

하지 혈류제한 운동이 근육크기와 근력에 미치는 영향

권 해 연 · 안 소 윤*

부산가톨릭대학교 물리치료학과

The Effects of Leg Blood Flow Restriction Exercise on Muscle Size and Muscle Strength

Hae-Yeon Kwon, PT; So-Youn Ahn, PT, PhD*

Department of Physical Therapy, Catholic University of Pusan

ABSTRACT

Purpose : The purpose of this study was to investigate thigh muscle-bone CSA and leg strength during low-intensity exercise program with leg blood flow restriction by external compression to reduce muscle outflow.

Methods : Eighteen health students gave informed written consent to participate in this investigation. An occlusion cuff was attached to the proximal end of the leg so that blood flow was reduced during the training. The training was conducted one times a day, three times a week, for 8 weeks using one sets of 30 minutes. The training program performed to squat with standing, lunge with standing and heel raise with one leg standing. Measurements of thigh muscle-bone CSA(cross-sectional area) and leg strength were evaluated pre and post-training. Statistical evaluation of these data was accomplished utilizing a paired t-test by SPSS 12.0 program for windows. Significance level was set at $p < .05$.

Results : All data are reported as means and standard deviations(SD) for all variables. The result of the study is followed; After the training, muscle-bone CSA, gluteus maximus m, quadriceps m, hamstring m of both legs were significantly improved but not calf muscle($p < .05$). There was no significant difference of change quantity between muscle-bone CSA and leg strength in Lt. and Rt. side. But the variation in leg muscle strength of Rt. leg(dominant) was much more increased than Lt. leg(non-dominant) after 8 weeks training.

Conclusion : Low-intensity training with leg blood flow restriction offers a potentially useful method for improving leg muscle strength.

Key Words : Blood flow restriction exercise, Lower extremity, Muscle size

교신저자 : 안소윤, E-mail: syahn@cup.ac.kr

논문접수일 : 2012년 2월 7일 / 수정접수일 : 2012년 2월 15일 / 게재승인일 : 2012년 2월 26일

I. 서론

근력훈련을 하게 되면 근력 수준을 운동 전보다 약 7~45%까지 증진시킬 수 있을 뿐만 아니라 그 증가율 또한 매우 높다. 하지만 근육 횡단면적이나 근육의 크기는 훈련 후 8~12주가 지나야 근섬유의 크기가 증가하게 되고, 근원섬유가 근섬유를 추가적으로 변화시킬 수 있다(Powers와 Howley, 2001)고 하였다. 정일규와 윤진환(2006)은 고강도 근력훈련 동안에 근육에서 수축성 단백질이 먼저 증가하므로 근육 크기가 증가하면서 근 수축력이 강해지고, 운동단위를 최대한 동원하는 능력이 향상된다고 하였다. 이처럼 고강도 근력훈련(1RM : 75~80%)을 통해서 근비대와 근력을 모두 획득할 수 있음이 증명되었지만 저강도와 중등도 근력훈련(1RM : 60%)에서는 고강도 근력훈련과 동일하게 근육 크기가 증가하거나 생산할 수 있는 충분한 장력이 발생하지 않을 수가 있다고 하였다(Bigland-Ritchie와 Woods, 1984; Kraemer 등, 2002; Kraemer와 Ratamess, 2004).

Takarada 등(2000a)은 수술 후 슬관절 신전근 위축이 있는 16명을 대상으로 혈류제한을 하지 않은 대조군과 대퇴근위부에 평균 최대압력 238mmHg로 혈류제한훈련을 매일 한 실험군의 대퇴 근육 횡단면적을 비교한 결과 실험군이 대조군에 비하여 슬관절 굴곡근과 신전근의 횡단면적 감소가 적게 일어났다. 이러한 결과들은 혈류제한 자극이 대퇴 근육의 무용성 위축을 감소시키고, 침상에서 생활하는 노인의 근육 기능을 증가시키는데 효과적임을 보여 주었다.

최근의 연구에 의하면 혈류제한과 함께 저강도 근력 훈련(1RM : 20~50%)이 혈류제한 없이 고강도 훈련을 실시할 때와 동일하게 근비대와 근력 모두가 향상되었다고 보고되었고(Abe 등, 2006; Beekley 등, 2005; Takarada 등, 2002b), 그 효과의 기전에 대해서도 연구가 활발히 진행 중이다.

혈류제한 운동은 훈련을 수행하는 부위의 혈관을 일시적으로 좁게 만들어서 저강도에서도 근력을 향상시

킬 수 있는 근력훈련 방법이다(Sinha-Hikim 등, 2006). 2004년 일본에서는 공압식 전용벨트(압력 벨트)를 사용해서 사지의 윗부분을 적당한 강도로 압박한 후 저강도로 단시간 동안에 훈련을 실시하는 압박 훈련(pressurization training) 방법을 개발하였는데 Sato(2005)는 이 훈련을 활동적인 사지 근육의 동맥 유입과 정맥 유출을 감소시키므로 Katsu 훈련이라고 하였다. 최근의 대다수의 논문에서 Katsu 훈련을 했을 때 근비대가 빠르게 증가하는 유의한 차이가 나타났다(Abe 등, 2005a, 2005b; Takarada 등, 2000b; Takarada 등, 2002a).

Takarada 등(2000b)은 성인 여성이 1RM의 20% 부하로 8주 동안 혈류제한 훈련을 실시했을 때 근육 횡단면적이 약 10%증가 하였고, Abe 등(2005a)에 의하면 1RM의 20% 강도로 혈류제한 훈련을 적용했을 때 근육 횡단 면적이 4.5% 증가되었다고 하였다.

근육 횡단면적 변화와 근육 크기를 측정하는 컴퓨터단층촬영(CT)과 자기공명영상(MRI)이 가장 표준화된 방법이지만 고가에 많은 시간이 소비되고, X-선 또는 방사선에 노출되거나 충분한 의학적 설비와 절차를 필요로 하므로 다수의 연구자들은 근육 횡단면적(cross-sectional area, CSA)과 생체 면적을 통해 근 비대를 측정하는 것을 추천하고 있다. 근육-뼈 횡단면적 산정은 근육 모양과 피하지방 조직층과 관계를 통해 근비대를 명확히 볼 수 있는 방법으로 근육 크기 변화를 측정하기에 좋은 방법이다. 특히 대퇴 둘레 크기와 초음파 측정으로 얻을 수 있는 근육-뼈 횡단면적 산정은 대퇴 MRI 측정과 비교했을 때 안전성, 용이성, 정확성, 저비용의 장점이 있으므로 근육 횡단면적 변화를 측정하는데 신뢰성 있는 대안적 방법으로 제시되었다(Bemben 등, 2005).

따라서 본 연구는 압력벨트를 이용한 혈류제한 운동이 건강한 성인 하지 근육크기와 근력에 미치는 영향을 알아보려고 하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상 및 기간

부산의 C 대학교에서 고강도 운동프로그램에 참여한 적이 없는 건강한 남녀 대학생 18명을 대상으로 8주간 진행하였고 신체적 특성은 다음과 같다(표 1).

연구 대상자들은 모두 본 실험과정에 동의하였으며 구체적인 선정기준은 첫째 최근 3개월 동안 고강도 근력 운동을 수행하지 않은 자, 둘째 다리의 혈류제한 운동을 충분히 수행할 수 있는 자, 셋째 이전 6개월 간 허리와 다리에 통증을 경험한 적이 없는 자 등 이었다. 실험 전과 압력벨트를 이용한 혈류제한 운동 8주 후에 측정을 하였다.

2. 운동프로그램

8주간의 운동프로그램은 운동 시작 전에 심호흡과 준비운동을 한 후 대상자의 우세 손 측 대퇴부(이 연구에서는 모두 오른쪽 대퇴)에 압력벨트를 착용하여 운동 시 벨트의 압력이 통증을 일으키지 않도록 조정 하였다. 운동프로그램은 세 가지 유형으로 구성하였고 하지의 혈류제한 시간은 각 항목별로 운동 시작 전 준비과정을 포함해서 10분을 넘지 않도록 하였다. 운동 사이에는 반드시 약 1분간 휴식을 취하였으며, 훈련 종료 후 신속하게 벨트를 제거하였다.

Table 1. Physical characteristics

		Subjects (n=18)
Gender	Male	8(44.4%)
	Female	10(55.6%)
Age(years)		22.18±2.40
Height(cm)		168.34±8.88
Body weight(kg)		57.69±10.77

이 연구에 사용된 운동프로그램은 Matt Roberts의 Fitness for life manual(2002)에서 제시된 성인을 위해 개발된 근력강화 운동을 기초로 조그려 앉

기와 펜싱 동작 그리고 한 다리 서기에서 슬관절 굴곡의 3가지 항목으로 구성하였다. 혈류제한 운동은 주 3회, 1회 30분씩 규칙적으로 적용하였다. 각 동작별로 강화되는 근육과 세부적인 운동 내용은 표 2와 같다.

초기, 향상기, 유지기 3단계로 구성된 혈류제한 운동 프로그램은 Heyward와 Vivian(2010)의 Advanced Fitness Assessment & Exercise prescription에 제시된 성인 하지근력훈련 프로그램 매뉴얼을 기본으로 하여 순서적으로 진행하였다(표 3).

3. 측정방법

1) 대퇴 둘레 측정

양다리를 10-15 cm 정도 벌리고 양발에 균등하게 체중을 주고 서게 한 후 대퇴의 대전자와 외측상과 사이의 가운데 지점을 표시한 곳 허벅지 둘레(thigh circumference)를 줄자로 1cm 단위로 측정하였다.

2) 피하지방조직 두께 측정

대퇴의 중간선에서 초음파 영상장치(SONOACE X4, Medison Co., Korea)를 이용하여 대퇴 중간선과 같은 높이의 피하 지방조직의 전방(QAT)과 후방(PAT) 두께의 영상을 획득하였다. 초음파 영상은 수용성 투과 겔을 도포한 7.5MHz 탐촉자로 피부 표면을 누르지 않고 직각으로 접촉시켜 측정하였다.

3) 대퇴의 근육-뼈 횡단면적 산정

근육-뼈 횡단면적(cross-sectional area; CSA)은 그림 1과 같이 Abe 등의 공식을 이용한 Muscle-Bone CSA = $\pi [r - (QAT + HAT)/2]^2$ 로 하였다. 대퇴의 반지름 r은 허벅지 둘레/ 2π 로 계산하였고, QAT와 HAT는 전/후방 대퇴 지방조직 두께는 각각 초음파로 3회 반복 측정된 값의 평균을 이용하였다(Abe 등, 1994). 단, 허벅지 둘레와 전/후방 지방층의 인체측정학적 위치는 실험 전 설정한 기준선을 표시하여 매번 검사 시 일관성 있게 측정하였다(Bemben 등, 2005).

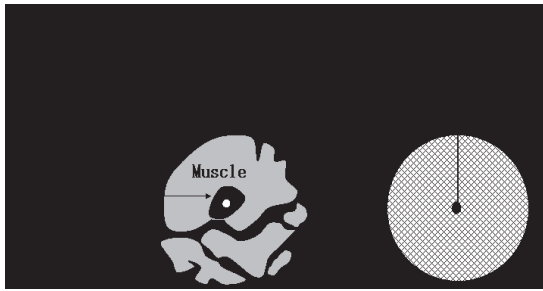


Figure 1. Schematic representation of the thigh CSA and the derivation of variables used to calculate the estimated muscle-bone CSA. AT, adipose tissue thickness; QAT, anterior AT; HAT, posterior AT.

4. 자료처리

본 연구에서 수집된 자료는 통계패키지 SPSS 12.0 for windows 프로그램을 사용하여 분석하였으며 모든 통계에 대한 유의수준 α 는 0.05로 하였다. 연구 대상자의 일반적인 특성은 기술통계로 평균과 표준편차, 빈도분석을 하였고, 실험 전후 대퇴 근육-뼈 횡단면적과 근력 변화를 대응표본 t-검정으로 비교하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 넙다리 근육-뼈 가로면적의 변화

왼쪽 넙다리 근육-뼈 가로면적은 훈련 전 $136.40 \pm 35.06 \text{cm}^2$ 에서 훈련 후 $144.89 \pm 36.71 \text{cm}^2$ 로 유의한 차이가 있었고, 오른쪽 넙다리 근육-뼈 가로면적도 훈련 전 $138.64 \pm 31.39 \text{cm}^2$ 에서 훈련 후 $147.59 \pm 7.61 \text{cm}^2$ 로 유의한 차이가 있었다(Table 4). 넙다리 근육-뼈 가로면적의 훈련 전후 왼쪽과 오른쪽의 변화량은 유의한 차이가 없었지만(Table 5) 변화율에서는 왼쪽보다 오른쪽 넙다리 근육-뼈 가로면적이 2.70% 더 많이 증가한 것으로 나타났다.

2. 다리 근력의 변화

왼쪽 다리 근력에서 큰엉덩근은 훈련 전 32.23 ± 11.19 에서 훈련 후 36.22 ± 8.89 , 넙다리네갈래근은 훈련 전 36.34 ± 19.40 에서 훈련 후 38.93 ± 17.25 , 뒤넙다리근은 훈련 전 34.14 ± 13.89 에서 훈련 후 37.76 ± 12.59 로 유의한 차이가 있었지만 장딴지근은 유의한 차이가 없었다(Table 6). 오

Table 2. Leg blood flow restriction exercise program

method	notice
Squat with standing : Biceps femoris, Quadriceps femoris ① 양 손은 골반 위에 올리고 어깨 넓이보다 약간 넓게 다리 벌리고 서기 ② 엉덩이를 수축시키며 두 무릎을 굽힘 ③ 다리를 90°로 굽혀 바닥과 수평이 될 때까지 엉덩이를 낮춤 ④ 상체가 허벅지와 90°를 이루도록 앞으로 약간 기울임	① 척추의 중립 유지 ② 발꿈치를 바닥에 접촉
Lunge with standing : Quadriceps femoris, Gluteus maximus ① 양 손은 골반 위에 올리고 두 발을 가까이 모으고 서기 ② 한 발을 앞으로 내디딤(펜싱자세) ③ 앞 무릎을 90°로 굽히고, 대퇴부가 바닥과 수평이 될 때까지 내려감 ④ 뒷 무릎을 90°까지 똑바로 아래로 내려감(척추부터 아래 무릎까지 일직선을 만들고, 발가락으로 균형 유지)	① 척추의 중립 유지 ② 앞 무릎을 앞발 위쪽에 위치 ③ 앞발의 발꿈치에 체중부하
Knee flexion with one leg standing : Gluteus maximus, Biceps femoris ① 벽을 두 손바닥으로 밀고 어깨 넓이보다 약간 넓게 다리 벌리고 서기 ② 체간을 일직선으로 어깨뼈를 움츠린 채 한 발로 지탱하고 서기 ③ 반대쪽 다리의 발바닥이 뒤쪽을 향하도록 90° 각도로 구부러 올렸다 내리는 동작을 반복하기	① 척추의 중립 유지 ② 다리를 굽힐 때 시선 정면 ③ 한 발로 균형 유지

Table 3. Stages and duration of leg blood flow restriction exercise program

Initial stage (1~3weeks)	Improvement stage (4~6weeks)	Maintenance stage (7~8weeks)
each Items 3second 12frequency, 3sets between-sets 30sec rest	each Items 4second 10frequency, 3sets between-sets 60sec rest	each Items 5second 8frequency, 3sets between-sets 60sec rest

Table 4. Changes in muscle-bone CSA after 8 weeks of blood flow restriction exercise

Variables	Mean±SD		t-value	p
	Pre-training	Post-training		
CSA of Lt. side	136.40±35.06	144.89±36.71	-2.480	.025*
CSA of Rt. side	138.64±31.39	147.59±7.61	-2.785	.013*

Table 5. Comparison of changes in muscle-bone CSA

CSA of Lt. side	CSA of Rt. side	t-value	p
8.49±14.11	8.94±13.24	-.122	.904

Table 6. Changes in variables of leg strength after 8 weeks of blood flow restriction training

Variables	Mean±SD		t-value	p
	Pre-training	Post-training		
Leg strength of Lt. side				
Gluteus maximus m.	32.23±11.19	36.22±8.89	-2.154	.047*
Quadriceps m.	36.34±19.40	38.93±17.25	-2.130	.049*
Hamstring m.	34.14±13.89	37.76±12.59	-2.141	.048*
Calf muscle	39.40±11.55	39.78±15.58	-.128	.900
Leg strength of Rt. side				
Gluteus maximus m.	33.79±12.43	38.93±10.71	-2.164	.046*
Quadriceps m.	36.50±16.42	46.65±9.46	-2.140	.048*
Hamstring m.	34.58±14.44	38.53±13.88	-2.201	.043*
Calf m.	39.48±14.07	40.99±16.54	-.408	.688

Table 7. Comparison of changes in right and left leg strength

Variables	Mean±SD		t-value	p
	Lt. side	Rt. side		
Gluteus maximus m.	3.98±7.62	5.15±9.81	-.523	.608
Quadriceps m.	2.59±5.01	10.15±19.56	-1.697	.109
Hamstring m.	3.63±6.98	3.96±7.40	-.214	.833
Calf m.	0.38±12.32	1.51±15.23	-.497	.626

른쪽 다리 근력에서도 큰엉덩근은 훈련 전 33.79 ± 12.43 에서 훈련 후 38.93 ± 10.71 , 넙다리네갈래근은 훈련 전 36.50 ± 16.42 에서 훈련 후 46.65 ± 9.46 , 뒤넙다리근은 훈련 전 34.58 ± 14.44 에서 훈련 후 38.53 ± 13.88 으로 유의한 차이가 있었지만 장딴지근은 유의한 차이가 없었다(Table 6). 모든 다리 근력에서 훈련 전후 왼쪽과 오른쪽의 변화량은 유의한 차이가 없었지만, 변화율에서는 왼쪽보다 오른쪽 큰 엉덩근 2.89%, 넙다리네갈래근 20.68%, 뒤넙다리근 0.82% 더 많이 증가한 것으로 나타났다(표 7).

3. 운동 후 대퇴 근육

운동 후 왼쪽과 오른쪽 대퇴 근육-뼈 횡단면적은 압력 벨트를 착용하지 않은 왼쪽과 착용한 오른쪽의 대퇴 근육-뼈 횡단면적의 실험 전후 변화량은 유의한 차이가 없었지만 대퇴 근육-뼈 횡단면적이 실험전후 변화율에서 왼쪽보다 오른쪽이 2.70%가 더 증가한 것으로 나타났다(표 7).

IV. 고찰

국내의 물리치료 분야에서 압력벨트로 혈류를 제한을 하고 운동을 한 후 근비대와 근력향상 효과를 조사한 연구는 거의 수행되지 않았다. 혈류를 제한하는 훈련 시스템은 하지의 큰 근육군에 사용했을 때 가장 효과적이므로 혈류제한과 결합된 저항도 걷기 훈련은 근육 크기를 증가시키는데 효과적이라고 하였다(Abe 등, 2006; Jeremy 등, 2009).

Abe 등(2009)은 60~78세 성인 노인 16명을 혈류제한 걷기 그룹과 비운동 대조군으로 무작위로 배정한 후 혈류제한 걷기 그룹은 5cm 넓이의 압력 커프를 160~200mmHg로 양쪽 다리에 착용시켜 24주 동안 20분간 트레드밀을 걷게 한 후 두 그룹의 차이를 실험 6주 후에 비교하였고, 이후에는 혈류제한 걷기 그룹만 측정하였다. 넙다리 근육량은 실험 전 5.4 ± 0.6 kg에

서 실험 6주후 6.0 ± 0.6 kg로 12% 증가하였지만 ($p > .05$) 대조군에서는 어떤 변화도 관찰되지 않았다. 또한 Ozaki 등(2010)은 10주 훈련 후 걷기 훈련 대조군과 다리 혈류제한 걷기 훈련군을 비교했을 때 대조군은 변화가 없었지만 실험군은 3.1% ($p < .01$) 유의하게 근육 크기에 향상이 있었다고 하였다. 본 연구에서도 넙다리 근육-뼈 가로면적의 높은 변화가 나타났다.

전종목 등(2009)은 16명의 남자 대학생을 가압 걷기트레이닝 그룹과 다리 근육의 정맥혈류를 제한하지 않은 걷기트레이닝 그룹으로 무작위 배정하여 3주간 훈련 후 넙다리 근육 가로면적을 측정한 결과 오른쪽과 왼쪽 각각 $3.6\text{cm}^2(2.0\%)$, $2.5\text{cm}^2(1.4\%)$ 의 증가하였고, 오른쪽 무릎 굽힘력이 훈련 전 $174.9 \pm 10.9\text{Nm}$ 에서 훈련 후 $194.0 \pm 6.2\text{Nm}$, 왼쪽 무릎 굽힘력의 경우도 $162.9 \pm 7.7\text{Nm}$ 에서 $187.6 \pm 6.8\text{Nm}$ 으로 유의하게 증가하였다고 보고하였다. 또한 Abe 등(2005b)은 Kaatsu 걷기훈련군과 걷기 훈련만 실시한 대조군 각각 9명에게 3주간 1일 2회 트레드밀 걷기 훈련을 적용했을 때 근육-뼈 가로면적이 단계적으로 증가하였다 ($p < .01$). 대조군 걷기 그룹의 근육-뼈 가로면적은 훈련 기간 동안에 변화가 없었지만 Kaatsu 걷기 그룹에서 첫 주, 둘째 주 그리고 마지막 셋째 주에 각각 2.3%, 5.0% 그리고 6.0% 증가하였다. 실험 후 근육-뼈 가로면적은 Kaatsu 걷기 그룹에서 5.3% 증가하였다. 본 연구에서도 혈류제한 훈련을 실시한 결과 넙다리 근육-뼈 가로면적의 변화량이 왼쪽 8.49 ± 14.11 , 오른쪽 8.94 ± 13.24 유의하게 증가하였고, 뒤넙다리 근력도 왼쪽 3.63 ± 6.98 , 오른쪽 3.96 ± 7.40 유의하게 증가하였다. 이것은 혈류제한을 통한 저항도 운동으로 근육크기(Beekley 등, 2005; Takarada 등, 2000b, 2002)의 측면에서 기존의 훈련 방식에서 추천되는 65% 1RM 역치수준 이상의 강도(Goto 등, 2004, 2005; McCall 등, 1999)로 실시하는 훈련과 비슷한 수준 혹은 그 이상의 효과를 이끌어 낼 수 있다고 사료된다.

Takarada 등(2002)은 고강도 훈련을 하는 운동선

수들에게 혈류제한과 함께 저항훈련을 적용한 후 근육 기능을 연구하였다. 선발된 럭비 선수들 17명을 200mmHg 폐색 압력과 결합된 저항도(최대 1회 반복의 50%) 운동군(평균 25.3세) 6명, 폐색 없는 저항도 운동군(26.5세) 6명 그리고 훈련을 실시하지 않는 대조군(25.4세) 5명으로 무작위로 분류하여 무릎관절 펌근 근력 운동을 8주 동안 실시한 후 MRI 분석을 통해 무릎관절 펌근의 가로면적을 비교하였다. 혈류 제한과 함께 저항도 운동을 한 군의 넙다리 중간부의 전체 가로면적에서 훈련 이후에 약 15% 증가하였는데 이것은 훈련 전과 비교하면 유의한 차이($p=.002$)를 보여주었다. 측정된 근육 가로면적을 세부적으로 살펴보면 넙다리와 무릎관절 굽힘근은 유의한 변화가 없었지만 무릎관절 펌근의 평균 증가율은 12.3(0.8%)로 훈련 후에 유의한 차이가 있었다. 이러한 결과들은 전통적인 저항운동을 훈련시키면 근육 크기와 근력이 즉시 증가될 수 없지만(Hakkinen 등, 1987) 혈류제한과 함께 제공된 저항도 저항 운동은 운동 후에 대부분 근 비대 또는 신경 운동 적응을 일으키므로 대체로 충분히 훈련된 선수들의 근육 크기, 근력 그리고 지구력을 증가시킨다고 제시하였다. 본 연구에서도 다리 혈류제한 운동 8주 후 근육-뼈 가로면적이 왼쪽 6.22%, 오른쪽 6.46%로 나타났다. 이것은 본 연구 대상자가 규칙적인 근력강화 운동프로그램에 참여한 적이 없는 대학생으로 1RM의 40~50%의 저항도 근력 훈련으로부터 근력이 증가되었음을 확인할 수 있었으며 Burgomaster 등(2003)의 연구와도 유사한 결과를 보였다.

본 연구의 대상자와 유사한 평균 23.55세 연령의 신체 활동적인 남자 16명을 대상으로 근력과 근육 가로면적을 향상시키기 위한 혈관 폐색 근력 훈련 프로그램을 8주 동안 실시한 Laurentino 등(2007) 연구에서도 고강도 훈련군(HI=6RM)과 중등도 훈련군(MI=12RM) 모두 운동을 하는 동안에 혈류 흐름을 감소시키는 폐색 커프를 우측 넙다리의 근위 끝에 부착한 실험군과 좌측은 혈류 제한 없이 근력 훈련을 시키

는 대조군으로 사용하였다. 넙다리네갈래근 가로면적의 값을 훈련 전과 훈련 후에 측정하여 MRI로 분석했을 때 유의한 시간적인 효과를 발견하였다. 두 그룹 모두 실험 8주 후에 근 비대의 유의차가 있었지만 ($p<.05$) 운동 강도와 혈류제한 유무에 따른 차이는 증명되지 않았다. 본 연구에서도 하지의 혈류제한과 함께 1RM의 40%~50%의 부하로 운동을 적용했을 때 운동 후 근육-뼈 가로면적의 유의한 증가가 있었고, 실험 전후 변화량의 비교에서는 왼쪽은 8.49%, 오른쪽은 8.94%로 선행 논문과 마찬가지로 혈류 제한 유무에 따른 유의한 차이는 없었다. 하지만 실험 전후 변화율에서는 왼쪽보다 오른쪽이 2.70% 더 증가하였다. 이러한 결과들은 1RM의 10%~50% 훈련 부하로 혈관 폐색한 사지를 폐색하지 않은 사지와 비교했을 때 더 큰 증가가 나타난다는 이전의 연구 자료들과 의견의 차이를 보인다(Abe 등, 2005a; Ishii 등, 2005; Shinohara 등, 1998; Takarada 등, 2000b; Yasuda 등, 2005). 혈류제한 저항도 저항 훈련이 근육과 건의 기계적인 성장 효과에 관한 Kubo 등(2006)의 연구에서 혈류제한을 시킨 1RM의 20%의 저항도 근력 훈련이 혈류 제한 없는 1RM의 80% 고강도 훈련과 유사한 근 비대를 생산하지만 저항도 근력 훈련과 결합된 혈류제한 근력 훈련과 비교했을 때 근 비대가 나타나지만 고강도 근력 훈련에서는 혈관폐색 유무에 따른 영향이 없다고 하였다.

Abe 등(2010)은 젊은 남성에게 혈류제한과 함께 저항도, 단기간 순환운동을 주 3회, 8주 동안 실시한 결과 근 비대와 유산소성 능력을 향상시킨다고 하였다. 20~26세의 젊은 남성 19명을 혈류제한군(9명)과 비혈류 제한 대조군(10명)으로 무작위로 배정하여 혈류 제한군은 VO₂max의 40%와 15분, 대조군은 VO₂max의 40%와 45분으로 두 그룹의 훈련강도와 시간을 다르게 적용하였다. MRI로 측정된 근육 가로면적은 혈류제한군에서 넙다리는 훈련 전 142.3±8.7에서 훈련 후 147±9.2, 넙다리네갈래근은 훈련 전 69.5±5.4에서 훈련 후 72.6±5.3으로 증가하였지만

($p < .01$) 대조군은 근육 가로면적에 어떤 변화도 없었다. 등척성 근력도 혈류제한군에서 훈련 후 무릎관절 폼근 7.7%, 무릎관절 굽힘근에서 3.3% 유의하게 증가하였지만 대조군은 유의하지 않았다. 본 연구의 왼쪽 넙다리 근육-뼈 가로면적은 실험 전 138.64 ± 31.39 에서 실험 후 147.59 ± 7.61 , 오른쪽 근육-뼈 가로면적은 136.40 ± 35.06 에서 실험 후 144.89 ± 36.71 으로 오른쪽과 왼쪽 모두 실험 전후 비교에서 유의하게 증가하였다. 다리의 근력은 무릎관절 굽힘근은 왼쪽 10.63%, 오른쪽 11.45% 증가하였고, 무릎관절 폼근은 왼쪽 7.13%, 오른쪽 27.81% 유의하게 증가하였다. 결과적으로 근력 증가는 대상자들이 동작을 정확하게 수행할 수 있는 유지시간과 반복횟수를 기준으로 초기, 향상기, 유지기의 단계별로 부하를 증가시킨 것과 관련이 있을 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 압력벨트를 이용한 혈류제한 운동이 건강한 성인 하지 근육크기와 근력에 미치는 영향을 알아보고자 건강한 남녀 대학생 18명을 대상으로 하였다. 하지의 혈류제한 운동을 하루 30분간, 주 3회, 8주 동안에 수행한 결과 넙다리의 근육-뼈 가로면적이 유의하게 향상되었고, 왼쪽과 오른쪽 다리의 가로면적은 차이가 없었지만 8주 후에 변화량은 압력벨트를 적용한 오른쪽이 더 많이 증가하였다.

이상의 결과로 하지의 혈류제한 운동프로그램이 성인의 넙다리 근육-뼈 가로면적과 하지근력을 증가시키는데 효과적이라는 것을 확인 하였다. 앞으로 대조군을 통한 혈류제한 운동 프로그램을 적용한 연구가 폭 넓게 이루어진다면 고강도 근력운동이 힘든 노인이나 보행에 장애가 있는 환자에게 저강도로 하지근력을 향상시킬 수 있는 계기가 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 전종목, 박원일, 전박근 등. 단기간의 가압 걷기트레이닝이 심혈관 기능 및 근 기능에 미치는 영향. 한국생활환경학회지. 16(1):1-9, 2009.
- 정일규, 윤진환. 휴먼퍼포먼스와 운동생리학. 대경북스. 2006.
- Abe T, Beekley MD, Hinata S et al. Day-to-day change in muscle strength and MRI-measured skeletal muscle size during 7 days kaatsu resistance training: a case study. *Int J Kaatsu Training Res.* 1(2):71-6, 2005.
- Abe T, Charles F, Kearns SY. Muscle size and strength are increased following walk muscle. Kaatsu-walk training. *J Appl Physiol.* 100(5):1460-6, 2005.
- Abe T, Fujita S, Nakajima T et al. Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and $VO_2\max$ in young men. *J Sports Sci and med.* 9(3):452-8, 2010.
- Abe T, Ozaki H, Sugaya M et al. Effects of 42 weeks walk training with blood flow reduction on muscle size and strength in the elderly. *Sports & Exerc Sci.* 336-341, 2009.
- Abe T, Kando M, Kawakami Y et al. Prediction equations for body composition of Japanese adults by B-mode ultrasound. *Am J Hum Biol.* 6(2):161-170, 1994.
- Abe T, Keams C, Sato Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle. kaatsu-walk training. *J Appl Physiol.* 100(5):1460-1466, 2006.
- Abe T, Yasuda MT, Sato Y et al. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily Kaatsu resistance training. *Int J KAATSU Training Res.* 1(1):6-12, 2005.
- Beekley MD, Sato Y, Abe T. KAATSU-walk

- training increases serum bone-specific alkaline phosphatase in young men. *Int J Kaatsu Training Res.* 1(2):77-81, 2005.
- Bemben MG, Sato Y, Abe T. The use of anthropometry for assessing muscle size. *1(1):33-36*, 2005.
- Bigland-Ritchie B, Woods JJ. Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle Nerve.* 7(9):691-699, 1984.
- Black D, Vora J, Hayward M, Marks R. Measurement of subcutaneous fat thickness with high frequency pulsed ultrasound: Comparisons with a caliper and a radiographic technique. *Clin Phys Physiol Mea.* 9(1):57-64, 1988.
- Borkan GA, Hulth DE, Cardarelli J et al. Comparison of ultrasound and skinfold measurements in assessment of subcutaneous and total fatness. *Am J Phys Anthropol.* 58(3):307-313, 1982.
- Burgomaster KA, Moore DR, Schofield LM et al. Resistance training with vascular occlusion-metabolic adaptations in human muscle. *Med Sci Sports Exerc.* 35(7):1203-1208, 2003.
- De koning FL, Binkhorst RA, Kauer JMG et al. Accuracy of an anthropometric estimate of the muscle and bone area in a transversal cross-section of the arm. *Int J Sports Med.* 7(5):246-249, 1986.
- Gato K, Ishii N, Kizuka T et al. The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. *Med Sci Sports Exerc.* 37(6):955-63, 2005.
- Gato K, Nagasawa M, Yanagisawa O et al. Muscular adaptations to combinations of high and low intensity resistance exercises. *J Strength Cond Res.* 18(4): 730-737, 2004.
- Hakkinen K, Komi PV, Alen M et al. EMG, muscle fiber and force production characteristics during 1 year training period in elite weight-lifters. *Eur J Appl Physiol.* 56(4):419-427, 1987.
- Heyward VH. *Advanced fitness assessment & exercise prescription.* Human Kinetics, 2010.
- Hurley BF, Seals DR, Ehsani AA et al. Effect of high-intensity strength training on cardiovascular function. *Med and Sci in Sports Exer.* 16(5):483-488, 1984.
- Ishii N, Madarne H, Odagiri K et al. Circuit training without external load induces hypertrophy in lower-limb muscles when combined with moderate venous occlusion. *Int J Kaatsu Training Res.* 1(1):24-28, 2005.
- Ivan D. The arm circumference as a public health index of protein-calorie malnutrition of early childhood. *J Tropical Pediatr.* 15(4):177-260, 1969.
- Jeremy PL, Thomas BS & JP. The use of occlusion training to produce muscle hypertrophy. *Strength & Conditioning J.* 31(3):77-84, 2009.
- Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 34(2):364-380, 2002.
- Kraemer WJ, Ratamess NA. *Undamentals of resistance training: progression and exercise prescription.* *Med Sci Sports Exerc.* 36(4):674-688, 2004.
- Kubo K, Komuro T, Ishiguro N et al. Effects of low-load resistance training with vascular occlusion on the mechanical properties of muscle and tendon. *J Appl Biomech.* 22(2):112-119, 2006.
- Laurentino G, Ugrinowitsch C, Aihara AY et al. Effects of strength training and vascular occlusion. *Int J Sports Med.* 29(8):664-667, 2008.

- Matt Roberts. *Fitness for life manual* (paperback). Dorling Kindersley. 2002.
- McCall GE, Byrnes WC, Fleck SJ et al. Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Can J Appl Physiol.* 24(1):96-107, 1999.
- Ozaki H, Sakamaki M, Yasuda T et al. Increases in thigh muscle volume and strength by walk training with leg blood flow reduction in older participants. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 66(3): 257-263, 2010.
- Powers SK, Howley ET. *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance*(4th Ed). McGraw-Hill. 2001.
- Sato Y. The history and future of KAATSU training. *Int J Kaatsu Training Res.* 1(1):1-5, 2005.
- Shinohara M, Kouzaki M, Yoshihisa T et al. Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *Eur J Appl Physiol.* 77(1-2):189-191, 1998.
- Sinha-Hikim L, Cornford M, Gaytan H et al. Effects of testosterone supplementation on skeletal muscle fiber hypertrophy and satellite cells in community-dwelling older man. *J Clin Endocrinol Metab.* 91(8):3024-3033, 2006.
- Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Proliferations of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc.* 32(12):2035-2039, 2000.
- Takarada Y, Takazawa H, Sato Y et al. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J Appl Physiol.* 88(6):2097-2106, 2000.
- Takarada Y, Sato Y, Ishii N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol.* 86(4):308-314, 2002.
- Weiss L. The use of B-mode ultrasound for measuring the thickness of skeletal muscle at two upper leg sites. *J Orthop Sports Phys Ther.* 6:163-167, 1984.
- Weiss L, Clark F. Ultrasonic measurement of upper-arm skeletal muscle thickness. *J Sports Med Phys Fitness.* 27(1):128-33, 1987.
- Yasuda T, Abe T, Sato Y et al. Muscle fiber cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU-resistance training. *Int J Kaatsu Training Res.* 1(2):65-70, 2005.