

## The Effect of 4 Weeks of Treadmill Exercise and Protein Diet on Immunoglobulin and Antioxidant Enzyme in Rats

Chan-Soo Lee, Sang-Ho Lee, Gi-Dong Sung and Yeong-Ho Baek\*

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

Received June 12, 2010 / Accepted August 14, 2010

The purpose of this study was to investigate the effects of treadmill exercise and a protein diet on immunoglobulin and antioxidant enzymes in rats. Forty-four male Sprague-Dawley rats, 5 weeks old, were used. Experimental groups were divided into exercise with protein diet group (A, n=11), exercise group (B, n=11), protein diet group (C, n=11), and the control group (D, n=11). Exercise was administered through a treadmill running program (14~18 m/min, 0° grade, 20 min/day, 5 day/wk) and these rats were given a 40% protein diet for 4 wk. The results of this study are as follows: the protein diet group showed a significant increase in IgG of immunoglobulin compared to the exercise group and control group; the exercise with protein diet group and protein diet group showed a significant increase in SOD activity of antioxidant enzymes compared to the control group; the exercise with protein diet group, exercise group and protein diet group showed a significant increase in GPx activity of antioxidant enzymes compared to the control group; the exercise with protein diet group showed a significant increase in CAT activity of antioxidant enzymes compared to the protein diet group and control group. In conclusion, treadmill exercise and a protein diet were found to help with immunoglobulin and antioxidant enzymes. Further research regarding the effects of exercise and protein diets is required.

**Key words** : Protein diet, antioxidant enzyme, immunoglobulin

### 서 론

운동과 면역기능과의 관계는 체육학연구에서 관심의 대상이 되고 있다. 건강하고 오래 살기 위한 대중적 관심이 증대됨에 따라 운동과 면역에 대한 인식이 과거 어느 때 보다 높아지고 있고, 1993년에는 국제운동면역학회가 창설되었고, 운동에 의한 인체 면역기능의 변화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[23].

운동 수행 시 면역은 선수들뿐만 아니라 일반인의 건강과 신체활동에도 중요성이 부각되고 있으며 이중 백혈구아형과 면역글로불린은 인체를 방어하는 면역기능에 결정적인 역할을 담당한다[34].

면역글로불린은 항체(antibody)라고도 불리며 IgA, IgD, IgE, IgG, IgM으로 분류되는데, 이들 면역글로불린은 생물학적 역할과 인체에서 작용하는 부위가 서로 다르며, 병원체가 인체 내부로 유입되는 것을 막거나 항원-항체 복합체(antigen-antibody complexes)를 형성하여 박테리아나 바이러스가 조직에 결합할 수 없게 하거나 불활성화 시켜 대식세포에 의해 쉽게 제거될 수 있도록 도와주는 역할을 한다[34].

일반적으로 운동은 체내 면역체계와 방어체계를 향상시키

으로써 심혈관계 질환과 암 등의 질병을 예방하거나 그 질병의 속도를 늦출 수 있고, 감기나 상부 기관지의 감염을 감소시킨다[40]. 또한 규칙적인 운동은 IgA를 증가시켜 인체의 면역기능을 향상시킨다고 하였으며[48], 일회성 운동 시 IgM은 증가되나 IgG는 감소된다고[37] 하였다. 혈청 Ig 농도는 점진적 최대운동과 최대하 운동에서 증가하지만 매우 격렬한 운동과 탈진적 훈련에서는 면역글로불린이 감소한다고 하였다[32].

인체의 면역기능은 영양 상태에도 영향을 받는데, 면역기능에 영향을 주는 식이요인으로는 단백질과 열량부족, 영양과잉, 무기질과 비타민 부족, 지방 등이 있다[46]. 단백질은 인체의 다양한 조직의 주요 구성 성분이며 근육 내 효소 및 혈액의 세포성분을 구성하는 주요 성분 중 하나이다. 인체에 매우 중요한 필수영양소로서 다양한 생리적인 기능을 유지하는데 필요하며 운동 중에 에너지원으로 사용되기도 한다[20]. 또한 단백질은 단백질 분해 효소의 작용에 의해 유리 아미노산과 디펩타이드로 분해되는데 간으로 이동된 아미노산은 혈장 단백질 및 간세포대사에 필요한 단백질 합성에 사용되며, 알부민(albumin)이나 글로불린(globulin)같은 혈장 단백질은 혈액으로 이동되어 각각의 세포에서 필요한 단백질을 합성한다[22].

격렬한 형태의 신체적 활동은 산소를 많이 사용함에 따라 산화성 스트레스로 인한 활성산소(free radical) 생성량이 증가하여 인체에 미치는 유해성도 높아져[1], 이로 인해 여러 가지 효소의 결합을 유발하여 유해한 영향을 줄 수 있다[3]. 그러나

#### \*Corresponding author

Tel : +82-51-510-2719, Fax : +82-51-515-1991  
E-mail : yhpbaek@pusan.ac.kr

신체는 생리적인 조건하에서 활성산소를 처리할 수 있는 적절한 항산화 체계를 보유하고 있다.

일차적인 방어 기전으로 SOD, CAT, GPx과 같은 항산화 효소, 그리고 비타민 C, E 등의 항산화 비타민, glutathione과 같은 내인성 비효소계 항산화제가 있다[18]. 이들은 미토콘드리아의 매트릭스나 각 조직에 존재하여 산소 자유 라디칼 및 반응성 산소화합물의 독성을 제거함으로써 생체 항상성을 유지하는 것으로 알려져 있다[13]. 선행연구에서 규칙적인 훈련 집단과 비 훈련 집단을 비교하였을 때 혈중 항산화 물질농도와 항산화 효소 활성에는 현저한 차이가 있다고 하였다[51].

또한 항산화 효소는 다양한 생리학적, 병리학적, 영양학적 요인들에 의해서 영향을 받게 되며[14], 운동으로 인한 산화적 스트레스 시 특정한 항산화제가 조직들 간에 상호 전달된다는 보고도 있다[26]. 적당한 운동 강도로 트레이닝 할 경우 자유라디칼(free radical)의 유해 작용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 면역계를 자극하여 인체에 유익한 영향을 주는 것으로 기대된다[5].

운동선수들은 장기간 고강도 운동 시 산화적 스트레스 노출이 많음에도 불구하고 내성의 증가로 일반인보다 항산화효소의 활성도가 높다고 하였으며[47], 규칙적인 유산소 운동이 산화스트레스 방어능력과 세포손상을 감소시킴으로써[43] 에너지 대사 시 발생하는 산소유리기를 제거하는 효소의 활성을 증가시켜 신체 세포의 손상을 줄일 수 있다[11].

면역과 항산화효소는 영양상태[27]와 수행하는 운동의 종류, 운동방법, 운동기간, 운동경험 및 훈련의 정도와 운동 후 관리법 등에 따라서 긍정적인 또는 부정적인 영향을 줄 수 있다[9]. 선행연구에서 중강도 운동은 면역 기능을 개선시키는 반면[28], 고강도의 운동은 저하시킨다고 보고하고 있지만[24], 운동형태나 강도, 기간에 따라 일치하지 않은 결과도 있다[40]. 또한 지구성 훈련은 항산화 능력에 영향을 미치는데 골격근 및 심장과 같은 특수 조직의 항산화 능력을 향상시킨다[17]. 그러나 Power 등[43]은 지구성 훈련이 항산화 방어 능력의 증가를 가져오지 않는다고 하였으며, Tiidus 등[49]은 8 주간의 유산소성 운동이 항산화 적응 능력을 향상시키기에 충분하지 않다고 하였다.

규칙적인 운동은 항산화효소의 활성화를 비롯한 항산화 체계를 강화시킴으로써 활성산소의 공격을 막고, 동시에 초기면역과 그 이후의 적응면역을 증진시켜 면역반응을 도모하며[42] 또한 면역기능은 영양상태에 영향을 받는데, 단백질은 호르몬, 효소, 신경전달물질 등을 형성하여 활성산소를 제거하고, 면역체계를 구성하고 있는 세포들의 주요 구성 성분이다. 그러나 단백질과 관련하여 면역기능과 항산화 효소의 선행연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 4주간의 트레드밀 운동과 단백질 식이가 흰쥐의 면역글로불린 및 항산화 효소에 어떠한 영향을 미치는지 구명하는데 그 목적이 있다.

## 재료 및 방법

### 연구대상

실험동물은 생후 5주령 Sprague Dawley계 수컷 흰쥐 44마리(Life Science사 대구, Korea)를 구입하여 1주일간 일반사료로 적응시켰다. 그룹은 A (운동+단백질식이군, 11마리), B (운동군, 11마리), C (단백질식이군, 11마리), D (대조군, 11마리) 그룹으로 총 44마리로 구분하였다. 사육은 cage 50×30×25.5 cm의 크기에 2마리씩 사육하였으며, 사육실의 온도는 22.0±1.0°C, 상대습도는 50±10%로 조절하고, 명암주기는 12시간 간격으로 유지하였다. 체중측정은 동물측정용 분석용 전자저울(A&D Company Limited CE, Japan)로 측정하였다. 실험동물의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

### 식이조성 및 훈련방법

운동+단백질식이군과 단백질식이군은 단백질사료(조단백 40%, 조지방 4.24%, 조섬유 4.14%)를 섭취시켰으며, 운동군과 대조군은 일반사료(조단백 20.89%, 조지방 5.65%, 조섬유 5.52%)를 섭취시켰고[29], 물과 사료는 같은 조건으로 충분히 섭취하도록 하였으며 매일 사료의 양을 측정하였다.

실험동물의 운동은 트레드밀(Pro-Jog EJ36GLE, Korea Hi-Tech)로 실시하였으며, 총 4주간 주5회, 1일 20분으로 운동강도는 점진적으로 높였다. 운동프로그램은 Table 2와 같다[4,52]

### 시료수집 및 분석방법

각 실험군의 실험동물은 희생하기 전 12시간 이상 절식시켰으며, ethyl ether 마취 후 복부를 절개하여 복부대동맥에서 10 ml의 혈액을 채취하여 3,000 rpm에서 20분간 원심분리하였고 70°C에 보관하여 면역글로불린 및 항산화 효소를 분석하

Table 1. Physical characteristics of experimental rats

Group	Number	Aged (wk)	Body weight (g)
A	11	5	156.1±11.4
B	11	5	154.4±9.51
C	11	5	153.4±18.0
D	11	5	161.4±6.87

Values are M±SD.

A: exercise with protein diet group, B: exercise group, C: protein diet group, D: control group

Table 2. Treadmill running program for 4 wk

Time (min)	Step 1 (1 wk)	Step 2 (2~3 wk)	Step 3 (4 wk)
1~5	14 m/min, 0°	14 m/min, 0°	15 m/min, 0°
6~10	15 m/min, 0°	15 m/min, 0°	16 m/min, 0°
11~20	15 m/min, 0°	16 m/min, 0°	18 m/min, 0°

였다.

면역글로불린(IgA, IgG, IgM) 분석방법은 면역혼탁도 측정 방법으로 독일의 Roche Diagnostic Systems사 제품인 IGGT, IGA, IGM 시약을 사용하였다. 혈청에 각각의 항혈청을 섞은 후 37°C에서 10분간 항온시킨 후 Integra800 (Roche, Switzerland)로 340 nm의 파장에서 흡광도를 측정하고 표준곡선농도에 대입하여 IgA, IgG, IgM의 농도를 구하였다.

항산화 효소 분석에서 SOD활성도 측정은 시험관에 50 mM potassium phosphate buffer (containing 0.1 mM EDTA, pH =7.8) 990 µl, 증류수 17 µl, 시료 17 µl, 5 µM sodium xanthine 17 ml을 넣어 총 SOD를 측정하고, 시험관에 50 mM potassium phosphate buffer (containing 0.1 mM EDTA, pH =7.8) 990 µl, 증류수 17 µl, 120 mM KCN 17 µl을 넣고, 시료 17 µl, 5 µM sodium xanthine 17 ml을 넣은 다음 25°C, 550 nm에서 흡광도를 측정하였다.

GPx의 활성도 측정은 GSH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 기질로 사용하였으며, NADPH, GSSGR를 촉매로 하여 GPx효소 시료와 함께 vortexing한 후, cumene H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 95 µl를 증류수 10 ml에 넣어 vortexing 후 working buffer 0.8 ml와 0.1 ml H<sub>2</sub>O와 0.1 ml sample을 잘 섞은 후 0.1 ml cumene hydroxide 용액을 첨가하여 340 nm 파장에서 2분간 scanning하여 흡광도를 측정하였다. GPx 활성도의 단위는 1분간 1 mg의 단백질이 반응하여 산화된 NADPH를 nM로 나타내었다.

CAT 활성도 측정방법은 50 mM 인산 완충액(pH 7.0)으로 희석시킨 측정 시료 2.0 ml에 30 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 용액 1.0 ml를 넣은 후 20°C에서 파장 240 nm에서의 흡광도 변화를 측정하였다. 효소의 활성도는 1분간 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 1 mol을 분해시키는 효소의 양을 1 unit로 표시했다.

**자료처리**

자료는 SPSS Ver 12.0 통계 package를 이용하여, 각 변인들 간에 평균 및 표준편차를 산출한 후 집단간 one-way ANOVA를 실시하였고, 사후검증은 Duncan방법을 이용하였으며, 유의수준은 α=0.05로 설정하였다.

**결 과**

**면역글로불린**

면역글로불린을 분석한 결과는 Table 3과 같다. IgA는 운동+단백질식이군이 20.0±9.07 mg/dl이며, 운동군은 15.5±11.02 mg/dl이었다. 단백질식이군은 13.5±7.20 mg/dl이었고, 대조군은 16.4±8.05 mg/dl으로 집단 간 유의한 차이는 없었다.

IgG는 운동+단백질식이군이 37.7±17.2 mg/dl이었고, 운동군은 30.2±13.16 mg/dl이었다. 단백질식이군은 46.4±20.0 mg/dl으로 운동군(p<0.05)과 대조군(p<0.01)보다 유의하게 높았다. 대조군은 27.0±9.12 mg/dl이었다.

IgM는 운동+단백질식이군이 16.0±7.98 mg/dl이었고, 운동군은 12.5±10.85 mg/dl이었다. 단백질식이군은 17.7±10.11 mg/dl이며, 대조군은 11.0±6.62 mg/dl으로 집단간 유의한 차이는 없었다.

**항산화효소**

항산화효소를 분석한 결과는 Table 4와 같다.

SOD는 운동+단백질식이군이 2330.6 U/g Hb으로 대조군보다 유의하게(p<0.01) 높았다. 운동군은 1968.1 U/g Hb이었고, 단백질식이군은 2259.1 U/g Hb으로 대조군보다 유의하게(p<0.05) 높았으며, 대조군은 1828.2 U/g Hb이었다.

Table 3. Changes in immunoglobulin contents

Variable	Group A (n=11)	Group B (n=11)	Group C (n=11)	Group D (n=11)	F-value	Duncan
IgA (mg/dl)	20.0±9.07	15.5±11.02	13.5±7.20	16.4±8.05	1.030 <sup>NS</sup>	
IgG (mg/dl)	37.7±17.2	30.2±13.16	46.4±20.0	27.0±9.12	3.443 <sup>*</sup>	B,D<C
IgM (mg/dl)	16.0±7.98	12.5±10.85	17.7±10.11	11.0±6.62	1.253 <sup>NS</sup>	

Values are M±SD.

A: exercise with protein diet group, B: exercise group C: protein diet group, D: control group.

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001.

Table 4. Changes in antioxidant enzyme contents

Variable	Group A (n=11)	Group B (n=11)	Group C (n=11)	Group D (n=11)	F-value	Duncan
SOD (U/g Hb)	2330.6±344.54	1968.1±435.17	2259.1±475.84	1828.2±361.48	3.742 <sup>*</sup>	D<A,C
GPx (nmol/min/ml)	81.1±25.08	85.7±11.25	83.4±23.58	64.6±12.04	2.771 <sup>*</sup>	D<A,B,C
CAT (nmol/min/ml)	313.4±81.05	274.1±47.62	222.4±95.10	227.1±53.39	3.919 <sup>*</sup>	C,D<A

Values are M±SD.

A: exercise with protein diet group, B: exercise group, C: protein diet group, D: control group.

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001.

GPx는 운동+단백질식이군이 81.1 nmol/min/ml으로 대조군보다 유의하게( $p < 0.05$ ) 높았고, 운동군도 85.7 nmol/min/ml으로 대조군보다 유의하게( $p < 0.05$ ) 높았다. 단백질식이군은 83.4 nmol/min/ml으로 대조군보다 유의하게( $p < 0.05$ ) 높았고, 대조군은 64.6 nmol/min/ml이었다.

CAT는 운동+단백질식이군이 313.4 nmol/min/ml으로 단백질식이군( $p < 0.01$ )과 대조군보다( $p < 0.05$ ) 유의하게 높았다. 운동군은 274.1 nmol/min/ml이었고, 단백질식이군은 222.4 nmol/min/ml이며, 대조군은 227.1 nmol/min/ml이었다.

## 고 찰

### 면역글로불린

연구결과 IgA와 IgM은 집단 간 유의한 차이는 없었으며, IgG는 단백질식이군이 운동군과 대조군보다 유의하게 높았다.

면역글로불린은 인체의 면역기능을 담당하는 중요한 물질로 알려져 있는데, IgA는 혈장에 일부 존재하며 주로 점막과 인체표면을 감싸는 분비선에서 발견되고, IgM은 IgM은 최초 면역단계에서 분비되는 주요 Ig 아이소타입이며 항체 중에서 분비형 IgA가 가지고 있는 역할은 바이러스가 호흡기 표피세포에 붙은 후 표피층을 통과하여 세포 내로 침입한 뒤 번식하게 되는 일련의 과정이 진행되는 것을 막아주는 역할을 하며 [9], IgG는 혈장에서 가장 풍부한 항체로서 80~85%로 구성되어 있다[34].

면역에 관한 선행연구에서 중·저 강도로 운동 하였을 때 면역기능이 향상된다고 하였으나[48], 강하고 간헐적인 운동은 스트레스로 작용하여 면역기능이 감소한다고 하였고[37], 낮은 운동능력은 운동 시 스트레스의 증가나 이로 인한 면역글로불린 생산과 관련된 호르몬, 세포 수용기 수, 민감성의 감소 등을 초래하거나[33], 운동으로 인한 면역기능에 필수적인 주요 연료인 Glucose와 Glutamin의 사용으로 인한 임파계(lympoid system)의 Glutamin 부족으로 면역 기능이 감소할 가능성이 있다고 하였다[50].

면역글로불린은 중강도 운동을 했을 경우 타액 속에 분비되는 IgA와 혈청 IgG 수준에 별다른 변화가 없다고 하였으며, 장시간의 강도 높은 훈련 중에는 혈청과 침 속에 포함된 면역글로불린은 모두 감소한다고 하였으며[9], 60~70% HRmax로 에어로빅 운동을 중년여성에게 실시한 결과 IgG는 유의하게 감소하였지만 IgA와 IgM은 유의한 차가 나타나지 않았다고 보고하였다[16]. 또한 유산소운동은 IgG의 농도를 증가하지만 IgA와 IgM은 감소한다고 하였다[41].

그럼으로 운동에 대한 혈청 Ig 농도는 점진적 최대운동과 최대하 운동에서 증가하며[32], 적절한 운동과 트레이닝을 통해서 향상시킬 수 있는 반면, 부적절한 운동이나 과도한 운동은 면역학적 향상성을 방해하거나 항체 반응을 억제시키고 질병에 감염될 비율을 증가시킨다[23]. 또한 면역세포의 반응

은 운동유형, 운동시간에 대한 통제능력, 심리적 자극, 저·고온 환경, 영양 상태, 수면, 상해 등에 따라 다르게 나타난다고 하였다[36].

따라서 낮은 운동강도의 유산소운동은 IgA와 IgM에 영향을 주지 못한 것으로 생각되며, 식이에 있어서 단백질 섭취부족은 임파구의 아형인 B세포의 생합성을 저해하여 면역글로불린 생성 결핍을 유발한다고 하였는데[8], 단백질 식이로 인하여 이러한 면역글로불린의 생성 결핍을 막은 것으로 사료되고, 단백질식이군에서 IgG의 증가는 IgG가 감염증에 대한 저항력 강화와 직접적인 관련이 있기 때문에[39] 증가한 것으로 사료된다.

### 항산화 효소

연구결과 SOD는 운동+단백질식이군과 단백질식이군이 대조군보다 유의하게 높았으며, GPx는 운동+단백질식이군, 운동군, 단백질식이군 모두 일반식이군보다 유의하게 높았고, CAT는 운동+단백질식이군이 단백질식이군과 대조군보다 유의하게 높았다.

다량의 산소섭취가 요구되는 고강도 및 지구성 운동 시 산소소비량은 휴식상태의 10~20배까지 증가하여 산화적 스트레스를 유발하고 각종 대사물질과 면역계, 내분비계와 근육 손상 그리고 허혈-재관류 현상과 활성산소 증가에 대한 악영향을 초래하는데[20], 활성산소는 격렬한 신체활동 후에 골격근상해와 염증의 중간자 역할을 한다[6]. 산소를 이용하는 모든 생물체는 활성산소가 생성되는데 동시에 활성산소를 제거하는 항산화 효소도 공존하기 때문에 활성산소의 독성을 제거할 수 있다[17].

대사 과정 중에서 생성되는 활성 산소종에 의한 단백질, 핵산 및 생체막 손상은 SOD (superoxide dismutase), CAT (catlase), GPx (glutathione peroxidase), 비타민 E, glutathione 등의 항산화 효소에 의해 방어되어지며[49], 운동에 의해 항산화제의 활성도가 높아져 활성산소의 유해를 최소화 할 수 있으며, 운동 시 항산화제 섭취는 운동능력 향상에 긍정적인 영향을 줄 수도 있음을 시사하고 있다[25].

SOD는 활성산소의 첫 번째 생성물인 과산화 음이온을 제거하는 역할을 하는 효소이고, 특히 운동으로 인한 산화적 스트레스에 대처하는 효소로서 항산화 방어체계에서 가장 중요한 효소이다.

단거리 선수와 마라톤 선수들이 운동을 하였을 때 운동 직후 SOD 활성도가 증가하였다고 하였는데, 이는 규칙적인 운동으로 인해 산화적 스트레스에 대한 체내 항산화 방어 기제의 능력이 증가한 것으로 해석되고 있다[35]. 그러나 훈련된 장거리 스키 선수들이 점진적 부하 트레이닝에서 탈진할 때까지 달렸을 때 적혈구 SOD 활성도의 감소를 보고한 상반된 연구도 있다[12].

흰쥐를 7.5주간 트레이닝에서 훈련시킨 결과 훈련군이 대조

군에 비해 SOD가 130% 증가됨을 보고하였다[45]. 또한 쥐를 대상으로 12주간 고강도 트레이닝과 중강도 지속적 트레이닝 연구에서 골격근인 외측광근과 비복근, 가자미근 내에서 항산화 효소 활성도를 분석하였는데, SOD 활성도는 비복근과 가자미근에서 높게 나타났다. 이런 결과는 운동 상황에서 주로 쓰이는 골격근이 비복근과 가자미근이며, 이들 근육에서 미토콘드리아의 산소 소비가 증가되고 활성산소 발생에 대한 영향을 가장 많이 받기 때문이다[15].

따라서 4주간의 트레드밀운동에 따른 점진적운동 강도증가와 단백질 섭취가 근육의 발달로 인해 미토콘드리아의 산소 소비가 증가되어, 산화적 스트레스에 대한 항산화 능력이 증가하여 SOD 활성도가 높은 것으로 사료된다.

GPx는 과산화수소에 대한 큰 친화력을 갖는 항산화 효소로서, 운동 중 산소섭취의 증가는 생체 내 hydrogen peroxide와 organic hyperperoxides를 제거하기 위해 GPx를 활성화시키고, 항산화 방어 체계의 정상적인 과정에서 환원형 glutathione (GSH)은 hydrogen peroxide를 제거하기 위한 GPx의 기질로서 사용된다[49].

남자고등학생을 대상으로 12주간 저항 트레이닝에 따른 GPx 농도는 안정 시 유의성은 나타나지 않았지만 최대부하운동 직후에는 유의한 증가가 나타났다는 연구결과[30]와 장기적인 훈련집단에서 GPx 활성이 높게 나타났는데 이러한 이유는 최대산소섭취량과 높은 상관관계를 갖는다고 하였다[44].

따라서 규칙적인 운동을 통해 GPx의 활성이 높아졌으며, 단백질 섭취를 통해 근육이 발달하여 운동능력이 향상되어 산소섭취량이 증가함으로 GPx의 활성도가 증가한 것으로 사료된다.

CAT는 과산화수소를 물로 분해하여 세포의 손상을 방지한다[10]. 선행연구에서 마우스에 유산소 운동을 실시한 결과 GSHpx, CAT수준이 증가하였으며, 지구성 훈련은 조직의 항산화 능력에 영향을 미치는데 골격근, 심장과 같은 특수 조직의 항산화 능력을 향상시킨다고 하였다[17].

저강도 운동보다 고강도 운동에서 CTA의 활성도가 관찰된다고 하였으며[20], 12주간의 운동으로 CTA가 증가하였다고 하였고[2], 지속적인 훈련이 CTA의 활성에 유의한 영향을 미친다고 하였다[43]. 이러한 항산화 능력의 적응은 심한 운동 시 산소 섭취량의 증대에 의해 발생하는 활성산소종에 대한 세포의 중요한 보호 작용을 의미한다[31].

따라서 CAT 활성도의 증가는 탈진적운동이나 급격한 운동 시 증가한다고 하였는데[17], 이러한 결과는 점진적인 운동강도 증가와 단백질 섭취를 통해 항산화 체계에 시너지 효과가 나타난 것으로 사료된다.

규칙적인 훈련은 혈중 항산화 물질의 농도와 항산화 효소활성이 나타났다고 하였으며[51], 장기적인 유산소 훈련을 한 훈련군에서 ROS 생성과 더불어 항산화 체계가 활성화 되어 산화적 스트레스를 막아준다고 하였다[7]. 따라서 4주간의 규칙

적인 운동과 단백질 섭취 통해 흰쥐의 운동능력과 근육의 발달을 가져와 미토콘드리아의 산화능력이 향상되어 산소섭취량이 증가하고 활성산소 또한 증가됨으로써 산화적 스트레스를 줄이기 위해 항산화 효소의 활성도가 증가한 것으로 생각되며, 적절한 운동강도와 유산소운동이 항산화 방어체계에 긍정적인 영향을 준 것으로 사료된다.

## References

1. Alessio, H. M. and A. H. Goldfarb. 1998. Lipid peroxidation and scavenger enzymes during exercise : adaptive response to training. *J. Appl. Physiol.* **64**, 1333-1336.
2. Bae, C. W. 2001. The effect of long-term regular running aerobic exercise on the activation of antioxidant enzymes and lipid peroxidation. *Korean J. Phy. Edu.* **40**, 829-839.
3. Bank, W. and B. Chance. 1994. An oxidative defect in metabolic myopathies diagnosis by noninvasive tissue oximetry [see comments]. *Ann. Neurol.* **36**, 830-837.
4. Bedford, T. G., C. M. Tipton, N. C. Wilson, R. A. Oppliger, and C. V. Gisolfi. 1979. Maximum oxygen consumption of rats and its changes with various experimental procedures. *J. Appl. Physiol.* **47**, 1278-1283.
5. Boyum, A., P. E. Wiik, O. Gustavsson, P. Veiby, J. Reseland, A. H. Haugen, and P. K. Opstad. 1996. The effect of strenuous exercise, calorie deficiency and sleep deprivation white blood cells, plasma immunoglobulins and cytokines. *Scand. J. Immunol.* **43**, 228-235.
6. Dekkers, J. C., L. J. van Doornen, and H. C. Kemper. 1996. The role of antioxidant vitamins and enzymes in the prevention of exercise induced muscle damage. *J. Sports Med.* **21**, 213-238.
7. Evans, W. J. 2000. Vitamin E, Vitamin C and exercise. *Am. J. Clin. Nutr. Aug.* **72**, 647-652.
8. Gleeson, M. and N. C. Bishop. 2000. Elite athlete immunology: importance of nutrition. *Int. J. Sports Med.* **21**, 44-50.
9. Gleeson, M., D. B. Pyne, J. P. Austin, J. L. Francis, W. A. McDonald, and P. A. Fricker. 2002. Epstein-Barr virus reactivation and upper respiratory illness in elite swimmers. *Med. Sci. Sports Exerc.* **34**, 411-417.
10. Halliwell, B. 1991. Reactive oxygen species in living system. Sources, biochemistry and role in human disease. *Am. J. Med.* **91**, 14-22.
11. Hartmann, A. and A. M. Niess. 1998. Oxidative DNA damage in exercise. *Pathophysiology* **5**, 112.
12. Hubner-Wozniak, E., B. Panczenko-Kresowka, K. Lerczak, and J. Posnik. 1994. Effects of graded treadmill exercise on the activity of blood antioxidant enzymes, lipid peroxides and nonenzymatic antioxidants in long-distance skiers. *Biol. Sport* **11**, 217-226.
13. Hyun, S. J., S. T. Jung, and S. M. You. 2002. Effect of antioxidant supplementation during prolonged exercise on antioxidant enzyme activity of skeletal muscle and histomorphologica change of cardiac or skeletal muscle damage in rat. *Korean J. Phy. Edu.* **41**, 491-506.

14. Lim, W. G. and D. J. Jung. 1998. A during exercise oxygen radical and reactive oxygen. *Korean J. Sports Res.* **9**, 271-280.
15. Jenkins, R. R., K. Krause, and L. S. Schofield. 1993. Influence of exercise in clearance of oxidant stress products and loosely bound iron. *Med. Sci. Sports Exerc.* **25**, 213-217.
16. Jeon, Y. J. and J. K. Lee. 2006. Effects of aerobic exercise on the improvement of immunity in middle-aged women. *Korean J. Phy. Edu.* **45**, 463-471.
17. Ji, L. L. 1995. Exercise and oxidative stress: role of the cellular antioxidant systems. *Exer. Sports Sci. Review* **23**, 135-166.
18. Ji, L. L. and E. W. Mitchell. 1994. Effect of adriamycin on heart mitochondrial function in rested and exercised rat. *Biochemical Pharmacology* **263**, 137-149.
19. Ju, Y. S. 2005. Effects of resistance training on plasma lipid peroxidation and antioxidant enzymes concentration. *Korean J. Exer. Nutr.* **9**, 57-64.
20. Kim, C. G. 2001. The change of oxidative damage's factors, antioxidant enzymes & related variables for the period of vitamin mixture supplement at specific exercise intensities. Ph. D. Dissertation. Dankook University.
21. Kim, H. S. 1997. Effect of acute exercise on nitric oxide generation from macrophages, and oxygen radical production and antioxidant enzyme activity in mouse tissues. Ph. D. Dissertation. Sookmyung. University.
22. Kim, S. H., C. H. Yu, M. H. Kang, S. H. Kim, G. J. Kim, J. M. Lee, and H. O. Lee. 2001. Science of Nutrition. Shin Kwang Publisher.
23. Kim, W. S. 2003. A role of during exercise physiological variation improve ergogenic aids. *Korean Society of Food Science* **53**, 89-98.
24. Kohut, M. L., R. T. Jame, L. Wanglok, and E. C. Joan. 2004. Exercise training-induced adaptations of immune response are mediated by  $\beta$  adrenergic receptors in aged but not young mice. *J. Appl. Physiol.* **96**, 1312-1322
25. Kosta, J. D. and S. E. Berthouze. 2000. Physical activity, aerobic capacity and selected markers of oxidative stress and the anti-oxidant, defence system in healthy active elderly men. *Clin. Physiol. Oxford* **20**, 185-190.
26. Kretzschmar, M. and D. Muller. 1993. Aging, training and exercise: a review of effects of plasma glutathione and lipid peroxidation. *Sports Medicine* **15**, 196-209.
27. Kwak, Y. S., C. W. Kim, and Y. H. Paik. 2007. Immunological aspects of contemporary exercise. *J. Life Sci.* **17**, 1166-1171.
28. Kwak, Y. S., I. Y. Paik, C. H. Kim, and J. H. Woo. 2002. The effect of swimming training on spleen index, total lymphocytes, and lymphocyte proliferation in BALB/c mice. *Korean J. Phy. Edu.* **41**, 535-542.
29. Laure Chevalier, M. S., C. Bos., C. Gryson, C. Luengo, S. Walrand, D. Tomé, Y. Boirie, and C. Gaudichon. 2009. High-protein diets differentially modulate protein content synthesis in visceral and peripheral tissues in rats. *Nutrition* **25**, 932-939.
30. Layman, D. K. 2002. Role of leucine in protein metabolism during exercise and recovery. *Can. J. Appl. Physiol.* **27**, 592-608.
31. Leeuwenburgh, C., J. Hollander, S. Leichtweis, M. Griffiths, and L. L. Ji. 1997. Adaptation of glutathione antioxidant system to endurance training are tissue and muscle fiber-specific. *Am. J. Physiol.* **272**, r363-r369.
32. Lin, J. Y., S. Lu, Y. L. Liou, and H. L. Liou. 2006. Increased IgA and IgG serum levels using a novel yam-boxthorn noode in a BALB/c Mouse model. *Food and Chemical Toxicology* **44**, 170-178.
33. Mackinnon, L. T. and D. G. Jenkins. 1993. Decreased salivary immuno globulins after intens interval exercise before and after training. *Med. Sci. Sports Exer.* **25**, 141-149.
34. Marieb, E. N. 1998. Human anatomy and Physiology, Fourth edition, Benjamin / Cummings Publishing Co. California. **612-617**, 723-725.
35. Marzatico, F., O. Pansarasa, L. Bertorelli, L. Somenzini, and G. Della Valle. 1997. Blood free radical antioxidant enzymes and lipid peroxides following long-distance and lactacidemic performances in highly trained aerobic and sprint athletes. *J. Sports Med. Physical Fitness* **37**, 235-239.
36. Ndon, J. A., A. C. Synder., C. Foster, and W. B. Wehreberg. 1992. Effects of chronic intense exercise on the leckocyte response to acute exercise. *Int. J. Sports Med.* **29**, 289-296.
37. Nehlsen-Cannarella, S. L., D. C. Nieman, J. Jessen, L. Chang, G. Gusewitch, and G. Blix. 1991. The effects of acute moderate exercise on lymphocyte function & serum immunoglobulin levels. *Int. J. Sports Med.* **12**, 391-398.
38. Nieman, D. C. and S. L. Nehlsen-Cannarella. 1991. The effects of acute and chronic exercise of immunoglobulins. *Sports Med.* **11**, 183-201.
39. Nieman, D. C., S. L. Nehlson-Cannarella, P. A. Markoff, A. J. Balk-Lamberton, H. Yang, D. B. Chritton. W., J. W. Lee, and K. Arabat-zis. 1990. The effects of moderate exercise training on natural killer cells and actue upper respiratory tract infections. *Int. J. Sports Med.* **11**, 467-473.
40. Nieman, D. C. 2003. Current perspective on exercise immunology. *Curr. Sports. Med. Rep.* **2**, 239-242.
41. Oh, Y. S., K. S. Lee, H. S. Han, C. H. Yang, D. S. Yang, J. Y. Cho, and M. H. Kim. 1999. Effect of Aerobic Training on Blood Cells and Immune Function in Middle aged Women. *Korean J. Sports Med.* **17**, 205-214.
42. Paik, Y. H., Y. S. Kwak, J. K. Sung, J. H. Woo, J. H. Park, and S. H. Oh. 2001. The Effects of Prolonged exercise on Antioxidant Enzymes in genetically hypercholesterolemic strain of rats. *Korean J. Phy. Edu.* **40**, 348-355.
43. Powers, S. K., J. Criswell, L. L. Ji, D. Martin, R. A. Herb, and G. Dudley. 1999. Influence of exercise intensity and duration on antioxidant enzyme activity in skeletal muscle differing in fiber type. *Am. J. Physiol.* **266**, R375-R380.
44. Robson, P. J., A. K. Blannin, N. P. Walsh, L. M. Castell, and M. Gleeson. 1999. Effects of exercise intensity, duration and recovery on in vitro neutrophil function in male athletes. *Int. J. Sports Med.* **20**, 128-135.
45. Somani, S. M., R. Ravi, and L. P. Rybak. 1995. Effect of exercise training of antioxidant system in brain regions in rat. *Phnam. Biochem. Behavi.* **50**, 635-639.
46. Styne, D. M. 1999. Childhood obesity : Time for action, not complacency. *Am Fam. Physician.* **59**, 758-762.

47. Takanami, Y., H. Iwane, Y. Kawai, and T. Shimomistu. 2000. Vitamin E supplementation and endurance exercise are there benefits. *Sports Med.* **29**, 73-83.
48. Tharp, C. D. and M. W. Barnes. 1999. Reduction of salivary immunoglobulin levels by swimming. *Eur. J. Appl. Physiol.* **60**, 61-64.
49. Tiidus, P. M. and M. E. Houston. 1995. Vitamin E status and response to exercise training. *Sport Med.* **20**, 12-23.
50. Verde, T. J., G. Scott, R. W. Thomas, P. S. Moore, and J. Roy. 1992. Immune responses and increased training of the elite athlete. *J. Appl. Physiol.* **73**, 1494-1499.
51. Vincent, H. K., S. K. Powers, D. J. Stewart, H. A. Demirel, R. A. Shanely, and H. Naito. 2000. Short-term exercise training improves diaphragm antioxidant capacity and endurance. *Eur. J. Appl. Physiol.* **81**, 67-74.
52. Yoon, J. H., T. B. Seo, N. S. Jin, J. O. Kim, W. S. Ji, E. M. Lim, S. O. Choi, and H. H. Lee. 2008. A study of *in vivo* and *in vitro* on aerobic exercise on functional activation of schwann cells following sciatic nerve crush injury in rats. *Korean J. Phy. Edu.* **47**, 451-461.

### 초록 : 4주간의 트레드밀 운동과 단백질 식이가 흰쥐의 면역글로불린 및 항산화효소에 미치는 영향

이찬수 · 이상호 · 성기동 · 백영호\*  
(부산대학교 체육교육과)

실험동물은 생후 5주령의 Sprague Dawely계 수컷 흰쥐로 운동+단백질식이군(11마리), 운동군(11마리), 단백질식이군(11마리), 대조군(11마리)으로 총 44마리로 구분하였다. 운동은 총 4주간 트레드밀운동으로 주 5회, 1일 20분, 점진적으로 운동강도를 높여 실시하였고, 식이는 단백질 40%를 섭취시켜 다음과 같은 결론을 얻었다. 면역글로불린에서 IgG은 단백질식이군이 운동군과 대조군보다 높았다. 항산화효소에서 SOD는 운동+단백질식이군과 단백질식이군이 대조군보다 유의하게 높았고, GPx는 운동+단백질식이군, 운동군, 단백질식이군이 대조군보다 유의하게 높았으며, CAT는 운동+단백질식이군이 단백질식이군과 대조군보다 유의하게 높았다. 이상의 결과를 통해 트레드밀운동과 단백질식이가 면역글로불린 및 항산화 효소에 긍정적인 영향을 미친 것으로 생각되며, 향후 운동강도와 단백질식이와 관련하여 지속적인 연구가 필요하다.