시킨다. 따라서 E1군의 가자미근 근육 무게가 유의하게 증가하였고 E2군의 가자미근 근육 무게도 증가한 경향을 보여 줌으로써 E1군과 E2군에서 운동에 의해 근육비대가 초래되었음을 확인할 수 있다.

Kasper 등(1993)의 연구에서도 달리기와 같은 지구력 성운동이 위축된 근육 무게와 근섬유 횡단면적 회복에 유의한 효과가 있다고 하였다. 본 연구에서 14일간의 규칙적인 운동을 통해 단백질 합성증가로 근원섬유 단백질 함량을 증가시킨 것은 쥐에서 골격근의 단백질 분해와 합성이 이루어지는 세포주기(turnover)의 반감기가 3일이므로(Millward, Garlick, Stewart, Nnanyelugo, & Waterlow, 1975), 14일이라는 기간에도 근원섬유 단백질 함량의 변화가 나타날 수 있는 근거를 제시한다.

특히 본 연구 결과에서 E1군의 가자미근 Type I 근섬유와 E1군과 E2군의 족척근 Type I 근섬유 횡단면적이 C군에 비해 유의하게 큰 것으로 나타난 이유는 본 연구에서 적용된 운동이 저강도의 지구력 운동으로 Type I 근섬유가 많이 동원되었기 때문이다. Type I 근섬유는 모세혈관의 밀도가 높아 혈액공급이 풍부하고 미토콘드리아의 산화효소 활성이 높으며 낮은 강도의 지구력 운동에 주로 동원되는 특성이 있다(Prior et al., 2004). 이를 고려해 볼 때, Type I 근섬유 97%와 Type II 근섬유 3% 정도로 구성된 가자미근과, Type I 근섬유 23%와 Type II 근섬유 77%로 구성된 족척근(Tomás, Gisela, & Vika, 2002)에서 Type I 근섬유의 증가가 현저하게 나타났음을 알 수 있다. 근육에서 Type I, II 근섬유 비율은 고정된 것이 아니고 운동 등 근육활동 증가에 따라 변화하기 때문에 지구력 운동이 Type II 근섬유를 Type I 근섬유로 변화시킨다는 연구보고(Thayer, Collins, Noble, & Taylor, 2000)를 토대로 생각할 때, 본 연구에서 적용된 저강도 지구력 운동이 가자미근과 족척근 모두에서 Type I 근섬유만을 증가시켜 횡단면적이 커진 것에 대한 설명이 가능하다. 저강도 운동

을 하면 citrate synthase라는 미토콘드리아 효소의 활동이 증가되고 이에 따라 모세혈관과 지근섬유(slow-twitch fiber)가 증가한다는 연구보고도 이러한 사실을 뒷받침해주고 있다(Poole & Mathieu-Costello, 1996).

한편, E1군과 E2군의 가자미근과 족척근 Type II 근섬유 횡단면적은 C군에 비해 크지 않았으며 이러한 결과가 나타난 이유는 Type II 근섬유는 모세혈관의 밀도가 낮고 당분해 효소의 활성은 높아서 수축 시 칼슘 유리가 빠르게 이루어지므로 짧은 시간에 강한 수축을 하는 저항성 고강도 운동에 주로 동원되는 특성이 있기 때문에(Kasper et al., 1993), 본 연구에서 수행한 저항도 운동으로는 Type II 근섬유에 미치는 영향이 적었기 때문이라고 생각한다.

본 연구에서 격일 운동을 한 E1군은 매일 운동을 한 E2군에 비해 가자미근 Type I 근섬유 횡단면적이 더 컸으며 E2군은 E1군에 비해 족척근 Type I 근섬유 횡단면적이 더 큰 것으로 나타났고, 근육무게, 근원섬유 단백질 함량은 두 군 간에 유의한 차이가 없었으므로 격일 운동에 의한 근비대는 매일 운동과 유사한 것으로 볼 수 있다. 운동 후 휴식 시 근육 글리코겐과 미토콘드리아 효소가 증가된다는 Hansen 등(2005)의 연구결과를 토대로 본 연구에서 격일운동군은 1일이라는 휴식시간 동안 미토콘드리아 효소 활성이 증가됨으로써 Type I 근섬유가 증가되었을 것으로 유추할 수 있다. 또 다른 연구 결과에 의하면 지속성 저항도 운동 후 근육 글리코겐의 재합성 회복기는 46시간으로 나타났고(Kim et al., 2005), 운동 후 회복시간이 짧을수록 산 증가에 의한 코티솔 증가로 근육회복에 영향을 준다고 보고되었다(Wahl, Zinner, Achzeun, Bloch, & Mester, 2010). 따라서 본 연구에서는 격일 운동을 한 E1군이 24시간의 근육 회복기를 가졌기 때문에 매일 운동을 한 E2군에 비해 가자미근 Type I 근섬유 횡단면적이 더 컸고 근육무게가 큰 경향을 보인 것으로 생각한다.

본 실험 결과에서 E1군의 체중이 C군에 비해 유의하게 작았으며, E2군이 C군에 비해 작은 경향을 보였다. 이는 사료 섭취량이 군 간에 유의한 차이가 없었음을 감안해 볼 때, 운동으로 인한 에너지 필요량 증가로 부적 에너지균형이 발생해 인체가 지방을 소모하는 과정에서 체중이 감소한 것이라 생각할 수 있다(Park, Lee, & Kim, 1999). Pomerleau, Imbeault, Parker와 Doucet (2004)의 연구에서는 최대산소섭취량의 70%에 해당하는 고강도운동과 40%에 해당하는 저강도 운동을 시행하고 식사량과 식욕을 비교한 결과, 고강도 운동군에서 일일 에너지 섭취량이 높게 나타났으나 본 연구에서는 저강도 운동을 수행했기 때문에 식욕에 큰 영향을 주지 않은 것으로 생각한다.

이상의 연구 결과는 격일 운동으로 매일 운동과 동일하게 근비대가 발생함을 입증하였으므로 근위축 발생의 위험이 있는 대상자

들에게 격일 운동을 권유할 수 있는 근거를 제시하고 있다.

## 결론 및 제언

저강도 격일 운동과 매일 운동에 의해 가자미근과 족척근에 근비대가 나타났고 이러한 근비대는 가자미근에서 현저하였다. 격일운동근이 매일운동근에 비해 가자미근 Type I 근섬유 횡단면적이 컸고 족척근의 Type I 근섬유 횡단면적이 작았다. 이외에는 격일운동근과 매일운동근 간에 차이가 없는 것으로 나타나 격일 운동과 매일 운동에 의한 근 비대 효과는 거의 동일하였다. 이상의 결과는 임상실무에서 근위축 발생의 위험이 높은 대상자들에게 격일로 운동을 적용하여도 근위축이 예방될 수 있다는 근거를 제시하고 있다.

## 참고문헌

- Alley, K. A., & Thompson, L. V. (1997). Influence of simulated bed rest and intermittent weight bearing exercise on single skeletal fiber function in aged rats. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 78, 19-25.
- An, G. J., Lee, Y. K., Lim, J. H., Choi, S., & Choe, M. A. (2000). Effect of exercise during acute stage on hindlimb muscles of stroke induced rat. *Journal of Korean Biological Nursing Science*, 2(2), 9-16.
- Carpenter, S., & Karpati, G. (2001). *Pathology of skeletal muscle*. Oxford University Press: London.
- Choe, M. A. (1995). Effect of endurance exercise prior to occurrence of muscle atrophy on the mass, myofibrillar protein content and fiber cross-sectional area of atrophied hindlimb muscles of rats. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 25, 96-108.
- Choe, M. A. (1998). Effect of endurance exercise during dexamethasone treatment on the attenuation of atrophied hindlimb muscle induced by dexamethasone in rats. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 28, 893-907.
- Choe, M. A. (2002). Effect of regular exercise during recovery period following steroid treatment on the atrophied type II muscles induced by steroid in young rats. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 32, 550-559.
- Choe, M. A., An, G. J., Lee, Y. K., Im, J. H., Choi-Kwon, S., & Heitkemper, M. (2004). Effect of inactivity and undernutrition after acute ischemic stroke in a rat hindlimb muscle model. *Nursing Research*, 53, 283-292.
- Choe, M. A., Kim, K. H., An, G. J., Lee, K. S., & Choi, J. (2008). Hindlimb muscle atrophy of rat induced by neuropathic pain. *Journal of Korean Biological Nursing Science*, 10(1), 88-95.
- Choe, M. A., Shin, G. S., An, G. J., Choi, J. A., & Lee, Y. K. (2002). Effect of regular exercise during recovery period following steroid treatment on the atrophied type II muscles induced by steroid in young rats. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 32, 550-559.
- Gute, D., Laughlin, M. H., & Amann, J. F. (1994). Regional changes in capillary supply in skeletal muscle of interval-sprint and low-intensity, endurance-trained rats. *Microcirculation*, 1, 183-193.
- Hansen, A. K., Fischer, C. P., Plomgaard, P., Andersen, J. L., Saltin, B., & Pedersen, K. (2005). Skeletal muscle adaptation: training twice every second day vs. training once daily. *Journal of Applied Physiology*, 98, 93-99.
- Isfort, R. J., Wang, F., Greis, K. D., Sun, Y., Keough, T. W., Farrar, R. P., et al. (2002). Proteomic analysis of rat soleus muscle undergoing hindlimb suspension-induced atrophy and reweighting hypertrophy. *Proteomics*, 2, 543-550.
- Jakobsson, E., Borg, K., Edstrom, L., & Grimby, L. (1988). Use of motor units in relation to muscle fiber type and size in man. *Muscle & Nerve*, 11, 1211-1218.
- Kasper, C. E. (2003). *Skeletal muscle atrophy*. In V. Carrier-Kohlman, A. M. Lindsey, & C. M. West (Eds.), *Pathophysiological phenomena in nursing: Human responses to illness* (3rd ed., pp. 389-412). Philadelphia, PA: W. B. Saunders.
- Kasper, C. E., McNulty, A. L., Otto, A. J., & Thomas, D. P. (1993). Alterations in skeletal muscle related to impaired physical mobility: An empirical model. *Research in Nursing & Health*, 16, 265-273.
- Kim, C. G., Whi, S. D., Ahn, E. S., Nam, S. N., & Yeo, N. H. (2005). *Exercise Physiology*. Seoul: Daehan-media.
- Korean Institute of Sports Science. (1999). *Current Exercise Prescription*. Seoul: 21st Century Education Publishing Company.
- Millward, D. J., Garlick, P. J., Stewart, R. J., Nnanyelugo, D. O., & Waterlow, J. C. (1975). Skeletal muscle growth and protein turnover. *Journal of Biochemistry*, 150, 235-243.
- Park, S. D. (2005). Effects of exercise intensity on sciatic function index (SFI) and gastrocnemius muscle GLUT-4 protein expression after sciatic nerve injury in rats. *Exercise Science*, 14, 281-288.
- Park, S. J., Lee, M. C., & Kim, S. J. (1999). Effect of physical on experimental steroid-induced myopathy. *Journal of the Korean Neurological Association*, 17, 695-701.
- Pomerleau, M., Imbeault, P., Parker, T., & Doucet, E. (2004). Effects of exercise intensity on food intake and appetite in women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 80, 1230-1236.
- Poole, D. C., & Mathieu-Costello, O. (1996). Relationship between fiber capillarization and mitochondrial volume density in control and trained rat soleus and plantaris muscles. *Microcirculation*, 3, 175-186.
- Prior, B. M., Yang, H. T., & Terjung, R. L. (2004). What makes vessels grow with exercise training? *Journal of Applied Physiology*, 97, 1119-1128.
- Thayer, R., Collins, J., Noble, E. G., & Taylor, A. W. (2000). A decade of aerobic endurance training: histological evidence for fibre type transformation. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 40, 284-289.
- Tomaš, S., Gisela, Z., & Vika, S. (2002). Fibre type composition of soleus and extensor digitorum longus muscles in normal female inbred Lewis rats. *Acta Histochemica*, 104, 399-405.
- Wahl, P., Zinner, C., Achtzehn, S., Bloch, W., & Mester, J. (2010). Effect of high- and low-intensity exercise and metabolic acidosis on levels of GH, IGF-I, IGFBP-3 and cortisol. *Growth Hormone & IGF Research*, 20, 380-385.