

마늘의 섭취와 운동이 혈장지질과 항산화효소계에 미치는 영향

윤 군 애[§]

동의대학교 생활과학대학 식품영양학과

Effect of Garlic Supplement and Exercise on Plasma Lipid and Antioxidant Enzyme System in Rats

Yoon, Gun-Ae[§]

Department of Food and Nutrition, Donggeui University, Busan 614-714, Korea

ABSTRACT

Effects of garlic powder supplementation on blood lipid profile and antioxidant system were investigated in rats with and without swimming exercise. Sprague-Dawley rats of four experimental groups were fed for 4 weeks diets containing 15% beef tallow and 1% cholesterol; control without garlic and exercise, Go with 2% garlic alone, Ex with exercise alone, GoEx with 2% garlic and exercise. Rats were trained 40 min a day, 5 days a week. Group Ex and GoEx showed significant lowering in body weight gain and fat accumulation. In Go, Ex and GoEx, plasma TG and LDL-C were lower and HDL-C was higher, although not significantly, compared to levels in control. Total cholesterol was significantly reduced in group Go, and Ex and GoEx were lower than control. The total/HDL cholesterol ratio was also found to be significantly different, decreasing the ratios in Go, Ex and GoEx. The hepatic TBARS increased significantly in group Ex (51.7 ± 3.43 nM/g liver), while TBARS in Go and GoEx were low (35.68 ± 3.61 , 39.30 ± 5.55 nM/g liver) and similar to control's one. The activity of hepatic SOD in Go and GoEx tended higher than control and Ex without garlic. The hepatic catalase showed significantly the highest activity in Go. Activity of GSH-px was significantly low in Ex with 0.14 ± 0.03 unit/mg protein, and control, Go and GoEx had higher activities of 0.23 ± 0.08 , 0.20 ± 0.07 , 0.22 ± 0.01 unit/mg protein, respectively. Lower activities of antioxidant enzymes in Ex are likely to be associated with the highest level of TBARS. It seems that a decrease in TBARS in GoEx relative to Ex was related to the increase in GSH-px and SOD with garlic supplemented, which led to compensate the oxidative stress from exercise. The results suggest that exercise or garlic supplement exerts blood lipid attenuating effect. In addition, garlic supplementation could strengthen the antioxidant potential against exercise-induced oxidants, partly by modulating oxidant enzyme activity. These effects of garlic may make it a beneficial agent on CVD. (*Korean J Nutrition* 39(1): 3~10, 2006)

KEY WORDS : garlic, exercise, antioxidant enzyme, TBARS, plasma lipid.

서 론

고지혈증, 비만, 흡연, 당뇨병, 운동 부족은 심혈관 질환의 위험인자이다. 현대인의 식생활의 불균형과 활동량이 축소된 생활양식이 심혈관 질환의 발생에 큰 비중을 차지함에 따라 식이조절이나 운동을 통해 심혈관 질환의 위험인자를 축소하려는 노력이 확산되어 있다. 이와 더불어 최근에는 천연 화합물이 갖는 기능과 가치에 주의를 기울이면서 이들의 활

용에 대한 기대와 연구개발이 현저하게 증가하는 추세이다.¹⁾

마늘은 향신료로서 뿐 아니라 기능성 식품으로서 다양한 질환에 효과가 있는 것으로 전해지고 있고, 동맥경화증, 뇌졸중, 면역질환, 뇌의 노화, 관절염, 백내장과 같은 만성질환의 예방과 지연 및 정력과 순환계 개선을 목적으로 이용되고 있다. 마늘이 심혈관질환을 치료하기 위한 목적으로 사용되는 것은 콜레스테롤 저하, 혈소판 응집 억제, 혈압강하, 항산화제 등의 효과가 있기 때문이다. 대부분의 생리활성을 나타내는 주요 성분은 마늘이 함유하고 있는 유기 황화합물이며, 이들은 마늘의 독특한 향을 제공한다. 마늘의 황화합물 함량은 1.1~ 3.5%로서 양파나 브로컬리의 약 4배에 이르며, 마늘 효과에 대한 연구의 약 90%가 황화합물을 중심으로 이루어지고 있다.^{2,3)}

접수일 : 2005년 11월 8일

채택일 : 2006년 1월 13일

[§]To whom correspondence should be addressed.

E-mail : gayoon@donggeui.ac.kr

심혈관질환은 여러 인자들이 원인이 되어 발생하지만 고지혈증과 LDL의 산화는 동맥경화증의 발생과 진전에 위험도가 높은 중요한 인자이다. 마늘은 간의 지방합성 효소를 억제함으로써 간에 지방축적을 감소시키고, 혈중 중성지방 농도를 낮추는 효과를 나타내며, 혈중 콜레스테롤을 개선시키는 효과가 있다. 이러한 지질 저하 작용은 마늘이 함유하고 있는 diallyl disulfide와 dipropyl disulfide 성분 등과 관련이 있는 것으로 밝혀졌다.^{4,5)} LDL은 평혈근세포나 단핵구 및 대식세포가 방출하는 자유라디칼에 노출될 때 산화된다. 동맥 내벽에 산화 LDL이 존재하면 대식세포에서 비롯된 거품세포가 생성되고 지방선조가 나타나면서 동맥경화증의 초기 병변이 일어난다. 따라서 항산화제를 이용하여 LDL 산화를 저해함으로써 동맥경화증의 위험을 낮출 수 있을 것이다.⁶⁾

항산화력을 갖는 피토케미칼이 풍부한 식품이나 항산화제를 섭취하는 것은 산화스트레스를 중화시키는 수단이며, 마늘은 자연 항산화제의 좋은 예이다. 마늘은 ROS (reactive oxygen species)을 제거하고, 지질과산화물 형성과 LDL 산화를 억제하며, 항산화체계를 증대시키는 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 노와 혈장에 존재하는 8-iso-prostaglandin F_{2α} (8-iso-PGF_{2α})는 산화스트레스 및 지질과산화를 나타내는 민감한 지표이다. 흡연인과 비흡연인이 AGE (aged garlic extracts)를 14일간 보충할 때 비흡연인의 혈장과 노에서 8-iso-PGF_{2α}가 각기 29%와 37% 줄었고, 흡연인에서는 각기 35%와 48%가 감소하였다. 흡연인에게 AGE의 보충으로 혈장 항산화력이 53%가 증가된 것으로 나타났다.⁸⁾ 이는 마늘의 식이 보충은 산화스트레스가 큰 경우 산화스트레스를 낮추는 효과가 있음을 의미한다.

신체활동량이 적은 생활패턴에서 운동 또한 혈중 지질조성을 개선하는 효과가 있어 심혈관질환의 예방과 치료에 도움이 되는 반면, 운동은 산소 소비량을 증가시켜 과잉의 자유라디칼과 지질과산화물이 생성되어 산화적 스트레스에 의한 조직의 손상을 증가시킨다.^{9,10)} 이러한 경우 항산화제의 도입은 산소소모량의 증대로 발생하는 자유라디칼로부터 세포의 손상을 최소화할 수 있을 것이므로, 산화스트레스를 감소시키는 천연 항산화물질의 연구와 활용이 적극 요구되고 있다.

본 연구는 고지혈증의 개선과 항산화작용의 측면에서 심혈관 질환의 위험인자를 조절하는 수단을 알아보려고 한다. 마늘과 운동이 혈중 지질조성에 주는 영향을 측정하고, 운동과 관련되어 나타나는 산화스트레스에 대한 방어기작으로서 마늘의 항산화효과를 측정하여 천연 기능성 물질로서의 활용도를 검토하고자 한다.

연구방법

1. 실험동물 사육 및 운동 부하

실험동물은 120 ± 10 g의 Sprague-Dawley 중 수컷을 사용하였다. 고품사료를 공급하면서 5일간 환경에 적응시킨 후, 그룹당 6마리씩 4그룹으로 구분하여 4주동안 실험식을 급여하였다; 대조군, 마늘첨가군 (Go; 대조군 식이 + 2% 마늘), 운동군 (Ex; 대조군 식이 + 운동부하), 운동-마늘첨가군 (GoEx; 대조군 식이 + 2% 마늘 + 운동부하). 식이와 식수는 자유공급하였고, 체중은 매주 1회 일정한 시각에 측정하였다.

운동군과 운동-마늘첨가군의 동물은 하루에 40분씩, 매주 5일씩 수조에서 수영을 하도록 하였다. 수영을 하는 동안 물의 온도는 27~30°C로 유지되었다.

4주의 사육기간 종료 후, 실험동물을 12시간 절식시키고, diethyl ether로 마취하여 혈액과 조직을 채취하였다. 혈액은 1000 × g에서 15분간 원심분리하여 혈장을 분리하였고, 간 조직은 생리식염수로 정제한 후 -70°C에서 보관하였다.

2. 실험식이 조성

실험식의 조성은 Table 1과 같다. 대조군의 실험식은 AIN-76에 기초하면서 우지를 급원으로 지질함량을 15%로 조정하였고, 1%의 콜레스테롤을 첨가하였다. 운동군의 식이는 대조군과 동일하며, 마늘첨가군과 운동-마늘첨가군은 대조군 식이에 2%의 마늘을 첨가하였다. 마늘은 분쇄하여 냉동건조한 후 분말화하여 사용하였다. 본 실험식의 마늘 함유량은 2~3%의 마늘가루를 함유한 식이에서 지질 개선의효과를 보인 연구에 준하였다.⁴⁾

Table 1. Composition of experimental diets (g/kg diet)

Ingredients	Control	Go	Ex	GoEx
Corn starch	490	490	490	490
Casein	200	200	200	200
Sucrose	50	30	50	30
Beef tallow	150	150	150	150
Salt mixture	35	35	35	35
Vitamin mixture	10	10	10	10
Cellulose	50	50	50	50
DL-Methionine	3	3	3	3
Choline barbiturate	2	2	2	2
Cholesterol	10	10	10	10
Garlic powder	-	20	-	20

Control; Go (control + 2% garlic); Ex (control + exercise); GoEx (control + 2% garlic + exercise)

3. 간조직의 전처리

간조직에 0.25 M sucrose와 0.5 nM EDTA를 포함하는 50 mM 인산 완충용액 (pH 7.4)을 가하여, 저온상태에서 Potter-Elvehjem homogenizer를 사용하여 10% (w/v) 균질액을 만들었다. 균질액을 10,000 × g, 4°C에서 15분 동안 원심분리한 후 상층액을 취하여 일부는 지질과산화물 측정에 사용하였고, 나머지 상층액은 다시 10,000 × g, 4°C에서 15분간 원심분리하였다. 분리된 침전물은 재현탁하여 catalase의 활성 측정에 사용하였다. 상층액은 100,000 × g에서 1시간동안 재원심 분리하였고, 분리된 상층액을 SOD와 GSH-px 활성 측정을 위한 효소원으로 사용하였다.

4. 혈장지질 측정

혈장의 콜레스테롤과 HDL-C는 콜레스테롤 산화효소법을 이용한 분석 kit (영동제약)을 사용하여 비색정량하였다. LDL-C는 Friedewald 법에 따라 산출하였다.¹¹⁾

5. 간조직의 지질과산화물 측정

간조직의 지질과산화물은 Ohkawa 등의 방법에 기초하여 thiobarbituric acid reactive substance (TBARS)를 측정하여 평가하였다.¹²⁾ TBARS 형성은 1, 1, 3, 3-tetraethoxypropane을 표준물질로 하여 532 nm에서 흡광도를 측정하였고, nM MDA/g liver로 표시하였다.

6. 간조직의 항산화효소 활성 측정

Superoxide dismutase (SOD)는 nitroblue tetrazolium (NBT)이 환원되는 정도를 측정하여 효소활성의 지표로 사용하였고, SOD의 활성은 NBT 환원을 50% 억제하는데 필요한 효소 수준을 1 unit로 산정하여 표시하였다.¹³⁾ Catalase의 활성은 Aebi 방법에 준하여 240 nm에서 5분동안 감소하는 흡광도를 측정하였다.¹⁴⁾ Catalase 활성은 unit/mg protein으로 제시하였고, 1 unit은 1분간 소실되는 H₂O₂의 양에 해당한다.

Glutathione peroxidase (GSH-px)은 Flohé와 Günzler의 방법에 준하여 산화형 GSH가 glutathione reductase와 NADPH에 의해 환원될 때 감소하는 흡광도를 340 nm에서 2분간 측정하였다.¹⁵⁾

효소활성 측정에 사용된 각 분획의 단백질 함량은 단백질 분석 kit를 이용하여 bovine serum albumin을 표준으로 하여 측정하였다.

7. 통계분석

모든 자료는 SAS package를 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였고, 각 실험군의 평균치 간의 유의성은 α = 0.05 수준에서 Duncan's multiple range test에 의해 검증하였다.

결 과

1. 체중증가량 및 식이효율

실험식이 급여 4주 동안의 체중증가율과 식이효율은 유의한 차이를 보였다. 체중증가율은 대조군에서 44.75 ± 4.20 g/주로 가장 높은 증가율을 보였고, 마늘첨가군과 운동군 및 운동-마늘첨가군은 모두 낮게 나타났다 (Table 2). 사료 효율은 대조군과 마늘첨가군에서 높은 수치를 보였고, 이에 반해 운동이 부과된 운동군과 운동-마늘첨가군의 사료 효율은 낮은 효율을 나타냈다. 체지방의 축적을 추정할 수 있는 부고환 지방을 100 g 체중 단위로 표시한 결과는 대조군과 마늘첨가군에서 1.10 ± 0.15와 0.93 ± 0.18 g/100 g BW으로 유의하게 높았고, 운동군과 운동-마늘첨가군은 각각 0.67 ± 0.16과 0.77 ± 0.09 g/100 g BW으로 낮은 수준이었다. 이는 운동 및 운동-마늘첨가를 통해 체지방 저하에 효과가 있음을 의미한다.

2. 혈중 지질농도

Table 3은 혈장 내 지질 수준의 변화를 나타낸다. 혈장 중성지방과 HDL-C, LDL-C의 수준은 그룹 사이에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 그러나 운동 부하나 마늘이 첨가되지 않은 대조군에서 중성지방과 LDL-C 모두 높은 수치를 보이고 HDL-C가 낮은 수치를 보인 반면, 마늘 또는 운동이 부여된 Go, Ex, GoEx 그룹에서 중성지방과 LDL-C가 낮아지고, HDL-C가 증가되는 양상을 볼 수 있었다.

총 콜레스테롤은 유의한 차이를 보여 대조군의 수치가 199.79 ± 19.96 mg/dL인데 반해 마늘 첨가군은 162.49 ± 21.71 mg/dL으로 낮았고, 운동군과 운동-마늘첨가군에

Table 2. Body weight gain and Food efficiency ratio of rats

Variables	Control	Go	Ex	GoEx
Body weight gain (g/week)	44.75 ± 4.20 ^a	37.18 ± 4.51 ^b	34.90 ± 7.42 ^b	34.68 ± 6.70 ^b
FER	0.34 ± 0.03 ^a	0.33 ± 0.04 ^{ab}	0.26 ± 0.05 ^c	0.29 ± 0.05 ^{bc}
Epididymal fat pad (g/100g BW)	1.10 ± 0.15 ^a	0.93 ± 0.18 ^{ab}	0.67 ± 0.16 ^c	0.77 ± 0.09 ^{bc}

Values are mean ± SD. Values in a row with different superscripts are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test. Control; Go (control + 2% garlic); Ex (control + exercise); GoEx (control + 2% garlic+exercise). FER: Food efficiency ratio

Table 3. Effects of garlic and exercise on plasma lipid profiles of rats

(mg/dL)

Variables	Control	Go	Ex	GoEx
Triglyceride	138.42 ± 37.22 ^{NS}	119.70 ± 31.63	108.28 ± 16.76	105.22 ± 22.13
Total cholesterol	199.79 ± 19.96 ^a	162.49 ± 21.71 ^b	179.02 ± 14.50 ^{ab}	167.30 ± 24.40 ^{ab}
HDL-C	16.20 ± 1.48 ^{NS}	21.56 ± 6.80	27.77 ± 24.57	18.06 ± 2.62
LDL-C	161.38 ± 14.36 ^{NS}	120.48 ± 38.65	132.28 ± 25.09	129.71 ± 19.54
Chol/HDL-C	11.93 ± 1.16 ^a	6.25 ± 0.44 ^b	9.41 ± 4.41 ^{ab}	8.94 ± 1.60 ^{ab}

Values are mean ± SD. Values in a row with different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test. Control; Go (control + 2% garlic); Ex (control + exercise); GoEx (control + 2% garlic + exercise)

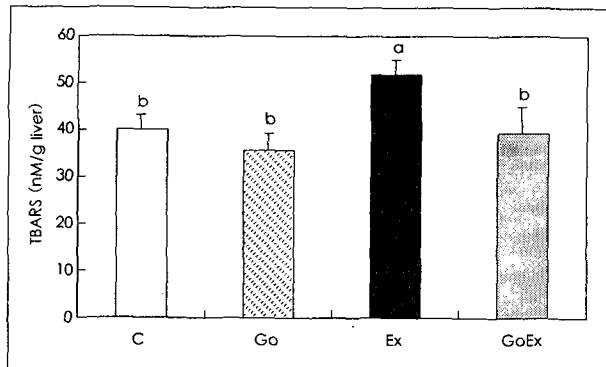


Fig. 1. Effect of garlic and exercise on TBARS in liver. C: control, Go: control + 2% garlic, Ex: control + exercise, GoEx: control + 2% garlic + exercise. Different letters above the bar indicate significant differences at $p < 0.05$.

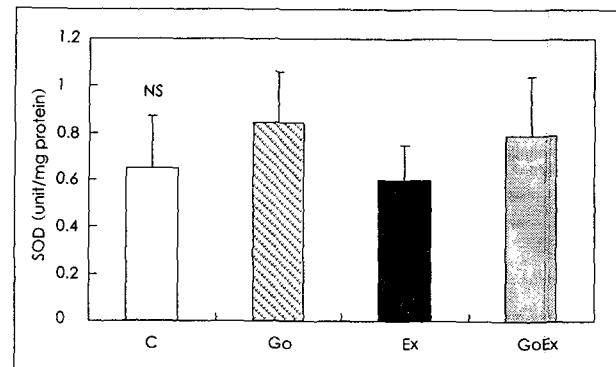


Fig. 2. Effect of garlic and exercise on hepatic SOD activity. C: control, Go: control + 2% garlic, Ex: control + exercise, GoEx: control + 2% garlic + exercise. NS indicates no significant difference at $p < 0.05$.

서도 179.02 ± 14.50 와 167.30 ± 24.40 mg/dL로 총 콜레스테롤이 저하되었다 ($p < 0.05$). 총콜레스테롤/HDL-C 비율 또한 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$). Table 3에서 보듯이 마늘첨가군 (6.25 ± 0.44), 운동군 (9.41 ± 4.41), 운동-마늘 첨가군 (8.94 ± 1.60)에서 비율이 낮았고, 대조군 (11.93 ± 1.16)에서 높게 나타났다.

3. 간조직의 지질과산화물 농도

간조직의 지질과산화물 형성을 비교하기 위한 방법으로 측정된 TBARS는 실험군 간에 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$). Fig. 1에서 보듯이 대조군의 TBARS 수치가 40.08 ± 2.99 nM/g liver에 비해 마늘이 첨가되지 않은 운동군 (51.69 ± 3.43 nM/g liver)에서 TBARS가 현저하게 높았다. 이에 비해 마늘첨가군 (35.68 ± 3.61 nM/g liver)은 가장 낮은 지질과산화물 수준을 나타내어 대조군보다도 적은 수치를 보였다. 운동실시와 더불어 마늘이 보충된 GoEx 그룹 (39.30 ± 5.55 nM/g liver)은 동일 처치조건이면서 마늘이 첨가되지 않은 운동군과 비교할 때 뚜렷한 저하효과를 보였고, 이는 운동하지 않은 대조군과 비슷한 결과를 보였다.

4. 간조직의 항산화효소 활성

정상적인 상태에서 세포의 항산화계 방어기작은 산화제에

대한 손상을 최소화한다. 항산화 체계의 일환으로서 superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase 등은 산화적 스트레스에 대한 주요 방어효소로 작용한다.¹⁶⁾

SOD의 활성은 그룹 사이에 유의한 차이는 보이지 않았으나 마늘첨가군과 운동-마늘첨가군이 다른 두 군에 비해 높은 양상을 보였다. 대조군과 운동군은 마늘첨가군에 비해 23~28% 낮은 활성을 나타냈다 (Fig. 2). 각 그룹의 GSH-px는 뚜렷한 활성의 차이를 나타냈다 ($p < 0.05$). 대조군의 GSH-px 활성은 0.23 ± 0.08 unit/mg protein 이었고, 마늘첨가군과 운동-마늘첨가군은 각기 0.2 ± 0.07 , 0.22 ± 0.01 unit/mg protein로 측정되었다. 반면에 운동군은 0.14 ± 0.03 unit/mg protein으로 유의하게 낮았다. 이러한 결과는 운동의 부하로 GSH-px 활성이 저하되나 마늘의 첨가가 저하되는 항산화효소활성을 보강할 수 있음을 시사한다 (Fig. 3). Catalase는 마늘첨가군에서 유의하게 높았고, 운동이 실시된 운동군과 운동-마늘 첨가군에서 낮았다. 그러나 운동군에 비해 운동-마늘첨가군에서 SOD와 GSH-px가 상승된 것과 같은 증가양상이 catalase에서 나타나지 않았다 (Fig. 4).

운동군은 SOD, GSH-px, catalase의 활성이 모두 낮아 TBARS의 높은 형성율과 관련이 있을 것으로 본다. 반면에 마늘첨가군은 이들의 활성이 더 높게 나타났으며, 운동-

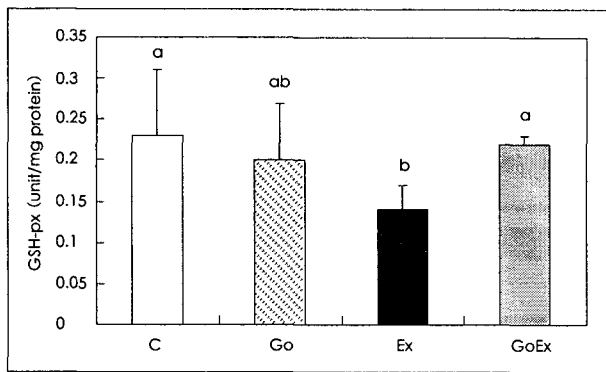


Fig. 3. Effect of garlic and exercise on hepatic GSH-px activity. C: control, Go: control + 2% garlic, Ex: control + exercise, GoEx: control + 2% garlic + exercise. Different letters above the bar indicate significant differences at $p < 0.05$.

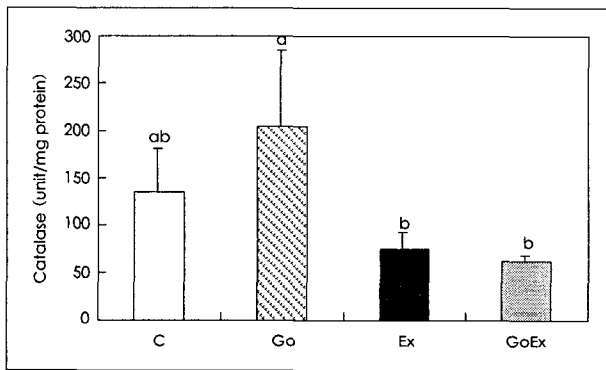


Fig. 4. Effect of garlic and exercise on hepatic catalase activity. C: control, Go: control + 2% garlic, Ex: control + exercise, GoEx: control + 2% garlic + exercise. Different letters above the bar indicate significant differences at $p < 0.05$.

마늘첨가군은 마늘의 첨가로 SOD와 GSH-px가 운동군에 비해 향상됨으로써 TBARS 수준이 낮아진 것과 유관하리라 사료된다.

고 찰

본 연구에서 운동군과 운동-마늘첨가군은 대조군에 비해 체중증가율, 사료효율 및 부고환지방의 측정치가 모두 낮은 결과를 보여, 체지방저하에 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 마늘첨가군은 대조군에 비해 체중증가율은 낮았으나 사료효율이 대조군과 유사하고 또한 마늘첨가군과 운동-마늘 첨가군 사이에 각 변수의 차이가 크지 않았던 점으로 보아 운동-마늘첨가군에서 측정된 낮은 수치들은 주로 운동의 효과인 것으로 추정된다. 규칙적인 운동이 체중조절과 체지방 저하에 뚜렷한 효과가 있음을 의미한다. 최근 식이지방의 섭취량이 증가하고 신체활동이 저하되는 환경 속에서 세계적으로 증가하는 비만이환율은 이미 주요 보

건문제로 대두되었다. 비만은 일반적으로 지질대사를 비롯하여 렘틴과 인슐린의 분비 및 작용에 이상을 수반한다.^{17,18)}

운동은 체지방을 줄이고 체지방량을 증가시키며, 이러한 효과는 혈청 렘틴 감소와 운동으로 인해 휴식상태에서 산소소모량과 에너지 소모량이 증가되는 사실과 관련이 있다.^{19,20)}

고지혈증 또는 혈중 콜레스테롤 농도의 상승은 심혈관 질환의 발병과 상관성이 높은 인자이다. 본 연구에서도 혈중 총 콜레스테롤은 유의한 차이를 보여 특히, 마늘첨가군에서 크게 저하하였고, 운동군과 운동-마늘 첨가군에서 저하하였다. 또한 총콜레스테롤/HDL-C의 비도 유의한 변화를 보임으로써 마늘 첨가군, 운동군, 운동-마늘 첨가군에서 모두 낮아지는 결과를 보였다. 중성지방은 유의하지는 않으나 대조군에 비해 마늘첨가군, 운동군, 운동-마늘 첨가군에서 15~24%의 감소추세를 보였고, LDL-C는 20~25% 감소양상을 보였다. 따라서 마늘의 섭취는 지질저하효과가 있으며, 운동 또한 지질저하에 도움이 될 것으로 본다.

운동은 혈중 중성지방과 콜레스테롤의 수준을 감소시키는 효과를 갖는 것으로 밝혀져 있는데, 이는 유산소 운동으로 간 및 근육의 글리코겐이 소비되면서 근육과 순환되는 혈액 중의 지방이 에너지원으로 이용되기 때문으로 설명된다.²¹⁾ 마늘은 인체에서 콜레스테롤 저하효과를 보이고, 식이로 유발된 동물에서 고콜레스테롤혈증을 개선하는 효과가 있는 것으로 보고되고 있다.^{22,23)} 흰쥐에서 1% 콜레스테롤을 포함한 5% 올리브유 급원 식이에 2% 첨가된 마늘은 콜레스테롤과 LDL-C를 50% 저하시켰고, HDL-C의 저하를 23% 감소시키는 것으로 나타났다. 이러한 콜레스테롤의 저하에 기여하는 성분으로 S-allyl cysteine, diallyl disulfide, allicin, ajoene이 보고 있다.²⁴⁾ Aouadi 등에 의하면 콜레스테롤과 10%의 생마늘 (2~3%의 마늘가루에 해당)을 포함한 식이로 12주 동안 사육된 흰쥐에서 마늘이 중성지방의 농도 저하에는 영향을 주지 않았으나 콜레스테롤 농도의 저하 (12.2%)를 유도하였다. HDL-C/콜레스테롤 비율이 높게 나타난 반면에 LDL-C의 비율은 유의한 변화를 보이지 않았다.⁴⁾ 마늘의 지질저하효과는 알리신과 알리신에서 유도된 황화합물이 간에서 HMG-CoA reductase와 같은 콜레스테롤을 합성하는 여러 효소단계를 억제하고, 지방산합성에 관여하는 효소를 억제하기 때문으로 여겨진다.²⁵⁾ 또한 담즙산과 중성스테롤의 분비를 증가시키기 때문에 지질저하 작용에 기여한다.²⁶⁾ 마늘 추출물과 마늘에서 분리된 ajoene, methyl ajoene, allicin, 2-vinyl-4H-1, 3-dithiin, diallyl sulfide 화합물들이 HMG-CoA reductase 수준에서 간의 콜레스테롤 합성을 20~70% 억제하는 것으로 제시되었다.²⁷⁻²⁹⁾

마늘이 갖는 가장 중요한 생화학적 특성의 하나는 항산화력이다. 마늘은 ROS (reactive oxygen species)를 제거하고, 지질과산화물 형성과 LDL 산화를 억제하며, 항산화체계를 증대시키는 것으로 알려졌다.⁷⁾ 운동하는 동안에 호기성 대사는 10배 증가되고, 산소라디칼의 증가는 항산화체계의 방어능력을 초과하게 된다. 지속적인 운동은 골격 근육 등의 여러조직에서 자유라디칼의 생성을 유도하고 지질과산화 및 조직의 손상을 촉진한다. 신체는 과산화작용으로부터 손상을 최소화하기 위해 항산화효소의 활성이나 항산화제의 이동 등 여러 항산화방어기작을 작동한다.³⁰⁾ 운동의 강도와 malondialdehyde (MDA) 값은 상관성이 있으며, 60%와 90% VO₂ max 강도의 운동 후에 혈청 MDA와 펜탄 호기량이 유의하게 증가되었다.³¹⁾ 75% VO₂ max 강도의 운동 수행 후 혈청 SOD와 catalase 활성이 증가되는 것으로 나타났다.³²⁾ 마우스나 흰쥐의 유산소운동은 SOD, catalase, GSH-px 수준이 증가하여 지구력 운동이 조직의 항산화능력을 향상시키는 반면, 일부 연구에 따르면 8주간의 유산소운동이 항산화능력을 향상시키기에 충분하지 않으며, SOD의 활성 감소 및 항산화효소계가 저하됨이 보고되었다.³³⁻³⁵⁾ 본고에서 SOD는 유의한 차이는 아니나 마늘첨가군과 운동-마늘첨가군에서 높게 나타났다. GSH-px는 운동군에서 낮는데 비해 운동-마늘첨가군에서 활성이 유의하게 증가되었고, catalase는 마늘첨가군에서 높은 활성을 나타냈다. 즉, 운동군은 SOD가 가장 낮을 뿐 아니라 GSH-px도 가장 낮은 활성을 보였고, catalase 또한 낮게 나타났다. 반면에 마늘군은 이들의 효소활성이 높았고, 운동-마늘 첨가군은 운동군에 비해 마늘을 보충함으로써 SOD와 특히 GSH-px의 활성이 증가되는 효과를 보였다. 이는 운동군에서 TBARS 형성이 현저하게 높은 반면 마늘첨가군 및 운동-마늘 첨가군에서 지질과산화물이 낮았던 사실과 부합된다. 생체내 지질의 과산화반응은 산화제와 항산화제의 균형에 의해 결정되는데, 운동 시에 산소소모가 증가되면 자유라디칼의 생성과 이에 따른 지질과산화와 같은 산화적 손상이 일어나기 마련이다. 따라서 운동군에서 산화제와 항산화제의 불균형이 예측되나 운동-마늘첨가군에서 마늘의 보충으로 항산화효소계의 활성을 증가시켜 운동에 따른 TBARS의 형성을 유의하게 저하시킨 것으로 보인다.

마늘유 (garlic oil)의 보충은 catalase, SOD, glutathione peroxidase과 GSH (glutathione)를 증가시켜 지질과산화를 저하하는 것으로 나타났다.³⁶⁾ AGE (aged garlic extract)는 혈관 내피세포의 GSH 수준을 증가시키고 glutathione disulfide reductase와 SOD의 활성을 증가시키는 것으로 보고되었다.³⁷⁾ 마늘분은 OH[•]와 peroxy radical을 없애는

것으로 나타났으며, 7일동안 2.4 g의 AGE를 식이로 보충함으로써 LDL의 산화에 대한 민감도가 저하되는 결과를 보였다.^{38,39)} 혈중 콜레스테롤 농도가 높은 대상자들에게 4개월 동안 물에 의한 마늘추출물을 보충한 결과 보충 전에 비해 MDA가 감소하였고, 항산화력을 나타내는 지표가 증가하였다.²³⁾

이러한 연구결과들은 마늘의 식이 보충은 산화스트레스가 큰 경우 산화스트레스를 낮추는 효과가 있음을 의미한다. 본 연구에서도 운동에서 유래되는 산화스트레스가 마늘의 첨가로 항산화기작이 강화되면서 저하되는 결과를 볼 수 있었다. 마늘의 항산화력을 설명하는 성분이 무엇인지는 현재까지 정확히 파악되지 않았으나 마늘이 높은 함량의 황화합물을 포함하고 있기 때문인 것으로 여겨지고 있다.²³⁾ 마늘은 여러 피토케미칼 성분들의 혼합물로 이루어져 있으므로, 이들 성분이 상승작용을 하여 바람직한 효능, 특히 항산화력을 발휘하는 것으로 보인다. 항산화력의 일부는 마늘이 함유하는 플라보노이드 (apigenin, myricetin, quercetin)와도 관련이 있는 것으로 나타난다.⁴⁰⁾ 산화스트레스는 여러 질환의 발생원인으로 관련되므로 생체가 받는 산화스트레스를 줄이려는 시도는 중요하다. 다양한 종의 항산화물질은 자연식품, 특히 식물에 풍부하며, 마늘은 천연 항산화제의 좋은 예가 될 것이다.

요약 및 결론

본 연구는 고지혈증을 개선하고 항산화작용을 강화하는 측면에서 심혈관 질환의 위험인자에 영향을 주는 인자를 검토하고자 1%의 콜레스테롤을 함유하는 식이를 4주 동안 흰쥐에 공급하면서 운동을 부하하거나 마늘섭취를 보충하였다.

운동군과 운동-마늘첨가군은 대조군에 비해 체중증가율, 사료효율 및 부고환지방의 측정치가 모두 낮은 결과를 보였고, 이는 전반적으로 운동에 의한 효과로 해석된다. 따라서 규칙적인 운동이 체중조절과 체지방 저하에 뚜렷한 효과가 있음을 의미한다.

혈장 총콜레스테롤과 총콜레스테롤/HDL-C 비율은 유의한 변화를 보였으며, 마늘 첨가군, 운동군, 운동-마늘 첨가군에서 이들의 수치가 저하하였다 ($p < 0.05$). 중성지방과 LDL-C 수준은 유의성은 없으나 대조군에 비해 마늘 첨가군과, 운동군, 운동-마늘첨가군에서 저하 추세를 보였다. 이는 혈중 지질이 마늘 첨가 또는 운동에 의해 개선될 수 있음을 나타낸다.

간 조직의 TBARS 형성은 운동군에서 현저하게 높았고 (51.69 ± 3.43 nM/g liver), 대조군, 마늘군, 운동-마늘첨

가군은 각기 40.08 ± 2.99, 35.68 ± 3.61, 39.30 ± 5.55 nM/g liver로서 저하된 결과를 보임으로써 마늘의 과산화지질형성 억제효과를 시사하였다 (p < 0.05).

간 조직에서 SOD의 활성은 그룹 사이에 유의한 차이는 보이지 않았으나 운동군에서 낮았고, GSH-px는 운동군에서 유의하게 저하되었으며 (p < 0.05), catalase는 운동군과 운동-마늘첨가군에서 낮았다. 즉, 운동군은 SOD, GSH-px, catalase의 활성이 모두 낮는데 비해 마늘첨가군은 이들의 활성이 높았다. 또한 운동-마늘첨가군도 운동군에 비해 SOD와 특히 GSH-px는 유의하게 증가되었다. 이러한 효소활성의 차이가 간 조직에서의 TBARS 수준과 관련이 있는 것으로 나타났다. 따라서 운동군에서 지질과산화물의 형성이 유의하게 높았으며, 마늘첨가군과, 운동-마늘첨가군에서 저하되었다. 운동군에 비해 운동-마늘첨가군에서 보인 낮은 TBARS 수준은 마늘의 첨가에 의한 효소활성의 변화로 추정된다.

이상의 결과로 운동은 체지방 축적을 저하시키고, 혈중 지질을 개선하는 효과가 있어 심혈관 질환의 위험인자를 낮추는 효과를 나타내고 있다. 그러나 규칙적인 운동에 따른 산화스트레스가 증가하면서 지질과산화물이 증가되는 부의 영향을 배제할 수 없음도 볼 수 있다. 즉, 운동은 지방을 에너지원으로 사용하여 지질저하효과를 보이지만 산소소모에 따라 증가되는 산화스트레스를 상쇄시킬 수 있도록 항산화 체체계를 강화해야하는 측면이 요구된다. 반면에 마늘은 뚜렷한 혈중 지질저하효과와 더불어 항산화효소계를 강화함으로써 지질과산화물의 형성을 억제하는 항산화작용이 있는 것으로 나타났다. 따라서 마늘은 지질저하 작용 뿐 아니라 운동을 비롯한 산화스트레스를 증가시키는 상황에서 산화스트레스를 억제하도록 항산화작용을 발휘하는 천연기능성 물질로서 충분한 활용성이 있을 것으로 본다.

Literature cited

1) Tomoi S, Go M. The nutraceutical benefit, part IV: Garlic. *Nutrition* 16: 787-788, 2000
 2) Wood D. Established and emerging cardiovascular risk factors. *Am Heart J* 141: S49-S57, 2001
 3) Vinson JA, Hao Y, Su X, Zubik L. 1998. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: vegetables. *J Agri Food Chem* 46: 3630-3634, 1998
 4) Aouadi R, Aouidet A, Elkadhi A, Rayana CB, Jaafoura H, Tritar B, Nagati K. Effect of fresh garlic (*Allium sativum*) on lipid metabolism in male rats. *Nutr Research* 20: 273-280, 2000
 5) Kritchevsky D, Tepper SA. Influence of garlic oil on cholesterol metabolism in rats. *Nutr Rep Int* 22: 641-645, 1980
 6) Cathcart MK, Morel DW, Chisolm GM. Monocytes and neutro-

phils oxidize low density lipoprotein making it cytotoxic. *J Leukoc Biol* 38(2): 341-450, 1985
 7) Imai J, Ide N, Nagae S, Moriguchi T, Matsuura H, Itakura Y. Antioxidant and radical scavenging effects of aged garlic extract and its constituents. *Plant Med* 60: 417-420, 1994
 8) Dillon SA, Lowe, GM, Billington D, Rahman K. Dietary supplementation with aged garlic extract reduces plasma and urine concentrations of 8-iso-Prostaglandin F_{2α} in smoking and non-smoking men and women. *J Nutr* 132: 168-171, 2002
 9) Wood PD. Physical activity, diet and health: Independent and interactive effects. *Med Sci Sports Exerc* 26: 838-834, 1994
 10) Yoon GA. Antioxidant levels and lipid peroxidation in plasma and erythrocyte following treadmill running. *Korean J Nutr* 32: 870-876, 1999
 11) Friedwald WT, Levy RI, Fredrickson DS. Estimation of concentration of low density lipoprotein cholesterol in plasma without use of the preparative ultracentrifuge. *Clin Chem* 18: 499-502, 1972
 12) Ohkawa H, Ohishi N, Yagi K. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Anal Biochem* 95: 351-358, 1979
 13) Fidanza F. Erythrocyte superoxide dismutase. In: Nutritional status assessment, pp.398-401, Chapman & Hall, 1991
 14) Aebi H. Catalase. In: Bergmeyer HU, ed. Methods of enzymatic analysis, Chemie, Weinheim, FRG pp.673-684, 1974
 15) Flohé L, Günzler WA. Assays of glutathione peroxidase. In: Packer L, ed. Methods in enzymology vol 105, pp.114-121, Academic press, 1984
 16) de Hann JB, Cristiano F, Lannello RC, Kola I. Cu/Zn-superoxide dismutase and glutathione peroxidase during aging. *Biochem Mol Biol Int* 35: 1281-1297, 1995
 17) Buettner R, Newgard CB, Rhodes CJ, O'Doherty RM. Correction of diet-induced hyperglycemia, hyperinsulinemia, and skeletal muscle insulin resistance by moderate hyperleptinemia. *Am J Physiol* 278: E563-E569, 2000
 18) Zhou X, de Schepper J, de Craemer D, Delhase M, Gys G, Smitz J, Hooghe-Peter EL. Pituitary growth hormone release and gene expression in cafeteria-diet-induced obese rats. *J Endocrinol* 159: 165-172, 1998
 19) Arunabh B, Mizanur R, Dongxu S, Richard L, Walter M, Roger M, Marianne O, Gabriel F. The combination of dietary conjugated linoleic acid and treadmill exercise lowers gain in body fat mass and enhances lean body mass in high fat-fed male Bal/C mice. *J Nutr* 135: 1124-1130, 2005
 20) Gleeson M, Brown JF, Waring JJ, Stock MJ. The effects of physical exercise on metabolic rate and dietary-induced thermogenesis. *Br J Nutr* 47: 173-181, 1982
 21) Scjokman CP, Ingrid H, Rutishauser E, Wallace RJ. Pre- and post-game macronutrient intake of a group of elite Australian football players. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 9: 60-96, 1999
 22) Slowing K, Ganado P, Sanz M, Ruiz E, Tejerina T. Study of garlic extracts and fractions on cholesterol plasma levels and vascular reactivity in cholesterol-fed rats. *J Nutr* 131: 219-225, 2001
 23) Durak I, Kavutcu M, Aytac B, Avci A, Devrim E, Ozbek H, Ozturk HS. Effect of garlic extract consumption on blood lipid and oxidant/antioxidant parameters in humans with high blood

- cholesterol. *J Nutr Biochem* 15: 373-377, 2004
- 24) Chetty KN, Calahan L, Harris KC, Dorsey W, Hill D, Chetty S, Jain SK. Garlic attenuates hypercholesterolemic risk factors in olive oil fed rats and high cholesterol fed rats. *Pathophysiol* 9: 127-132, 2003
 - 25) Liu L, Yeh YY. Water-soluble organosulphur compounds of garlic inhibit fatty acid and triglyceride synthesis in cultured rat hepatocytes. *Lipids* 36: 395-400, 2001
 - 26) Chi MS, Koh ET, Stewart TJ. Effects of garlic on lipid metabolism in rats fed cholesterol or lard. *J Nutr* 112: 241-245, 1982
 - 27) Gebhardt R. Multiple inhibitory effects of garlic extracts on cholesterol biosynthesis in hepatocytes. *Lipids* 28: 613-617, 1993
 - 28) Sendl, A, Schliack M, Loser R, Stanislaus F, Wagner H. Inhibition of cholesterol synthesis *in vitro* by extracts and isolated compounds. *Atherosclerosis* 94: 79-83, 1992
 - 29) Gebhart R. Amplification of palmitate-induced inhibition of cholesterol biosynthesis in cultured rat hepatocytes by garlic-derived organosulfur compounds. *Phytomedicine* 2: 29-33, 1995
 - 30) Zebra E, Komorowski TE. Free radical injury to skeletal muscle of young adult and old mice. *Am J Physiol* 258: S429-S435, 1990
 - 31) Alessio HM, Goldfarb AH, Culter RG. MDA content increase in fast- and slow-twitch muscle with intensity of exercise. *Am J Physiol* 255: C874-C877, 1988
 - 32) Buczynski A, Kedziora J, Tkaczewski W, Wachowicz B. Effect of submaximal physical exercise on antioxidative protection of human blood platelets. *In J Sports Med* 12: 52-54, 1991
 - 33) Laughlin MH, Simpson T, Sexton WL, Brown OR, Smith JK, Korthuis RJ. Skeletal muscle oxidative capacity, antioxidant enzymes and exercise training. *J Appl Physiol* 68: 2337-2343, 1990
 - 34) Shin MS, Kim WS, Kim YS, Kim SS. Exercise and oxidative stress. *Korean J Exercise Nutr* 2: 1-23, 1998
 - 35) Criswell D, Powers S, Dodd S. High intensity training-induced in skeletal muscle antioxidant enzyme activity. *Med Sci Sports Exercise* 25: 1135-1140, 1993
 - 36) Helen A, Rajasree CR, Krishnakumar K, Augusti KT, Vijayamall PL. Antioxidant role of oils isolated from garlic (*Allium sativum* Linn) and onion (*Allium cepa* Linn) on nicotine-induced lipid peroxidation. *Vit Hum Toxicol* 41: 316-319, 1999
 - 37) Geng Z, Lau BHS. Aged garlic extract modulates redox cycle and superoxide dismutase activity in vascular endothelial cells. *Phytother Res* 11: 54-56, 1997
 - 38) Aruoma OJ, Spencer JPE, Warren D, Jenner P, Butler J, Halliwell B. Characterisation of food antioxidants, illustrated using commercial garlic and ginger preparations. *Food Chem* 60: 149-156, 1977
 - 39) Munday JS, James KA, Fay LM, Kirkwood SW, Thompson KG. Daily supplementation with aged garlic extract but not raw garlic, protects low density lipoprotein against *in vitro* oxidation. *Atherosclerosis* 143: 399-404, 1999
 - 40) Midean KH, Mohamed W. Flavonoid (myricetin, quercetin, kaempferol, luteolin and apigenin) content of edible tropical plants. *J Agri Food Chem* 49: 3106-3112, 2001