

Effects of Exhaustive Exercise and Aged Garlic Extract Supplementation on Weight, Adipose Tissue Mass, Lipid Profiles and Oxidative Stress in High Fat Diet Induced Obese Rats

Hyun Mi Lee, Dae Yun Seo, Sang Ho Lee and Yeong Ho Baek*

Department of Physical Education, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

Received November 19, 2010 / Accepted December 12, 2010

The purpose of this present study was to investigate the effects of long-term treadmill running and aged garlic extract supplementation on weight, adipose tissue mass, lipid profiles and oxidative stress after exhaustion in high fat diet-induced obese rats. Thirty male Sprague-Dawley rats (3 weeks old) were used as subjects. High fat diets were fed to all subjects for 6 weeks in order to induce obesity. The subjects were divided into five groups - N (normal diet group), HD (high fat diet group), E (exercise group), EA (exercise with AGE diet group) and A (AGE diet group). Aerobic exercise was performed through treadmill running and AGE at a dosage of 2.86 kg/g was administered to rats 30 min before every exercise for 4 weeks. After 4 weeks, all groups completed acute treadmill running (speed increasing gradually to 25 m/min, 15% uphill grade) until exhaustion. Immediately after exhaustive treadmill exercise, the weight, adipose tissue mass, lipid profiles and oxidative stress of the rats were assayed. At the end of 6 weeks of high fat diets, body weight and body weight gain were significantly higher in the high fat diet groups than in the normal diet group ($p < 0.001$). At the end of treadmill exercise with AGE intake for 4 weeks, body weight gain, visceral and epididymal fat of the E and EA groups were significantly decreased compared to other groups ($p < 0.05$). There were no significant differences in gastrocnemius and soleus. T-C, HDL-C, TG and LDL-C were not significant in any of the groups. TBARS was significantly lower in the A group than in the E group ($p < 0.05$). These results indicated that body weight gain, visceral and epididymal fat decreased in the E and EA groups, and TBARS levels were lower in the A group than the E group. Regular aerobic exercise intervention with AGE supplementation may also modify the adipose weight and improve the oxidant stress in obese rats.

Key words : High fat diet, obesity, treadmill exercise, AGE, exhaustive exercise, lipid profiles, TBARS

서 론

신체활동이 부족한 삶은 비만을 유발할 가능성이 높으며 [20,39], 최근 교육과학기술부[41]에서 초, 중, 고교생을 대상으로 건강검사를 실시한 자료에 의하면 10명 가운데 1명꼴로 비만인 것으로 나타났다고 보고하였으며, 이러한 비만은 혈중 지질이상과 산화적 스트레스를 유발할 수 있는 요인들과 밀접한 관련이 있다[44]. 또한, 과도한 지방의 축적으로 인하여 증가된 산화적 스트레스는 대사증후군의 병리학적인 기전에 중요한 역할을 하며[16], 심장질환과 type 2 당뇨병을 일으키는 위험 요소를 가지고 있어[6,10], 체중과 지방의 감소를 통하여 비만을 개선시키는 방법들에 대한 필요성이 간주되고 있다. 체중을 감소시키기 위해 약물투여와 수술뿐만 아니라 식이요법, 운동, 행동수정 요법들을 병행할 경우 좋은 효과를 나타내며[27], 이중 규칙적인 운동은 체중, 고지혈증과 산화적 스트

레스를 감소시켜 비만으로 인해 일어날 수 있는 질병들로부터 방어한다[33,37]. 또한 1회성 고강도의 운동을 실시하면서 항산화 물질을 섭취시켰을 때 지질과산화물질의 생성이 감소되고, 항산화 물질의 생성이 증가되는 것으로 보고되며[15], 이에 따라 식이와 비타민, 미네랄과 같은 항산화 보조제 식품들이 산화적 스트레스와 신체의 항산화 기능에 생물학적으로 어떤 효과와 유효성을 가지는가에 대한 연구들이 많이 이루어지고 있다[26,51].

천연물을 활용한 항비만 소재 개발에 관한 결과를 살펴보면 작용기전에 따라 지방의 소화 및 흡수를 저해하는 물질로서 키토산, 플라보노이드 등이 있으며[56], 열 발생을 유도하여 지방 축적을 억제하는 물질로서 고추의 캡사이신, 녹차의 카테킨, 레티노익산 등이 있다[18]. 그리고 지질대사를 조절하는 카르니틴이 있으며, 생약재로는 지실, 결명자, 소나무잎, 천궁 등이 체중조절에 효과가 있다는 결과가 보고되었다[36].

마늘은 폴리페놀(polyphenol)과 플라보노이드(flavonoids)가 다량 함유되어 있어 이는 자유기 포착(free radical scavenging)능을 통한 항산화 작용[1,3]과 혈중지질[7,32]에 대한 연구

*Corresponding author

Tel : +51-510-1647, Fax : +82-51-515-1991
E-mail : ds-cook@hanmail.net

는 많이 보고되고 있으며, 엘리트 선수엘리트 선수들을 대상으로 2주간 마늘진액(aged garlic extract; AGE)을 섭취시킨 후 고강도 운동을 하였을 경우 염증성 사이토카인(inflammatory cytokines)과 산화적시스템(oxidative stress factor)이 유의하게 감소하였다고 하였다[48]. 그리고 4주간 AGE를 운동 30분 전 구강 투여한 쥐의 가지미근과 대퇴근을 분석한 결과 glucose metabolism에 효과적이라고 보고하였으며[42], 중년여성을 대상으로 12주간 AGE를 섭취시킨 결과 total-cholesterol (TC)와 low lipoprotein-cholesterol (LDL-C)를 유의하게 감소시킨다고 하였지만[4], 고지방식으로 비만을 유도한 쥐에 마늘 섭취와 운동을 병행한 연구에 대한 자료는 미비한 실정이다. 따라서 운동과 AGE섭취는 비만개선과 더불어 산화적 스트레스를 효과적으로 방어하는 것으로 생각이 된다. 이에 본 연구는 고지방식으로 유도된 비만흰쥐에 유산소운동 후 탈진적 운동이 마늘진액 섭취가 체중과 체지방감소로 인하여 혈중지질의 개선과 비만으로 인한 산화적 스트레스인자에 대한 효과를 알아보고자 한다.

재료 및 방법

실험동물 및 실험설계

본 연구에서 사용한 실험동물은 Sprague-Dawley (SD)계 3주령 수컷 흰쥐 30마리를 대한바이오링크(충청도, 한국)로부터 분양을 받았으며, 사육cage에 2마리씩 사육하였으며, 사육실의 온도는 $22.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$, 상대습도는 $50 \pm 10\%$ 로 조절하고, 명암주기는 12시간 간격으로 유지하여 1주일간 적응시켰다. 체중측정은 동물측정용 분석용 전자저울(A&D Company Limited CE, Japan)로 측정하였다.

실험동물은 6주간 고지방식으로 비만을 유도하여 각 군별로 체중이 유사하도록 무선배정법을 이용하여 6마리씩 정상식이군(normal diet group, N), 고지방식이군(high fat diet, HD), 운동군(exercise group, E), 운동마늘섭취군(exercise with AGE diet, EA), 마늘섭취군(AGE diet group, A)으로 분류하였으나, 실험 마지막날 운동과 마늘섭취군(EA)의 1마리는 혈액 채취를 하지 못하여 제외시켰다. 6주간 고지방식으로 비만을 유도한 후 4주간 고지방식을 유지하면서 트레드밀 운동과 마늘진액섭취를 운동 30분전에 구강 투여하였으며, 실험이 끝나는 4주 뒤, 쥐 트레드밀을 이용하여 최대 속도 5 m/min, 경사 0%에서 점진적으로 증가하여 최고 속도 25 m/min, 최대 경사 15%로 한정하여 더 이상 운동을 지속할 수 없는 시점까지 탈진적 운동을 실시하였다[5,31]

식이조성과 훈련방법

6주간 고지방식이사료는 단백질 20%, 탄수화물 35%, 지방 45% (D12541, research diet, USA)를 섭취시켰으며, 경북의성에 생산된 생마늘을 숙성시켜 진공에서 저온 농축을 시켜

만들었으며, 농축액의 당도는 65brix로 액체 상태로 사용하였다. AGE섭취 그룹에는 체중 1 kg당 2.86 g을 운동 30분 전에 경구 투여하였으며[42], AGE 비섭취그룹은 동일한 스트레스를 적용하기 위해 체중 1 kg당 2.86 g의 distilled water를 투여하였다.

본 연구의 훈련 집단은 1주일 전 15 m/min 속도로 30분간 트레드밀 적응훈련을 하였다(Pro-Jog EJ36GLE, Korea Hi-Tech). 적응 훈련이 끝난 후 1주·2주차에는 15 m/min 속도로 45분, 60분, 3주·4주차에는 20 m/min 속도로 30분, 45분 실시하였다. 훈련은 주 5회, 총 4주 동안 실시하였으며[47], 고강도 탈진적 운동을 실시하였다[5,31].

분석시료수집

실험동물은 식이 섭취 조건을 동일하게 하기 위해 희생시키기 전 12시간 동안 절식시킨 후 에테르로 마취한 다음 복부를 절개하여 1회용 주사기를 이용하여 복부 대정맥에서 혈액을 채취하였다. 채취된 혈액은 SST tube에 담은 후 4°C 로 1,500 rpm에 30분간 원심분리를 하여 혈청을 분리하였다. 채혈한 다음 부고환지방, 복부지방, 간과 근육을 분리해 낸 후 각각의 무게를 측정 후 -70°C 에 보관 후 필요 시에 분석하였다.

혈중지질 분석

TG, T-C, HDL-C 및 LDL-C의 분석은 Hitachi 7150 (Tokyo, Japan)을 사용하여 효소법으로 분석 하였으며, TG는 Sicdia L TG reagent를 사용하였고, T-C는 Sicdia L T-CHO reagent를 사용하여 검체 및 표준의 흡광도를 측정하여 파장 500 nm에서 측정하고, 생성된 자색 퀴논(qinone)색소의 흡광도를 측정하여 농도를 구하였다. HDL-C는 측정시약 Wako L-Type HDL-C, LDL-C는 Wako L-Type LDL-C를 사용하여 검체 및 표준의 흡광도를 각각 파장 593 nm, 600 nm에서 측정하고, 생성된 자색 퀴논 색소의 흡광도를 측정하여 농도를 구하였다.

산화적 스트레스 분석

혈청의 thiobarbiturate reactive substances (TBARS) 함량은 assay kit (zeptomatrix, 0801192, USA)를 이용하여 Ohkswa [45] 등의 방법으로 분석하였다. 혈청 TBARS 수준 측정은 혈청 100 ul에 sodium dodecyl sulfate (SDS) 용액 100 ul를 혼합한 후 4 ml color reagent 가한 후 shaking하였다. Water bath에서 100°C , 1시간 동안 가열한 후 얼음 속에서 10분간 방치한 후 원심분리($1,600 \times g$, 4°C , 10분)하여 30분간 실온에서 방치한 후 150 ul를 96-well plate에 취한 후 spectrometer reader를 이용하여 흡광도 450nm에서 측정 후 TBARS의 농도는 standard curve를 이용하여 농도를 산출하였다.

자료처리

자료는 SPSS Ver 18.0 통계 package를 이용하여, 각 변인들 간에 평균 및 표준편차를 산출한 후 집단 간 one-way ANOVA를 실시하였고, 사후검증은 Scheffe방법을 이용하였으며, 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

결 과

체중의 변화

비만유도 하기 전 초기 체중은 Table 1과 같다. 정상군은 114.7±6.48 g이고, 고지방식이군은 116.5±8.38 g으로 집단 간 유의한 차이는 없었다. 6주 후의 체중의 변화에서 정상군은 420.6±23.42 g이며, 1주일에 51.0±3.06 g씩 체중이 증가하였다. 고지방식이군은 471.5±27.96 g으로 1주일에 59.1±4.57 g씩 증가하여 집단 간 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$).

비만이 유도된 집단을 4그룹으로 나누었으며, 체중의 변화는 Table 2와 같다. 비만이 유도된 후 고지방식이군, 운동군,

Table 1. Body weight, body weight gain in high fat diet-induced obese rats for 6 wk

Groups	N (n=6)	HD (n=23)
Initial body weight (g)	114.73±6.48 ^{NS}	116.56±8.38
Final body weight (g)	420.66±23.42	471.56±27.96 ^{***}
Weight gain (g/wk)	51.00±3.06	59.18±4.57 ^{***}

Values are M±SD.

NS: not significant.

N: Normal diet, HD: High fat diet group

***Significant difference at $p<0.001$

Table 2. Body weight, body weight gain in high fat diet-induced obese rats fed with exercise and AGE diet for 4 wk

Groups	HD (n=6)	E (n=6)	EA (n=5)	A (n=6)
Initial body weight (g)	526.61±20.31 ^{NS}	524.80±21.42	521.52±17.68	523.93±22.31
Final body weight (g)	640.46±16.85 ^a	494.13±26.96 ^b	476.44±27.25 ^b	622.16±21.27 ^a
Weight gain (g/wk)	28.48±5.43 ^b	-7.66±8.92 ^a	-11.28±8.56 ^a	24.55±3.60 ^b

Values are M±SD NS: not significant.

HD: High fat diet group, E: Exercise group, EA: Exercise group with AGE diet Group, A: AGE diet group

^{a,b}Data are significantly different analyzed with one-way ANOVA followed by Scheffe multiple range test ($p<0.05$).

Table 3. Muscle mass and body fat

Group	HD (n=6)	E (n=6)	EA (n=5)	A (n=6)
Visceral fat (g)	24.40±8.47 ^a	12.75±4.96 ^b	8.32±3.42 ^b	21.58±6.39 ^a
Epididymal fat (g)	20.28±3.12 ^a	9.33±2.29 ^c	7.76±1.00 ^c	16.61±3.35 ^b
Soleus muscle (g)	0.46±0.10 ^{NS}	0.48±0.07	0.42±0.04	0.51±0.16
Gastrocnemius (g)	5.41±0.57 ^{NS}	4.48±0.59	5.50±1.00	5.56±0.58

Values are M±SD.

NS: not significant

HD: High fat diet group, E: Exercise group, EA: Exercise group with AGE diet Group, A: AGE diet group

^{a,b,c}Data are significantly different analyzed with one-way ANOVA followed by Scheffe multiple range test ($p<0.05$).

운동마늘섭취군, 마늘섭취군 간의 체중은 유의한 차이가 없었다. 실험4주 후 체중의 증가에서 고지방식이군은 28.4±5.43 g, 마늘섭취군은 24.5±3.60 g으로 증가하였으나, 운동군과 운동마늘섭취군은 각각 -7.6±8.92 g, -11.2±8.56 g으로 감소하여 고지방식이군, 마늘섭취군보다 유의하게 감소하였다($p<0.05$).

근육량 및 지방량

근육량 및 지방량의 결과는 Table 3와 같다. 근육에서 가자미근과 비복근은 그룹간 유의한 차이가 없었다. 지방량에서 복부지방은 운동마늘섭취군과 운동군이 고지방식이군과 마늘섭취군보다 유의하게 낮게 나타났다($p<0.05$). 부고환지방은 운동마늘섭취군과 운동군이 고지방식이군과 마늘섭취군보다 유의하게 낮았으며($p<0.05$), 마늘섭취군이 고지방식이군보다 유의하게 낮았다($p<0.05$).

혈중지질 및 TBARS

혈중지질 및 TBARS의 결과는 Table 4와 같다. 혈중지질에서 T-C, HDL-C, TG, LDL-C은 집단간 유의한 차이가 없었다. TBARS는 마늘섭취군이 운동군보다 유의하게 낮았다($p<0.05$).

고 찰

비만은 다양한 질병의 원인으로서, 신체의 에너지 요구량보다 더 많은 에너지를 섭취하여 체지방이 축적된 상태를 의미하며, 지속적으로 다량의 지방이 지방세포 내에 축적이 되면, 지방세포의 수와 그 크기가 증가하게 되고[28,29], 여러 가지 병적 증상을 동반하기 때문에 오래 전부터 광범위하게 연구가 진행되고 있다. 특히 고지방식이는 지방을 체내에 축적시켜

Table 4. Blood lipids and TBARS

Group	HD (n=6)	E (n=6)	EA (n=5)	A (n=6)
T-C (mg/dl)	64.85±19.16 ^{NS}	57.22±18.82	66.28±23.22	74.25±17.56
HDL-C (mg/dl)	13.03±4.16 ^{NS}	14.45±7.85	20.91±12.53	20.09±8.47
TG (mg/dl)	74.78±21.59 ^{NS}	64.44±26.54	73.24±22.02	69.12±12.72
LDL-C (mg/dl)	42.85±11.51 ^{NS}	34.81±7.78	34.70±6.90	43.52±7.41
TBARS (nmol/ml)	23.05±3.99 ^{ab}	32.33±9.98 ^a	19.48±10.74 ^{ab}	15.79±7.51 ^b

Values are M±SD.

NS: not significant

N: Normal diet, HD: High fat diet group, E: Exercise group, EA: Exercise group with AGE diet Group, A: AGE diet group

^{a,b}Data are significantly different analyzed with one-way ANOVA followed by Scheffe multiple range test ($p < 0.05$).

비만을 유도하는 연구에 많이 사용되고 있고[25], 본 연구에서도 이와 동일한 방법으로 실시하였다.

본 연구의 결과 6주간 고지방식을 실시한 군에서는 정상 식이를 한군보다 체중이 유의하게 증가하였으며, 주별 체중 증가량, 부고환지방과 복부지방의 증가도 유의하게 높게 나타났다. 이러한 결과는 6주간 고지방식이 체지방량의 증가로 인하여 비만을 효과적으로 유도하였다고 생각이 된다.

비만을 유도한 후 4주간 트레드밀 운동과 운동 30분전 마늘진엑섭취를 구강 투여한 후 탈진적 고강도를 실시한 결과 체중의 변화는 운동과 마늘섭취군, 운동군, 정상식이군이 다른 군에 비해 유의하게 낮게 나타났다. 그리고 체중의 증가량은 운동과 마늘섭취군과 운동군이 유의하게 감소하여 항비만 효과를 보였다. 이러한 결과는 지속적인 유산소운동이 체중의 감소에 영향을 준 것으로 생각이 되며, 마늘에 다량 함유되어 있는 폴리페놀과 플라보노이드성분이 식이조절을 하는 랩틴과 아디포넥틴에 영향을 의한 것으로 사료되지만, 마늘만 섭취한 군에서 체중의 감소가 나타나지 않은 것은 단지 섭취만으로도 효과보다 운동을 병행했을 경우에 식이조절 호르몬의 활동이 높아진 것으로 생각이 되며, 이러한 호르몬을 분석하였다면 좀 더 정확한 기전을 설명할 수가 있을 것으로 사료된다.

고지방식에 의해 비만이 유도되면 지방세포들의 수와 크기가 현저하게 증가한다[28,29]. 본 연구에서도 고지방식이군은 복부지방, 부고환 지방량의 다른 군에 비해 유의하게 높게 나타남으로 체중이 유의하게 증가되었다는 것을 확인할 수 있었으며, 복부지방은 운동과 마늘섭취군이 가장 유의하게 낮았으며, 부고환지방은 운동과 마늘섭취군과 운동군이 마늘섭취군과 고지방식이군에 비해 유의하게 낮게 나타났다. 이것은 지속적인 유산소운동의 효과[53]와 마늘섭취[14]를 병행함으로써 체중이 감소한 것은 체지방량의 감소에 의한 것으로 확인할 수 있었으며, 체지방감소로 인한 항비만 효과에 미치는 인자들을 추후 분석할 필요가 있는 것으로 사료된다.

혈중지질 이상은 과도한 체지방량의 증가로 인하여 많이 유발이 되며, 이러한 증상들을 효과적으로 치료하기 위해 식이요법과 운동요법을 실시한다. 본 연구에서 트레드밀 운동과 마늘진엑섭취에 따른 혈중지질의 변화에서는 그룹간 유의한

차이가 나타나지 않았다. 그러나 지속적인 운동의 효과로 혈중 T-C, TG, LDL-C를 유의하게 감소시킨다고 하였으나[54], 본 연구에서는 운동군이 TG는 다른 군에 비해 낮았으나 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그리고 마늘의 지질 대사 개선 효과에 대한 많은 연구들이 보고되고 있지만[30,40] 본 연구에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 마늘에 함유되어 있는 식이 섬유와 폴리페놀은 소장에서 담즙산, 콜레스테롤과 결합하여 변으로의 배설을 증가시키고, 간에서 콜레스테롤로부터 담즙산 합성을 증가시켜 혈중지질수준이 저하되는 것으로 알려져 있다[2,38]. 또한 마늘의 유효성분으로 추정되는 물질인 알리린은 그 자체가 혈중 지질 저하효과를 가지고 있어[22] 사람과 흰쥐의 혈청 중에 함유된 콜레스테롤 및 중성지방 등의 함량을 감소시키고 죽상동맥경화증(atherosclerosis)의 발생을 억제시키는 것으로 보고 되고 있으나, 본 연구에서는 혈중지질의 유의한 결과를 확인할 수 없었다.

비만으로 인하여 산화적 스트레스인자가 높게 나타나는 이유는 지방 세포내 수분이 정상인에 비해 산소용해도가 낮을 뿐만 아니라 세포내 혈액공급이 원활하지 않기 때문인데[21], 이러한 세포내 환경으로 인해 세포내 미토콘드리아에서 더 많은 활성산소가 생성되는 것으로 보고되고 있다[19]. 뿐만 아니라 비만의 경우 정상인에 비해 지방세포의 지질산화가 더 많아 지방세포의 괴사비율이 정상인에 비해 더 높으며[9], 이렇게 괴사된 지방세포로 대식세포가 몰려들어 괴사한 세포를 제거하는 과정에서 oxidant를 생성하기 때문에 더욱 산화스트레스가 높은 것으로 보고되고 있다[23]. 또한 산화스트레스가 높은 또 하나의 이유는 비만인의 지방세포에 세포질이 적기 때문에 산화스트레스를 억제하는 Superoxide dismutase (SOD)와 같은 항산화 물질이 부족하여 발생된 산화스트레스를 효과적으로 제거하지 못하기 때문이다[43]. 이러한 기전을 효과적으로 개선하기 위해 실시한 본 연구의 결과 마늘섭취군이 운동군보다 유의하게 낮게 나타났다.

지질과산화물을 측정하는 방법으로는 MDA와 TBARS를 측정하는 방법이 있는데, MDA는 지질과산화 산물 중 가장 많이 형성되는 물질로서 TBA와 반응시켜서 측정한다. 그러나 TBA는 MDA뿐만 아니라 다른 종류의 지질과산화물과도 반응하

므로 TBA와 반응할 수 있는 모든 물질을 TBARS로 하여 측정한다. 따라서 분광흡광광도계로 TBA에 의한 지질과산화물의 측정에 MDA보다 TBARS가 더 쉽게 측정되기 때문에 TBARS량 측정법이 더 많이 이용된다[49].

규칙적이고 적당한 운동은 신체조직에 자연적인 자극을 주어 생리적 기능 저하시연, 스트레스 해소 및 혈중지질을 감소하여 긍정적인 효과를 주지만, 격렬한 운동은 신체의 대사적 스트레스를 증가시켜 항산화에 의한 방어체계보다 자유기의 활성이 증가되면서 세포막에서 불포화지방산과 반응하여 새로운 자유기를 형성하고, 산소의 존재 하에서 proxy radical은 연쇄반응을 일으켜 지질과산화를 일으키게 된다[46]. 또한 고강도 운동은 전자 유입을 증가시켜 활성산소의 양을 증가시킴에 따라 생체막의 투과성이 증대되며, 운동성 스트레스 시 산화촉진제와 산화억제간의 균형을 이루지 못하는 상황에서 칼슘의 항상성이 무너져 근세포막이 손상될 수 있으며[52], AT (anaerobic threshold) 수준 이상의 운동 강도는 산화적 스트레스를 증가시켜 지질과산화를 증가시킨다[34].

항산화제 섭취와 운동으로 인한 산화적 스트레스와의 관계에 대한 선행연구에서 비타민 E는 운동으로 야기된 산화적 스트레스를 감소시킨다고 하였으며[52], 비타민 C 섭취 후 지질과산화 정도가 경감되었고[17], 장기간의 부추식은 ICR마우스의 간과 피부조직에서 지질과산화 및 단백질 산화를 유의적으로 억제시켰다[33]. 마늘 또한 식이 섬유와 폴리페놀이 풍부하여 활성산소종(ROS)을 제거하고, 지질과산화물 형성과 LDL의 산화저해능력이 높다고 하였으며, 항산화 체계를 활성화시키는 것으로 알려져 있다[8].

선행연구에서 Dillson 등[11]은 흡연인에게 숙성된 마늘(AGE)을 14일간 섭취시킨 결과 산화적 스트레스가 감소되었고, 흰 쥐를 대상으로 마늘분을 사료에 혼합하여 4주간 섭취시킨 결과 TBARS농도의 경우 운동군이 다른 집단보다 높게 나타났다[55]. 또한 관상동맥질환환자에게 마늘 추출물을 6개월 동안 섭취시킨 결과 MDA가 유의하게 감소하였으며[12], 이는 마늘에 함유되어 있는 알리신 성분을 섭취하게 되면 TBARS와 MDA와 같은 지질과산화물의 억제와 동시에 항산화 효소의 활성을 증가시킨다[11]. 이러한 결과는 고강도의 탈진적 운동으로 산화적 스트레스가 증가되었지만, 마늘을 섭취함으로써 마늘에 함유되어 있는 항산화 물질들이 방어하여 지질과산화를 감소시킨 것으로 생각되며, 마늘의 섭취는 지질과산화를 억제시킬 수 있는 보조물의 역할을 할 수 있을 것으로 사료된다.

이와 같이 고지방식이로 비만을 유도한 쥐에 4주간 규칙적인 운동과 운동 30분 전 AGE섭취 후 고강도의 탈진적 운동을 실시한 결과 운동군과 운동마늘군에서 체중과 체지방량이 감소한 것을 확인할 수 있었으며, 산화적 스트레스는 마늘섭취군에서 유의한 효과를 나타낼 수 있었다. 따라서 운동만으로 비만을 개선시키는 방법 보다는 폴리페놀과 플라보노이드가 다량 함유되어 마늘 섭취를 병행한다면 체중의 감소와 더불어

산화적 스트레스를 감소시킴으로써 항비만의 효과를 나타낼 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2009년 부산대학교 박사후 연수지원사업에 의하여 연구되었음.

References

- Ahn, Y. M. 2004. Effects of allium vegetable intake on blood glucose levels and antioxidative activity in streptozotocin induced diabetic rats. Duksung Woman's University.
- Arjmandi, B. H., J. Ahn, S. Nathani, and R. D. Reeves. 1992. Dietary soluble fiber and cholesterol affect serum cholesterol concentration, hepatic portal venous short-chain fatty acid concentration and fecal sterol excretion in rats. *J. Nutr.* **122**, 246-253.
- Bae, G. W. 2009. Effects of black garlic intake on exhaust variables in blood, immunoglobulin, liver function and antioxidants after the maximal exercise. Keimyung University.
- Ban, H. N. 2010. The effects of 12 weeks circuit training and black garlic intake on body composition, lipid profiles and C-reactive protein and bone density in middle-aged women. *MS Thesis*. Pusan National University Physical Education.
- Brooks, G. A. and T. P. White. 1978. Determination of metabolic and heart rate responses of rats to treadmill exercise. *J. Appl. Physiol.* **45**, 1009.
- Cefalu, W. T., J. Ye, A. Zuberi, D. M. Ribnick, I. Raskin, and Z. Liu. 2008. Botanicals and the metabolic syndrome. *Am J. Clin. Nutr.* **87**, 481-487.
- Choi, S. U. 2007. Effects of Diaphragm Breathing and Garlic Powder Intake on Body Composition, Cardiopulmonary Function, Blood Lipids, Immunoglobulin and Adiponectin in Middle-aged Male smokers. Pusan National University.
- Chung, L. Y. 2006. The antioxidant properties of garlic compounds: allyl cysteine, allicin, and allyl disulfide. *J. Med. Food* **9**, 205-213.
- Cinti, S., G. Mitchell, G. Barbatelli, I. Murano, E. Ceresi, E. Faloia, S. Wang, M. Fortier, A. S. Greenberg, and M. S. Obin. 2005. Adipocyte death defines macrophage localization and function in adipose tissue of obese mice and humans. *J. Lipid Res.* **46**, 2347-2355.
- Dandona, P., A. Aljada, A. Chaudhuri, P. Mohanty, and R. Garg. 2005. Metabolic syndrome: a comprehensive perspective based on interactions between obesity, diabetes, and inflammation. *Circulation* **111**, 1448-1454.
- Dillson, S. A., G. M. Low, D. Billington, and K. Rahman. 2002. Dietary supplementation with aged garlic extract reduces plasma and urine concentrations of 8-iso-prostaglandin F (2-alpha) in smoking and nonsmoking men and women. *J. Nutr.* **132**, 163-170.
- Dudak, G., J. Suliburska, and D. Papek-Musialik. 2008.

- Effects of shorts-term garlic supplementation on lipid metabolism and antioxidant status in hypertensive adults. *Pharmacol. Rep* **60**, 163-170.
13. Durstine, J. L., P. W. Grandjean, P. G., Davis, M. A. Ferguson, N. L. Alderson, and K. D. Dubose. 2001. Blood lipid and lipoprotein adaptation to exercise. *Sports Medicine* **31**, 1033-1062.
 14. Elkayam, A., D. Mirelman, E. Peleg, M. Wilchek, T. Miron, A. Rabinkov, M. Oron-Herman, and T. Rosenthal. 2003. The effects of allicin on weight in fructose-induced hyperinsulinemic, hyperlipidemic, hypertensive rats. *Am. J. Hypertens.* **16**, 1053-1056.
 15. Elosua, R., L. Molona, M. Fito, A. Arquer, J. L. Sanchez Quesada, M. I. Covas, J. Ordonez-Lianos, and J. Marrugat. 2003. Response of oxidative stress biomarkers to a 16-week aerobic physical activity program, and to acute physical activity in healthy young men and women. *Atherosclerosis* **167**, 332-334.
 16. Furukawa S., T. Fujita, M. Shimabukuro, M. Lwaki, Y. Yamada, Y. Nakajima, O. Nakayama, M. Makishima, M. Matsuda, and I. Shimomura. 2004. Increased oxidative stress in obesity and its impact on metabolic syndrome. *J. Clin. Invest.* **114**, 1752-1761.
 17. Goldberg, L., D. L. Elliot, R. W. Schultz, and F. E. Kloster. 1984. Changes in lipid and lipoprotein levels after weight training. *Am. J. Med* **252**, 504-506.
 18. Griffiths, D. W. 1986. The inhibition of digestive enzymes by polyphenolic compounds. *Adv. Exp. Med Biol.* **199**, 509-516.
 19. Guzy, R. D. 2005. Mitochondrial complex III is required for hypoxia-induced ROS production and cellular oxygen sensing. *Cell Metab* **1**, 401-408.
 20. Hamburg, N. M., C. J. McMackin, and A. L. Hung. 2007. Physical inactivity rapidly induces insulin resistance and microvascular dysfunction in healthy volunteers. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* **27**, 2650-2656.
 21. Hosogai, N. 2007. Adipose tissue hypoxia in obesity and its impact on adipocytokine dysregulation. *Diabetes* **56**, 901-911.
 22. Hyun, J. J. and M. J. Choi. 2002. Effect of 1% garlic powder on serum and liver lipid and plasma amino acid concentration in rats fed cholesterol diet. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **31**, 98-103.
 23. Kanda, H., S. Tateya, Y. Tamori, K. Kotani, K. Hiasa, R. Kitazawa, S. Kitazawa, H. Miyachi, S. Maeda, K. Egashira, and M. Kasuga. 2006. MCP-1 contributes to macrophage infiltration into adipose tissue, insulin resistance, and hepatic steatosis in obesity. *J. Clin. Invest.* **116**, 1494-1505.
 24. Kim, H. R., S. T. Jeong, B. H. Lee, and D. J. Jeong. 2001. The protective effect of antioxidants supplementation and exercise intensity on the lipid peroxidation and the activities of antioxidative enzymes. *Korean J. Phy. Edu.* **40**, 661-674.
 25. Kim, J. Y., L. A. Nolte, P. A. Hansen, D. H. Han, K. Ferguson, P. A. Thompso, and J. O. Holloszy. 2000. High-fat diet-induced muscle insulin resistance: relationship to visceral fat mass. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiolol.* **279**, 2057-2065.
 26. Kim, M. J. and S. J. Lee. 2002. Effects of green tea on hepatic antioxidative defense system and muscle fatigue recovery in rat after aerobic exercise. *J. Korean Soc. Food Sci. Nur.* **31**, 1058-1064.
 27. King, D. J. and N. Devaney. 1988. Clinical pharmacology of sibutramine hydrochloride (BTS 54524), a new antidepressant, in healthy volunteers. *Br. J. Pharmacol.* **26**, 607-611.
 28. Kissebah, A. H., N. Vydelingum, R. Murray, D. J. Evans, A. J. Hartz, R. K. Kalkhoff, and P. W. Admas. 1982. Relation of body fat distribution to metabolic complications of obesity. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* **54**, 254-260.
 29. Krotkiewski, M., P. Bjorntorp, L. Sjostrom, and U. Smith. 1983. Impact of obesity on metabolism in men and women. Importance of regional adipose tissue distribution. *J. Clin. Invest.* **72**, 1150-1162.
 30. Kwon, M. J., Y. S. Sog, M. S. Choi, S. J. Park, K. S. Jeong, and Y. O. Song. 2003. Cholesterol ester transfer protein activity and atherogenic parameters in rabbits supplemented with cholesterol and garlic powder. *Life Sci.* **72**, 2953-2964.
 31. Lawler, J. M., S. K. Powers, J. Mammen, and A. D. Martin. 1993. Oxygen cost of treadmill running in 24-month-old Fischer-344 rats. *Med. Sci. Sports Exerc.* **25**, 1259-1264.
 32. Lee, H. S. 2010. Effects on antioxidative capacity and lipid improvement of black garlic according to different aging periods. Kyungsoong University.
 33. Lee, M. J., B. M. Ryu, Y. S. Lee, and G. S. Moon. 2002. Effect of long term Buchu (Chinese chives) diet on antioxidative system of ICR mice. *Korean Soc. Food Sci. Tech* **31**, 834-839.
 34. Lee, M. Y. 2008. Effects of diacylglycerol supplementation and different type of training on blood lipid profile, antioxidant system and RMR change in obese men. Yensei University.
 35. Lee, S. J., S. K. Choi, and J. S. Seo. 2009. Grape skin improves antioxidant capacity in rats fed a high fat diet. *Nutr. Res. Pract.* **3**, 279-285.
 36. Lee, S. K., S. H. So, E. I. Hwang, and B. S. Koo. 2008. Effect if ginseng and herbal plant mixtures on anti-obesity in obese SD rat induced by high fat diet. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **37**, 437-444.
 37. Lee, Y. E. 2009. Factors related to obesity and chronic disease prevalence according to obesity types: 1998-2005 KNHANES. Ewha Woman's University.
 38. Lia, A., G. Hallmans, and A. Sandberg. 1995. β -Glucan increase bile acid excretion in a fiber-rich barley fraction increases cholesterol excretion in ileostomy subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* **62**, 1245-1251.
 39. Mankovsky, B. N. and D. Ziegler. 2004. Stroke in patients with diabetes mellitus. *Diabetes. Metab. Res. Rev.* **20**, 268-287.
 40. McMahon, F. G. and R. Vargas. 1993. Can garlic lower blood pressure? A pilot study. *Pharmacotherapy* **13**, 406-407.
 41. Ministry of education, science and technology. 2009. '06-08 year' Result of fitness evaluation in school. Seoul.
 42. Naoaki M., T. Nishihama, M. Ushijima, N. Ide, H. Takeda, and M. Hayama. 2007. Garlic as an anti-fatigue agent. *Mol.*

- Nutr. Food Res.* **51**, 329-1334.
43. Nathan, C. 2008. Epidemic inflammation: pondering obesity. *Mol. Med.* **14**, 485-492.
 44. Oben, J. E., D. M. Enyegue, G. I. Fomekong, Y. B. Soukontoua, and G. A. Agbor. 2007. The effect of *Cissus quadrangularis* (GQR-300) and a *Cissus* formulation (CORE) on obesity and obesity-induced oxidative stress. *Lipids Health Dis.* **6**, 4-12.
 45. Ohkawa, H., N. Ohishi, and K. Yagi. 1979. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Anal. Biochem.* **95**, 351.
 46. Perez, D. D., P. Strobel, R. Foncea, M. S. Diez, L. Vasquez, I. Urquiaga, O. Castillo, A. Cuevas, A. San Martin, and F. Leighton. 2002. Wine, diet, antioxidant defenses, and oxidative damage. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **957**, 136-145.
 47. Peter, B., C. Peter, B. Michal, G. Peter, K. Anton, K. Marian, P. Nadezda, L. Tibor, O. Tammo, and S. Katarina. 2009. Regular moderate exercise reduces advanced glycation and ameliorates early diabetic nephropathy in obese Zucker rats. *Meta. Clin. Experi.* **58**, 1660-1677.
 48. Quan-Sheng, S., T. Te, Z. Jian-Guo, and Z. Hui. 2008. Effects of allicin supplementation on plasma markers of exercise-induced muscle damage, IL-6 and antioxidant capacity. *Eur. J. Appl. Physiol.* **103**, 275-283.
 49. Seo, Y. H. 2004. Effects of TaeKwonDo training on blood antioxidant enzymes and lipid peroxidation. Chosun University.
 50. Terra, X., V. Pallarés, A. Ardèvol, C. Bladé, J. Fernández-Larrea, G. Pujadas, J. Salvadó, L. Arola, and M. Blay. 2010. Modulatory effect of grape-seed procyanidins on local and systemic inflammation in diet-induced obesity rats. *J. Nutr. Biochem.* **22**, [Epub ahead of print].
 51. Urso, M. L. and P. M. Clarkson. 2003. Oxidative stress, exercise, and antioxidant supplementation. *Toxicology* **189**, 41-54.
 52. Witt, E. H., A. Z. Reznick, C. A. Viguie, P. Starke-Reed, and L. Packer. 1992. Exercise, oxidative damage and effects of antioxidant manipulation. *J. Nutr.* **122**, 766-773.
 53. Woo, D. Y. and E. N. An. 2010. Effects of L-arginine and treadmill exercise with high fat-diet on growth hormone, body weight and abdominal fat in rats. *Korean Soc. Measur. Evaluation. Phy. Edu. Sports Sci.* **12**, 89-100.
 54. Woo, J. H. and Y. S. Kwak. 2001. The effects of a regular aerobic exercise on heart rate, blood pressure, and serum lipid items in WKY, SHR and RICO rats. *Korean J. Phy. Edu.* **40**, 663-670.
 55. Yoon, G. A. 2006. Effect of garlic supplement and exercise on plasma lipid and antioxidant enzyme system in rats. *Korean J. Nutr.* **39**, 3-10.
 56. Zacour, A. C., M. E. Silva, P. R. Cecon, E. A. Bambirra, and E. C. Vieira. 1992. Effect of dietary chitin on cholesterol absorption and metabolism in rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* **38**, 609-613.

초록 : 탈진적 운동과 마늘진액 섭취가 고지방식으로 비만이 유도된 흰쥐에 체중, 지방량, 혈중지질 및 산화적 스트레스에 미치는 영향

이현미 · 서대윤 · 이상호 · 백영호*
(부산대학교 대학원 체육학과)

본 연구는 고지방식으로 비만을 유도한 흰쥐에 4주간 마늘진액섭취와 treadmill running을 실시한 후 탈진적 운동을 실시하여 체중, 지방량, 혈중지질 및 산화적 스트레스에 미치는 영향에 미치는 영향을 조사하였다. 실험대상은 3주령 SD계 rats 30마리를 6주간 고지방식으로 비만을 유도한 후 정상식이군(N), 고지방식이군(HD), 운동군(E), 운동과 마늘섭취군(EA), 마늘섭취군(A)으로 구분하였고, 4주간 treadmill running과 운동 30분 전에 AGE를 섭취시킨 후 실험최종일 모든 그룹을 고강도 탈진적 운동을 실시하였다. 그 결과 6주간 고지방식으로 비만을 유도한 고지방식이군(HD)은 정상식이군(N)에 비해 체중과 체중 증가량이 유의하게 높게 나타났다($p < 0.001$). 그리고 4주간 treadmill running과 마늘섭취를 병행한 결과, 운동군(E)과 운동과 마늘섭취군(EA)에서 체중 증가량, 복부지방량과 부고환지방량이 다른 군에 비해 유의하게 높게 나타났으며($p < 0.05$), 비복근과 가자미근은 그룹 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 혈중지질의 변화에서 그룹 간 유의한 차이가 나타나지 않았고, 산화적 스트레스는 운동군(E)보다 마늘섭취(A)군이 유의하게 낮게 나타났다($p < 0.05$). 따라서 규칙적인 유산소 운동과 마늘진액섭취는 체중과 체지방량 감소에 유의한 효과를 나타내고, 마늘진액섭취가 규칙적인 유산소 운동보다 효과적으로 산화적 스트레스를 방어하는 것으로 사료된다.