

녹차가 유산소 운동 후 흰쥐 간조직의 항산화 작용 및 근피로 회복에 미치는 영향

김미지 · 이순재[†]

대구가톨릭대학교 식품영양학과

Effects of Green Tea on Hepatic Antioxidative Defense System and Muscle Fatigue Recovery in Rat after Aerobic Exercise

Mi-Ji Kim and Soon-Jae Rhee[†]

Dept. of Food Science and Nutrition, Catholic University of Daegu, Gyongsan 712-702, Korea

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of green tea on hepatic antioxidative defense system and recovery of muscle fatigue in rat after aerobic exercise. Male Sprague-Dawley rats weighing 150 ± 10 g were randomly assigned to one normal (N) group and aerobic exercise training groups. Exercise training groups were classified into two groups: training (T) group and green tea (TG) group which were supplemented the distilled water and green tea extracts by drinking water during experimental periods, respectively. The experimental rats in exercise training groups (T and TG) ran on a treadmill 30 min/day at a speed of 28 m/min (7% incline) 5 days/week or were cage confined (Normal group) for 4 weeks. And rats were sacrificed with an overdose of pentobarbital injection just after running. Hepatic xanthine oxidase (XOD) activities were not significantly different among three groups. The activity of superoxide dismutase (SOD) in T group was no significant difference from N group, but those of TG groups were significantly increased, compared with that of T group. Hepatic glutathione peroxidase (GSHpx) activities of TG groups showed a similar tendency to that of normal group, but it was increased to 20% in TG group, compared with normal group. The reduced glutathione (GSH) contents in liver was not significantly different from that of any three group. The oxidized glutathione (GSSG) contents in T group was increased to 69%, compared with the normal group, but TG group significantly decreased, compared with the T group. The ratio of GSH/GSSG in liver of T group was lower than that of normal group, but those of TG group was a similar tendency to that of normal group. Contents of thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) in T group was increased to 52%, compared with that of normal group but those of TG group were recovered the normal level. Contents of hepatic glycogen in T group were decreased to 23% compared with those of normal group, while that of TG group was the same as normal levels. The contents of serum lactic acid in T group were increased to 261%, compared with normal group, but those of TG group maintained the normal level by green tea supplementations. In conclusion, the effects of green tea in exercise training rats would appear to reduce peroxidation of tissue as an antioxidative defense mechanism and promote recovery of muscle fatigue.

Key words: aerobic exercise, green tea, antioxidative system, muscle fatigue recovery

서 론

최근 우리나라에서는 고혈압, 동맥경화증, 심장병 및 뇌질 환 등과 같은 순환기계 질환의 사망률이 한국인 사망요인의 1순위를 차지하게 되었다(1). 이러한 요인으로는 식생활의 서구화에 따른 동물성 지방의 섭취 증가 및 에너지 과잉 등의 식생활의 불균형과 생활양식의 편리화로 인한 운동 부족 및 스트레스의 증가가 큰 비중을 차지한다고 볼 수 있다. 그러므로 이를 개선시킬 수 있는 수단으로 식생활의 개선과 더불어 유산소 운동을 이용하는 인구가 점차 증가되고 있다. 유산소

운동의 효과는 심폐기능을 좋게 할 뿐만 아니라 혈액의 지질 조성을 개선시켜 심장병의 발병을 낮추는 효과가 있다고 알려져 있다(2).

그러나 한편으로 격심한 운동은 전자전달계의 중간 단계에서 전자 누출에 의한 유리기 및 산화적 스트레스의 생성을 증가시킨다고 보고되고 있다(3) 생체내에는 유리기로부터 생체를 방어하기 위한 수단으로써 superoxide dismutase (SOD), catalase(CAT), glutathione peroxidase(GSHpx) 등의 항산화 효소나 비타민 E, glutathione 등의 항산화 물질이 존재하여 유리기를 제거하므로써 생체를 산화적 손상으로부터

[†]Corresponding author. E-mail: sjrhee@cataegu.ac.kr
Phone: 82-53-850-3523, Fax: 82-53-850-3504

터 보호한다(4,5). 그러나 이러한 항산화 방어계가 유리기 생성을 조절할 수 없을 정도로 저하될 때 조직의 산화적 스트레스와 손상이 촉진된다. 특히 격심한 운동시는 산소소비량을 증가시키므로써 안정시와 비교해 볼 때 유리기 생성이 증가되고(6) 생성된 과잉의 유리기와 지질 과산화물은 단백질의 산화, DNA 손상과 같은 산화적 스트레스에 의한 상해를 증가시킨다(7). 그러므로 많은 관련 연구자들은 이러한 산화적 스트레스를 감소시키기 위하여 체내 항산화계를 강화시키려고 노력하고 있다(8-10).

운동시 항산화계의 변화에 대한 연구를 보면 Parkhouse 등(11)은 마우스에 유산소 운동을 실시한 결과 GSHpx, CAT 수준이 증가하였다고 보고하였으며, Somani 등(12)은 흰쥐를 7.5주간 트레드밀에서 훈련시킨 결과 대조군에 비해 SOD가 130% 증가됨을 보고하였다. 이와 같이 지구성 훈련은 조직의 항산화 능력을 향상시키며, 이러한 항산화 능력의 적용은 심한 운동시 산소 섭취량의 증대에 의해 발생하는 유리기에 대한 세포의 중요한 보호 작용을 의미한다. 그러나 항상 지구성 운동이 항산화 방어 능력에 긍정적인 결과만을 보고한 것은 아니다. Laughlin 등(13)은 8주간의 유산소 운동이 항산화 적응 능력을 향상시키기에 충분하지 않다고 보고하였으며 또 Choi 등(8)의 연구에서도 트레드밀로 4주간 유산소 운동을 실시한 결과 항산화계 효소가 감소되었으며 글루루론산을 투여한 결과 SOD, GSHpx 효소 활성이 증가되었다. 또한 Baek(10)은 건강한 남자 대학생을 대상으로 마늘을 섭취시켜면서 운동부하전과 후에 혈액을 채취하여 분석한 결과 마늘이 운동시 항산화 효과가 있었다고 하였다. 이와 같이 격심한 운동시는 항산화계의 불균형이 초래되고 또한 항산화물질에 의해 이들 불균형이 개선되는 것으로 규명되고 있다. 그러므로 운동으로 인한 산화적 스트레스를 감소시킬 수 있는 천연의 항산화 물질개발과 이들의 생리효능 및 그 작용기전에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 본다.

한편 천연의 기능성 물질가운데 녹차는 폴리페놀성 화합물인 카테킨을 비롯한 다수의 성분이 함유되어 있어 여러 가지 약리 작용(14-16)이 뛰어나며 특히, 항산화성이 우수하여 생체내외의 stress에 의해 발생하는 유리기를 제거하는 기능이 있다고 알려져 있다(17,18). 녹차의 항산화 작용에 대한 연구로는 Nakayama의 연구(19)에서 카테킨의 폴리페놀 구조들이 hydrogen peroxide(H₂O₂)에 의한 cytotoxicity를 억제하는 효과가 있다고 하였고, 지질 과산화 초기단계에서 singlet oxygen과 유리기 제거 역할로 플라보노이드가 효과적이라고 하였다. 또한 Park 등(20)은 streptozotocin 유발 당뇨 쥐 간조직에서의 항산화계 효소 활성을 관찰한 결과 카테킨이 이들 효소 활성을 현저하게 강화시킴을 보고한 바 있다. 이러한 견지에서 볼 때 운동과 관련된 산화적 스트레스와 피로도를 감소시킬 수 있는 물질로서 녹차의 이용을 기대해 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 흰쥐에 트레드밀을 이용한 유산소

운동을 시킨 후 생체 모든 대사의 중심기관인 간조직의 항산화적 해독기능과 근피로 회복에 미치는 녹차의 효과를 관찰하였다.

재료 및 방법

실험동물, 식이 및 운동부하

실험동물과 식이 : 실험동물로는 체중 150 g 내외의 Sprague-Dawley종 수컷을 구입하여 실험에 이용하였다. 환경에 적응시키기 위하여 일주일 간 예비사육한 후 난괴법에 의해 정상군과 운동군으로 나누고 운동군은 다시 트레드밀운동만 부가한 T군(training group), 운동군에 녹차를 공급한 TG군(training-green tea)으로 나누었다(Table 1). 실험군 중 정상군과 T군은 식수로 증류수를 그리고 GT군은 사람들이 마시는 농도인 5% 녹차 추출물을 식수로 공급하였다. 식이는 실험 전기간을 통하여 수분 5.3%, 단백질 24.6%, 지방 5.4%, 탄수화물 54.7%, 섬유소 3.5%, 무기질 6.5%를 함유한 국내의 삼양사료로부터 구입한 실험동물용 고형사료를 자유 섭취토록 하였다. 식이와 식수는 자유섭취시켰다.

운동 부하 : 운동은 국내에서 제작된 실험 소동물용 전동 트레드밀(전국기계, 한국)을 이용하여 운동시켰으며 운동조건은 Table 2와 같다. 즉 모든 운동은 경사도 7%에서 주 5회씩 실시하였으며 첫주에는 10 m/min의 속도로 10분간, 2주째에는 20 m/min의 속도로 20분간, 3주째에는 25 m/min의 속도로 25분간 그리고 4주째에는 28 m/min의 속도로 30분씩 수행되었다.

장기채취

실험동물을 운동이 끝난 직후 pentobarbital로 마취시켜 복부 대동맥으로 혈액을 채취하고 2,000 rpm에서 20분간 원심분리한 후 혈청을 얻어 실험 전까지 냉동보관 하였다. 간장

Table 1. Classification of experimental groups

Groups ¹⁾	Treadmill	Drinking water ²⁾
Normal	-	distilled H ₂ O
T	+	distilled H ₂ O
TG	+	Green tea

¹⁾Normal: basal diet + distilled H₂O.

T: basal diet + training + distilled H₂O.

TG: basal diet + training + green tea.

²⁾5% tea extract solution: 5 gram of dry tea leaves were added to 100 mL hot distilled water in the beaker and extracted at 85°C for 3 min.

Table 2. Exercise training schedule of experimental rats

	Duration (week)			
	1	2	3	4
Speed (m/min)	10	20	25	28
Grade (degree)	7	7	7	7
Time (min)	10	20	25	30
Frequency (days/week)	5	5	5	5

은 생리식염수로 씻어내고 무게를 측정 후 액체 질소로 급속 동결시켜 -80°C 에 보관하였다.

간조직중의 xanthine oxidase(XOD) 활성 측정

간조직중의 XOD 활성도 측정은 xanthine을 기질로 하여 30°C 에서 10분간 반응시켜 생성된 uric acid를 파장 292 nm에서 흡광도를 측정하는 Stripe와 Dellacorte의 방법(21)을 이용하였다. 활성도 단위는 간조직의 단백질 1 mg이 1분 동안 반응하여 기질로부터 생성된 uric acid량을 nmol 농도로 표시하였다.

간조직중의 superoxide dismutase(SOD), glutathione peroxidase(GSHpx) 활성 측정

SOD 활성은 알칼리 상태에서 pyrogallol의 자동산화에 의한 발색을 이용한 Marklund와 Marklund의 방법(22)을, GSHpx 활성은 Lawrence와 Burk의 방법(23)에 의하여 측정하였다.

간조직중의 glutathione 함량 측정

Glutathione의 함량 측정은 Bernt와 Bergmeyer의 방법(24)에 따라서 측정하였다. 산화형 glutathione(GSSG)은 glutathione reductase 반응을 이용하였고 이 반응에서 소모된 NADPH량을 340 nm에서 측정하여 정량하였으며, 환원형 glutathione(GSH)은 glyoxalase 반응을 이용하여 생성된 S-lactosyl-GSH를 240 nm에서 측정하여 정량하였다(25).

간조직중의 과산화지질(TBARS) 함량 측정

과산화지질의 정량은 thiobarbituric acid(TBA)와 반응하여 생성되는 malondialdehyde를 측정하는 Satoh법(26)을 이용하였다.

간조직의 글리코겐 함량 측정

글리코겐 함량은 phenol과 Na_2SO_4 등을 첨가하여 흡광도 490~492 nm에서 측정하는 Lo 등의 방법(27)에 따라 실시하였다.

혈청 포도당 및 혈중 젖산 함량 측정

혈중 젖산 함량 측정은 Brin과 Dunlop의 방법(28)에 따라 헤파린으로 처리한 주사기로 혈액을 채취한 후 8% perchloric acid 효소를 불활성화시킨 후 3000 rpm에서 10분간 원심 분리하여 상층액을 측정용 시료로 이용하여 cocktail 용액(0.33 M glycine, 0.27 M hydrazine buffer, 0.83 mg of NAD^+ , 5 unit LDH(lactic dehydrogenase)을 가하고 perchloric acid와 lactic acid를 각각 시료에 가한 후 37°C shaking water bath에서 45분간 incubation한 후 340 nm에서 측정하였다. 혈당측정은 아산제약의 enzymatic kit AM 201 kit를 사용하여 500 nm에서 비색 정량하였다.

단백질 함량 측정

간조직의 단백질 함량은 bovine serum albumin을 표준 용액으로 하여 Lowry 등의 방법(29)에 의해 측정하였다.

통계처리

모든 실험결과에 대한 통계처리는 각 실험군별로 표준차

이가 있는가를 검정하기 위하여 분산분석(ANOVA 검증)을 수행하였으며, 분산분석결과 유의성이 발견된 경우 군간의 유의도는 Tukey's-HSD test에 의해 분석하였다.

결과 및 고찰

Xanthine oxidase 활성변화

Xanthine을 기질로 하여 요산을 생성하는 과정에서 superoxide radical을 생성하는 효소로서 유리기 생성계 효소로 알려진 XOD의 활성을 간조직에서 관찰한 결과는 Table 3과 같다. 유산소 운동군인 T군은 정상군에 비해 다소 증가되었으나 유의적인 수준은 아니었으며 녹차음료 공급군인 TG군은 T군에 비해 다소 감소하였으나 유의적인 수준은 아니었다.

Superoxide dismutase(SOD) 및 glutathione peroxidase 활성변화

생체내의 항산화적 방어기구 중에서 효소적 방어계의 하나로서 superoxide radical을 환원시켜 H_2O_2 로 전환시키므로써 산소독으로부터 생체를 보호하는 SOD활성을 간조직에서 관찰한 결과(Table 4) 유산소 운동군인 T군은 정상군과 차이가 없었으나 녹차를 공급한 TG군은 T군에 비해 유의적으로 증가되었다($p < 0.05$). Selenium을 함유하는 항산화 효소로 비타민 E와 함께 과산화물을 제거함으로써 세포막의 손실을 방어하는 GSHpx 활성은(Table 4) 녹차를 공급하지 않은 T군은 정상군과 차이가 없었으며 녹차를 공급한 TG군에서는 정상군에 비해 20% 증가되었다.

간조직중의 glutathione 함량

비효소적 방어기구 중의 하나인 간조직 중의 환원형 glu-

Table 3. Effects of green tea on hepatic xanthine oxidase activity after exercise in rats

Group	XOD (nmol/mg protein/min)
Normal	$0.46 \pm 0.18^{1)NS}$
T	0.53 ± 0.19
TG	0.49 ± 0.20

¹⁾All values are mean \pm SE (n=10).

²⁾NS: not significant.

The experimental conditions are the same as Table 1 and 2.

Table 4. Effects of green tea on hepatic superoxide dismutase and glutathione peroxidase activities after exercise in rats

Group	SOD	GSHpx
	(unit/mg protein)	(nmol NADPH/mg protein/min)
Normal	$3.89 \pm 0.31^{1)2)}$	202 ± 11.20^a
T	4.73 ± 0.42^a	214 ± 12.32^{ab}
TG	4.98 ± 0.31^b	242 ± 13.25^b

¹⁾All values are mean \pm SE (n=10).

²⁾Values within a column with different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Tukey's test.

The experimental conditions are the same as Table 1 and 2.

tathione(GSH) 함량과 산화형 glutathione(GSSG)함량은 Fig. 1과 같다. 환원형 glutathione(GSH) 함량은 정상군과 운동 실험군간에 유의적인 차이는 없었다. 산화형 glutathione (GSSG) 함량은 정상군에 비해 녹차를 공급하지 않은 운동군인 T군은 69% 증가를 보였으나 녹차를 공급한 운동군인 TG 군은 정상군 수준이었다. 또한 GSH/GSSG ratio는 정상군에 비해 T군에서 63% 감소되었으나 녹차를 공급하므로써 정상군 수준으로 회복되었다.

간조직중의 과산화지질(TBARS) 함량

생체조직의 과산화적 손상의 지표로 알려져 있는 지질과 산화가를 측정된 결과(Fig. 2) 정상군에 비해 T군은 52%로 증가되었으나, 녹차를 공급한 TG 군에서는 정상군 수준이었다.

간조직의 글리코겐 함량 및 혈중 포도당 함량

운동중 혈중 포도당 농도가 감소되면 감소된 근글리코겐

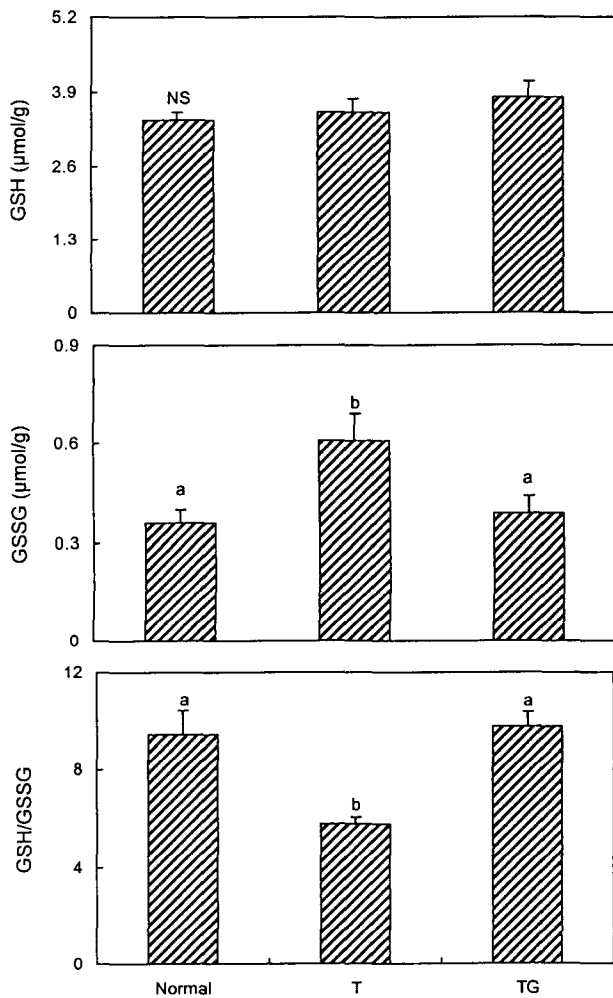


Fig. 1. Effects of green tea on hepatic glutathione contents after exercise in rats.
All values are mean ± SE (n 10).
Bars with different letters are significantly different at p<0.05 by Tukey's-HSD test.
The experimental conditions are the same as Table 1 and 2.

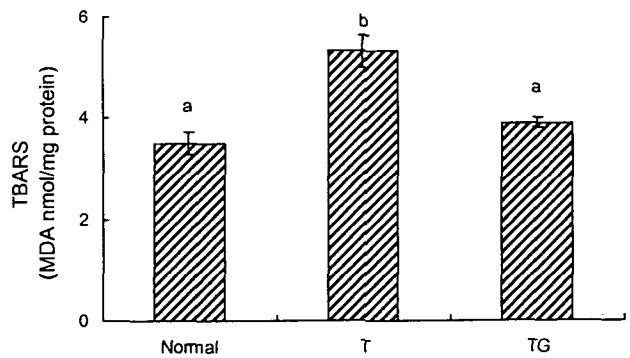


Fig. 2. Effects of green tea on hepatic TBARS after exercise in rats.
All values are mean ± SE (n: 10).
Bars with different letters are significantly different at p<0.05 by Tukey's-HSD test.
The experimental conditions are the same as Table 1 and 2.

량을 보충시켜줄 수 없기 때문에 피로를 유발하게 된다. 그러므로 운동 후 녹차의 공급으로 인한 근피로 회복을 알아보기 위해 글리코겐 함량을 측정된 결과는 Table 5와 같다.

간조직중 글리코겐 함량은(Table 5) 정상군에 비해 T군에서 23% 감소되었으나 녹차를 공급한 군인 TG군은 정상군 수준이었다. 따라서 운동에서 녹차의 공급은 간조직중의 글리코겐 함량을 증가시키기를 알 수 있었다. 그러나 혈중 포도당 함량은 실험군간의 유의적인 차이가 없었다.

혈중 젖산 함량

유산소 운동후 근피로도를 측정하기 위해 혈중 젖산 함량을 측정된 결과(Fig. 3) 정상군에 비해 T군에서 261% 증가되었다. 그러나 녹차를 투여한 TG군에서는 정상군 수준으로 유지되어 운동후 녹차의 공급이 혈중 젖산 함량을 현저하게 감소시키는 것으로 나타났다.

본 연구는 유산소 운동시 녹차의 항산화 효과와 근피로 회복을 관찰하기 위해 흰쥐에서 트레드밀을 이용한 유산소 운동후 간조직의 유리기 생성계 및 제거계 활성 변화와 이들 변화에 따른 조직의 산화적 손상 정도 및 근피로도를 관찰하였다.

최근 연구에서 과격한 운동을 할 경우에는 유리기 생성계와 제거계의 불균형으로 유리기 생성이 촉진되므로써 조직

Table 5. Effects of green tea on hepatic glycogen concentrations and serum glucose levels after exercise in rats

Group	Liver glycogen (mg/g)	Blood glucose (mg/dL)
Normal	31.02 ± 2.96 ^{1(a2)}	115.9 ± 7.60 ^{NS3)}
T	23.91 ± 1.22 ^{b)}	102.35 ± 9.10
TG	27.09 ± 3.16 ^{a)}	107.62 ± 6.12

¹⁾All values are mean ± SE (n-10).
²⁾Values within a column with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Tukey's test.
³⁾NS: not significant.
The experimental conditions are the same as Table 1 and 2.

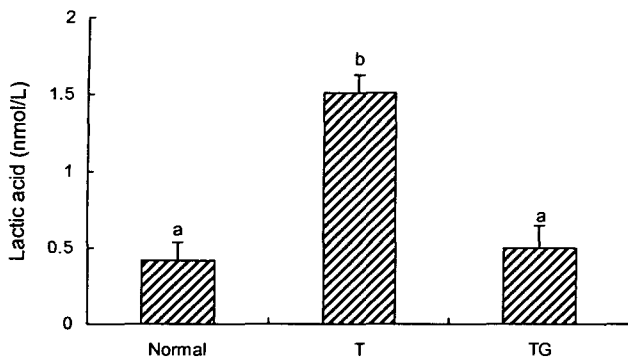


Fig. 3. Effects of green tea on lactic acid concentrations after exercise in rats.

All values are mean \pm SE (n=10).

Bars with different letters are significantly different at $p < 0.05$ by Tukey's-HSD test.

The experimental conditions are the same as Table 1 and 2.

이 산화적 손상을 입는다고 보고되고 있다(4,8,9). 생체내 유리기 생성계의 하나인 XOD는 purine, pyrimidine, aldehyde 류 및 heterocyclic compound 등의 대사에 관여하는 비특이적 효소로서 생체내에는 주로 purine체의 대사산물인 hypoxanthine을 xanthine으로, xanthine을 다시 산화시켜 요산을 생성하는 반응의 촉매로 작용하며 이 과정에서 유리기를 생성한다(30). Laughlin 등(31)의 보고에서는 운동후 골격근에서 XOD 함량이 증가된다고 하였다. 본 실험에서는 T군이 정상군에 비해 다소 증가되는 경향이었으나 유의적인 차이는 없었으며 또 녹차 공급군인 TG군이 T군에 비해 다소 감소하는 경향이었으나 역시 유의적인 수준은 아니었다. 이러한 결과는 Kim과 Rhee의 연구(9)에서 트레드밀을 이용한 유산소 운동 후 흰쥐 백근의 XOD 활성이 증가되었지만, Choi 등(8)이 같은 조건으로 유산소 운동을 시킨 경우이었지만 간조직에서는 유의적인 차이가 없었던 것으로 보아 조직에 따른 차이가 나타난 것으로 볼 수 있다.

SOD는 superoxide radical을 환원시켜 H_2O_2 로 전환시키며 이때 생성된 H_2O_2 는 GSHpx, catalase 등의 작용에 의해 H_2O 로 무독화 됨으로서 산소독으로부터 생체를 보호하게 된다(32-34). Ji(35)의 연구에서는 운동후 간장, 골격근 및 심장에서 SOD활성이 증가된다고 하였으나 탈진 운동 후 흰쥐의 심장근에서 SOD 활성이 감소된 연구 보고나 15분간의 자전거 에르고 메터 운동 후 SOD 활성도가 감소된다는 보고가 있다(36). 본 실험에서는 정상군에 비해 녹차를 공급하지 않고 운동시킨 T군에서는 차이가 없었으나 녹차를 공급한 TG군은 T군에 비해 유의적으로 증가되었다. 이러한 결과는 Choi 등(8) 및 Kim과 Rhee(9)의 트레드밀을 이용한 유산소 운동 후 glucuronic acid를 공급하므로써 간조직 및 백근조직의 SOD 활성이 증가되었다는 연구보고와 일치하는 경향이 있었다.

GSHpx는 생체내에서 H_2O_2 와 환원형 glutathione(GSH)으로부터 산화형 glutathione(GSSG)과 H_2O 를 생성하는 반

응과 기타 과산화물(ROOH)로부터 alcohol(ROH) 및 H_2O 를 생성하는 반응을 촉매한다(37). 본 실험에서 GSHpx활성은 정상군에 비해 T군에서는 정상군 수준이었으나, 녹차를 공급한 TG군에서는 정상군에 비해 20% 유의적으로 증가되었다. 이러한 결과는 Choi 등(8) 및 Kim과 Rhee(9)의 유산소 운동 후 glucuronic acid 공급시 간조직 및 백근중의 GSHpx 활성이 각각 증가되었다는 연구결과와 비슷한 경향이였다. 이와 같이 유산소 운동시에 녹차의 공급으로 SOD와 GSHpx 활성이 증가된 것은 녹차중의 catechin이 항산화제로 작용하여 세포막의 소기관들을 과산화로부터 방어하여 이들 효소 활성의 최적 구조를 유지시켜 주는데 기여한 것으로 사료된다(38).

Glutathione은 glutamic acid, cysteine, glycine으로 된 tripeptide로 cysteine의 -SH기에 기인되어 환원성을 가진 GSH로 된다. GSH는 쉽게 산화되어 hexapeptide인 산화형 GSSG로 변하며, 이 반응은 가역적으로 생체내의 산화·환원 반응에 중요한 역할을 한다. 특히 GSH의 기능은 심한 운동시 유산소성 조직의 산소소비가 증가함에 따라 활성 산소종 생성이 증가될 때에 매우 중요하다(4).

본 실험에서 간조직에서의 환원형 GSH 함량은 정상군과 운동군간의 유의적인 차이가 없었다. 산화형 GSSG 함량은 녹차를 공급하지 않은 운동군(T군)이 정상군에 비해 유의적으로 증가되었으며 녹차를 공급한 TG군은 정상군 수준이었다. 또한 운동으로 인한 GSH/GSSG의 감소를 녹차의 공급으로 정상군 수준으로 회복시켰다. 이러한 결과는 본 연구에서 GSHpx 활성이 증가된 결과와 관련시켜볼 때 녹차중의 catechin이 GSHpx 활성을 강화시킨 결과와 관련이 있는 것(39)으로 볼 수 있는데 Choi 등(8)이 유산소 운동 후 glucuronic acid를 공급하므로써 체내 GSH/GSSG 비를 개선시켰다는 연구보고와 비슷한 경향이였다. 이러한 결과는 GSHpx가 생체내에서 H_2O 와 환원형 GSH로부터 산화형 GSSG와 H_2O 를 생성하는 반응 이외에 기타 과산화물(ROOH)로부터 alcohol과 H_2O 를 생성하는 Haber-Weiss 반응을 촉매하므로 체내 과산화물의 축적을 감소시켜 GSH의 소비를 감소시킨 결과로 볼 수 있다.

생체내의 지질과산화 반응은 세포내 산화적 스트레스로 인한 free radical 생성의 증가 및 항산화적 방어능력의 감소로 더욱 가속화된다(40). 이러한 조직의 산화적 손상 지표가 되는 간 조직의 지질과산화물(TBARS) 함량은 정상군에 비해 녹차를 공급하지 않은 운동군인 T군에서 52% 증가하였으며 녹차를 공급한 TG군은 정상군 수준이었다. Choi 등(8)의 연구나 Kim과 Rhee의 연구(9)에서도 유산소 운동 후 간장 및 백근조직에서의 TBARS 함량이 크게 증가하였으며 또, Alessio(41)의 보고와 같이 운동후 산화적 스트레스의 증가로 인해 간조직의 지질과산화물이 증가한다는 결과와 일치한다. 이러한 결과는 cummiss 투여군에서 운동후 체내 대사 과정에서 생성된 유리기인 활성산소를 제거하는 시스템이

비투여군에 비해 활성화되어 활성산소에 의한 지질 과산화 반응을 사전에 억제하는 효과를 나타내었기 때문이라는 Roh와 Kim(42)의 보고와도 유사하다. 이상과 같이 유산소 운동 시에는 유리기 생성체인 XOD는 다소 증가하는 경향으로 나타나는 반면 항산화제인 SOD, GSHpx 및 GSH/GSSG 값은 감소하였고 TBARS값이 증가되었으나 녹차의 공급으로 이러한 항산화계의 불균형을 다소 개선시키는 효과가 있음을 알 수 있었다.

한편 운동시에는 체내 글루코오스가 감소되므로 간 또는 근육에 저장되어 있는 글리코겐이 곧바로 에너지원으로 사용하게 되는데 이로 인해 저장 글리코겐 고갈은 피로를 유발하게 된다(25). 본 연구에서 실험군간에 혈중 포도당의 변화는 없었으나 간조직 글리코겐 함량은 정상군에 비해 운동군인 T군이 유의적으로 감소되었고 녹차를 공급한 TG군에서는 정상군 수준이었다. 이는 운동중에 탄수화물을 섭취하는 것은 피로가 발생하는 시간을 지연시키고 혈중 글루코오스를 유지시켜 글리코겐을 절약할 수 있다는 보고(43)와 유사하였다. 또한 Choi 등(8)의 유산소 운동 후 간조직의 글리코겐 함량이 감소되었으나 glucuronic acid의 공급으로 간조직 중의 글리코겐 함량이 증가되었다는 연구보고와 일치하는 결과로 볼 수 있다.

운동중의 근육피로 발생의 주원인은 운동을 위한 에너지(ATP)생산과정에서 젖산이 생성, 축적되기 때문이다. 근육내 젖산이 축적되면 근육이 산성화되고, 중성이나 약알칼리성에서 높은 활성을 보이는 효소군의 활성이 저하되어 근육 운동에 필요한 ATP를 합성할 수 없게 된다. 이러한 젖산의 축적에 의한 근육의 산성화는 근육운동을 정지시켜 운동에 의한 근육피로를 일으키는 것이다. 본 실험에서 정상군에 비해 운동군에서 유의적으로 혈중 젖산 함량이 2.6배 이상 증가되었으며, 녹차를 공급한 TG군에서는 T군에 비해 유의적으로 감소되는 경향을 나타내었다. Choi 등(8)의 연구에서도 트레드밀 운동후 glucuronic acid를 공급하므로써 혈중 젖산함량을 감소시켜 근피로 회복에 효과적이라 보고하였으며 또한 Lee 등(44)의 보고에 의하면 홍삼과 전해질을 함유한 스포츠음료를 공급한 쥐에서는 운동능력 향상뿐만 아니라 혈중 젖산농도의 감소를 나타내었다. 이는 운동 전·후에 홍삼이나 전해질 및 녹차를 공급함으로써 혈중 젖산내성을 높여줄 뿐만 아니라 피로물질인 젖산 대사를 촉진시키는 것으로 볼 수 있다.

종합해 볼 때 본 실험에서 트레드밀을 이용한 유산소 운동군에 녹차의 공급은 유리기 제거계인 항산화 효소의 활성을 증가시킴으로서 조직의 산화적 손상이 감소되었다. 또 한편으로는 간조직의 글리코겐 함량 증가와 혈중 젖산 함량을 감소시켜 근피로 회복에 효과적임을 확인할 수 있었다. 이러한 효과는 녹차중에 함유된 카테킨을 비롯한 기타 생리 활성 물질에 의한 항산화 기능으로 사료된다.

이와 같이 녹차는 운동 후 조직의 과산화로부터 보호하고

피로물질의 축적을 감소시킴이 관찰되었으므로 과도한 운동을 하는 스포츠 선수뿐만 아니라 일반인에게 해독작용과 피로회복을 위한 우수한 기능성 식품으로 이용될 수 있을 것으로 믿으며 앞으로 더 구체적이고 기전적인 측면의 많은 연구를 추구할 필요가 있다고 사료된다.

요 약

본 연구는 녹차가 흰쥐 간조직의 유산소 운동 후 항산화계와 근피로 회복에 미치는 영향 및 그 작용기전을 관찰하고자 하였다. 실험동물은 150 g 내외의 Sprague-Dawley종 흰쥐를 정상군과 트레드밀을 이용한 운동군으로 나눈 후 운동군은 다시 트레드밀 운동만 부가한 T군, 운동군에 녹차를 공급한 TG군으로 나누었다. 실험군 중 정상군과 T군은 식수로 증류수를 그리고 GT군은 5% 녹차 추출물을 식수로 공급하였으며 식이와 식수는 자유섭취시켰다. 운동은 국내에서 제작된 실험 소동물용 전동 트레드밀을 이용하여 실시하였으며 매일 30분씩 주 5회씩 부하시키면서 4주간 행하였다. 1. 간조직중의 XOD 활성은 실험군간의 유의적인 차이가 없었다. 2. 간조직중의 SOD활성은 정상군에 비해 T군에서 유의적 차이가 없으나, T군에 비해 녹차를 공급한 군인 TG군은 유의적으로 증가(p<0.05)되었다. 3. 간조직중의 GSHpx활성은 T군에서는 정상군 수준이었고 녹차를 공급한 TG군에서는 정상군에 비해 20% 증가되었다. 4. 간조직중의 환원형 glutathione(GSH) 함량은 정상군과 운동군간의 유의적인 차이는 없었다. 산화형 glutathione(GSSG) 함량은 정상군에 비해 녹차를 공급하지 않은 T군에서 69% 증가되었으나 녹차를 공급한 TG군에서 유의적(p<0.05)으로 감소되었다. GSH/GSSG 함량은 정상군에 비해 녹차를 공급하지 않은 T군에서 63% 감소되었으나 녹차를 공급한 TG군에서는 정상군 수준이었다. 5. 지질과산화물 함량은 정상군에 비해 T군에서 52% 증가되었고 T군에 비해 녹차를 공급한 TG군은 정상군 수준으로 회복되었다. 6. 혈중 포도당 함량은 실험군간에 차이가 없었다. 간조직 글리코겐 함량은 정상군에 비해 녹차를 공급하지 않은 T군에서 23% 감소되었으나 녹차를 공급한 TG군에서는 정상군 수준이었다. 7. 혈중 젖산 함량은 정상군에 비해 T군이 261% 증가되었고 T군에 비해 녹차를 공급한 TG군은 정상군 수준이었다. 결론적으로 녹차는 유산소 운동시 항산화계를 강화시키고 피로회복을 촉진시켰다.

문 헌

1. Goodheart RH, Shils ME. 1980. *Modern nutrition in health and disease*. 6th ed. Felbriger, Philadelphia. p 1045.
2. Wood PD. 1984. Physical activity, diet and health: Independent and interactive effects. *Med Sci Sports Exerc* 26: 838-834.
3. Davies KJ, Quintanilha AT, Brooks GA, Packer L. 1982. Free radicals and tissue damage produced by exercise. *Biochem*

- Biophys Res Commun* 107: 1198-1205.
4. Ji LL. 1995. Exercise and oxidative stress: Role of the cellular antioxidant systems. *Gerontology* 37: 317-325.
 5. Tiidus PM, Houston ME. 1995. Vitamin E status and response to exercise training. *Sports Med* 20: 12-3.
 6. Reid MB, Haack KE, Frankchek KM, Valberg PA, Kobzik L, West MS. 1992. Reactive oxygen in skeletal muscle. Intracellular oxidant kinetics and fatigue in vitro. *J Appl Physiol* 73: 1797-1804.
 7. Kumar CT, Reddy VK, Prasad M, Thyagaraju K, Reddanna P. 1992. Dietary supplementation of vitamin E protects heart tissue exercise induced oxidant stress. *Mol Cell Biochem* 111: 109-115.
 8. Choi HM, Lee SC, Ryu SP, Rhee IK, Joo GJ, Rhee SJ. 2001. Effects of glucuronic acid derivatives isolated from xylan on antioxidative defense system and muscle fatigue recovery after aerobic exercise. *Korean J Nutrition* 34: 872-880.
 9. Kim KR, Rhee SJ. 2002. Effect of glucuronic acid derivatives isolated from xylan on antioxidative defense system in rat white gastrocnemius after aerobic exercise. *Korean J Nutrition* 35: 729-736.
 10. Baek YH. 1994. Effect of garlic intake on the antifatigue and fatigue recovery during prolonged exercise. *J Korean Soc Food Nutr* 24: 970-977.
 11. Parkhouse WS, Willis PE, Zhang J. 1995. Hepatic lipid-peroxidation and antioxidant enzyme responses to long-term voluntary physical-activity and aging. *Age* 18: 11-17.
 12. Somani SM, Ravi R, Rybak LP. 1995. Effect of exercise training of antioxidant system in brain regions in rat. *Pharm Biochem Behavi* 50: 635-639.
 13. Laughlin MH, Simonsen T, Sexton WL, Brown OR, Smith JK, Korthuis RJ. 1990. Skeletal muscle oxidative capacity, antioxidant enzyme and exercise training. *J Appl Physiol* 68: 2337-2343.
 14. Hayashi E, Hayashi M, Yamazoe H. 1990. Pharmacological action of tea extracts on the central nervous system in mice. *Oyo Yakuri* 40: 351-356.
 15. Kada T, Kaneko K, Matzuzaki S, Mntzaki T, Hara Y. 1985. Detection and chemical identification of natural bioantimutagen. *Mutation Research* 150: 127-131.
 16. Matzuzaki T, Hata Y. 1985. Antioxidative activity of tea leaf catechins. *Nippon Nogeikagaku Kaishi* 59: 129-134.
 17. Kim MJ, Choi JH, Yang JA, Kim SY, Kim JH, Lee JH, Kim JK, Rhee SJ. 2002. Effects of green tea catechin on enzyme activities and gene expression of antioxidative system in rat liver exposed to microwaves. *Nutrition Research* 22: 733-744.
 18. Rhee SJ, Kwag OG, Kim SO. 1998. Effect of catechin on the microsomal mixed function oxidase system and lipid peroxidation of lung in diabetic rats. *Kor J Gerontol* 8: 49-55.
 19. Nakayama T. 1994. Suppression of hydroperoxide induced cytotoxicity by poly phenols. University of Shizuoka, Japan. 7: 1991-1993.
 20. Park GY, Rhee JS, Im JG. 1997. Effects of green tea catechin on cytochrome P₄₅₀, xanthine oxidase activities in liver and liver damage in streptozotocin induced diabetic rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26: 901-907.
 21. Stripe F, Dellacorte E. 1969. The regulation of liver xanthine oxidase. *J Bio Chem* 244: 3855-3863.
 22. Marklund S, Marklund G. 1974. Involvement of the superoxide anion radical in antioxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. *Eur J Biochem* 47: 467-469.
 23. Lawrence RA, Burk RF. 1976. Glutathione peroxidase: Activity in selenium deficiency rat liver. *Biochem Biophys Res Commun* 71: 952-958.
 24. Bernt E, Bergmeyer HU. 1974. *Methods of enzymatic analysis: Glutathione*. 2nd English ed. Academic Press, New York. p 444-1641.
 25. Choi HM, Lee SC, Ryu SP, Rhee IK, Joo GJ, Rhee SJ. 2001. Effects of glucuronic acid derivatives isolated from xylan on antioxidative defense system and muscle fatigue recovery after aerobic exercise. *Korean J Nutrition* 34: 872-880.
 26. Satoh K. 1973. Serum lipid peroxidase in cerebrovascular disorders determined by a new colorimetric method. *Clinica Chimica Acta* 90: 37-43.
 27. Lo S, Russel JC, Taylor AW. 1970. Determination of glycogen in small tissue. *Appl Physiol* 28: 234-236.
 28. Brin M, Dunlop RH. 1965. Chemistry and metabolism of L- and D-lactic acids. *Ann NY Acad Sci* 119: 851-1165.
 29. Lowry OH, Rosenbrough NJ, Farr AL, Randall RJ. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J Bio Chem* 193: 265-275.
 30. Duke EJ, Joyce P, Ryan JP. 1973. Characterization of alternative molecular forms of xanthine oxidase in the mouse. *J Biochem* 131: 187.
 31. Laughlin MH, Simpson T, Sexton WL, Brown OR, Smith JK, Korthuis RJ. 1990. Skeletal muscle oxidative capacity, antioxidant enzymes and exercise training. *J Appl Physiol* 68: 2337-2343.
 32. Bus JS, Aust SD, Gibson JE. 1974. Superoxide and singlet oxygen catalyzed lipid peroxidation as a possible mechanism for paraquat (methyl viologen) toxicity. *Biophys Res Commun* 58: 749-753.
 33. Fridovich I. 1978. The biology of oxygen radicals, the superoxide radical is an agent of oxygen toxicity: superoxide dismutase provide an important defense. *Science* 201: 875-880.
 34. Chance B, Sies H, Boveris A. 1979. Hydroperoxide metabolism in mammalian organs. *Physiol Rev* 59: 527-605.
 35. Ji LL. 1993. Antioxidant enzyme response to exercise and aging. *Med Sci Sports Exerc* 25: 225-231.
 36. Shin MS, Kim WS, Kim YS, Kim SS. 1998. Exercise and oxidative stress. *Korean J Exercise Nutrition* 2: 1-23.
 37. Speisky H, Kera Y, Penttila KE, Israel Y, Lindros KO. 1988. Depletion of hepatic glutathione by ethanol occurs independently of ethanol metabolism. *Alcohol Clin Exp Res* 12: 224-228.
 38. Choi JH, Kim JH, Kim SY, Rhee SJ. 2000. Effect of green tea on gene expression of superoxide dismutase and glutathione peroxidase in rat liver exposed to microwave. *Kor J Nutr* 33: 733-738.
 39. Rhee SJ. 2000. Effects of green tea on antioxidative defense system and lipid peroxidation in rat liver exposed to microwaves. *Kor J Gerontol* 10: 7-13.
 40. Rhee SJ. 1998. Changes of the antioxidant system and tissue damage on kidney of streptozotocin-induced diabetic rats. *Kor J Gerontol* 8: 85-90.
 41. Alessio HM. 1993. Exercise-induced oxidative stress. *Med Sci Sports Exerc* 25: 218-224.
 42. Roh SK, Kim CH. 1999. The effects of cumiss supplementation on the changes of blood antioxidants and endurance in athletes. *J Korea Exerc Nutr* 3: 75-83.
 43. Maughan RJ, Fenn CD, Leiper JB. 1989. Effects of fluid, electrolyte and substrate ingestion on endurance capacity. *Eur J Appl Physiol* 58: 481-486.
 44. Lee MO, Kim YS, Park H, Eom HJ, Youn SW, Lee JG, Chung DS, Han JW. 1997. The effect of sports drink including red jinseng and electrolytes on the performance related physiological factors in elite hockey players. *J Korean Exerc Nutr* 1: 77-96.