

[원저]

젊은 여성들에서 고강도 운동 후 혈중 산화스트레스 지표들의 변화

주 미 현

전주대학교 대체의학대학 대체건강관리학부

- 요약 -

연구배경	적절한 강도를 벗어난 급격한 운동은 산화스트레스를 유발할 가능성이 높은 것으로 보고되고 있다. 따라서, 본 연구는 젊은 여성들에서 고강도운동 후 혈중 산화스트레스 지표들의 변화에 대하여 조사하는데 목적을 두었다.
방 법	운동 습관이 없고, 규칙적인 월경주기를 지닌 8명의 일반여성들이 본 연구에 참가하였다. 2개월간의 기초체온 측정과 노에 의한 배란 검사를 실시하여, 규칙적인 월경주기를 지닌 것으로 확인되었다. 모든 피험자는 고강도운동(80% $\dot{V}O_2\text{max}$ 강도, 22.5minute)을 실시하였다. 젖산은 운동 전(Pre)과 운동 직후(PO)에 채혈된 혈액에서 측정되었다. 혈중 산화스트레스 지표 (적혈구 TBARS, SOD, GPx 그리고 혈청 CPK)들은 Pre, PO, P2, P12 및 P24에서 채혈된 혈액에서 측정되었다.
결 과	혈중 젖산은 Pre와 비교하여 PO에서 유의하게 증가하였다. 적혈구 TBARS는 Pre와 비교하여 P12에서 유의하게 증가하였다. 적혈구 SOD 활성은 Pre와 비교하여 P24에서 유의하게 감소하였다. 적혈구 GPx활성은 Pre와 비교하여 운동 후 시간경과에 따른 유의한 변화를 나타내지 않았다. 혈청 CPK는 Pre와 비교하여 PO에서는 유의하게 감소하였으며, P12에서는 유의하게 증가하였다.
결 론	규칙적인 월경주기를 지닌 일반여성에서 월경기에 실시한 고강도운동은 혈중 산화스트레스를 증가시키며, 특히 고강도 운동을 마친 뒤 12시간 이후에는 활성산소의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 그러므로 운동습관이 없는 일반여성은 월경기에 강도가 높은 격렬한 운동을 피하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. (대한임상건강증진학회지 2008;8(3):150~157)
중심단어	고강도운동, 산화스트레스, 젊은 여성

서 론

최근, 건강에 대한 관심이 높아짐에 따라, 남녀노소를 불문하고 운동에 참여하는 인구가 증가하고 있다. 운동은 근력, 심폐지구력 및 순발력 등과 같은 체력을 증가시키며, 혈압을 낮추고, 체중을 감소시키며, 당뇨병과 콜레스테롤 감소에도 유익한 것으로 알려져 있다.¹⁾ 그러나 격렬한 운동은 오히려, 면역기능의 저하, 근육피로, 산화스트레스 등을 유발시킬 가능성이 있는 것으로 보고되고 있다.²⁾

인체내에서 증가된 활성산소는 지질이나 단백질 및 DNA 등을 산화시킴으로써, 세포나 조직 등을 손상시키고 결국, 동맥경화나 암 등과 같은 악성 질환을 유발한다. 반면, 인체내

에는 활성산소의 공격으로부터 신체를 보호하는 항산화시스템이 존재하는데, Superoxide dismutase (SOD), Catalase (CAT), Glutathione Peroxidase (GPx) 등의 항산화 효소와 비타민C, 비타민E, Glutathione 등과 같은 항산화물로 구성되어 있다.³⁾ 산화스트레스는 인체내에서 활성산소의 생산과 항산화시스템 사이의 불균형이 깨진 상태를 말한다.⁴⁾ 운동시 산소섭취량은 약 10-15배까지 증가하기 때문에 활성산소의 발생량도 증가될 것으로 예상된다.⁵⁾ 이러한 산소 소비량의 증가와 더불어, 허혈-재관류의 과정 및 백혈구의 활성화로 인해 미토콘드리아에서 free radicals이 발생되는데, 이는 특히 extramuscular 조직과 적혈구에서의 운동 중 산화스트레스의 원인이 될 가능성이 높다.⁶⁻⁷⁾ 건강증진에 유익한 운동이 적절한 강도를 벗어났을 때, 산화스트레스를 유발하여 오히려 인체에 부정적인 영향을 미칠 가능성이 있다는 사실 때문에 운동과 활성산소의 관계를 규명하기 위한 노력이 계속되고 있다. 실제로, Laaksonen 등⁸⁾은 건강한 젊은 남자에서 최대산

• 교신저자 : 주 미 현 전주대학교 대체의학대학 대체건강관리학부

• 주 소 : 전주시 완산구 백마길 45(효자동 3가 1200)

• 전 화 : 063-220-3229

• E-mail : joomihyun@jj.ac.kr

• 접수일 : 2008년 4월 10일 • 채택일 : 2008년 8월 27일

소섭취량(maximal oxygen up take: $\dot{V}O_2\text{max}$)의 60% 강도의 자전거 에르고미터 운동이 혈중 thiobarbituric acid reactive substances(TBARS)를 유의하게 증가시켰다고 보고하였으며, Toshinai 등⁹⁾은 건강한 젊은 남자를 대상으로 서로 다른 운동 강도와 시간에서 자전거 에르고미터운동을 수행한 결과, 80% $\dot{V}O_2\text{max}$ 강도에서 과산화지질의 지표인 혈중 TBARS 농도와 항산화 효소인 Total superoxide dismutase (T-SOD) 활성이 유의하게 증가하였다고 보고했다. 그러나 이들 연구의 대부분이 남성을 대상으로 이루어지고 있어, 여성을 대상으로 한 연구는 극히 미흡한 실정이다.

여성 호르몬인 estrogen은 여성의 월경주기에서 그 농도가 월경기에 가장 낮고, 배란직전에 가장 높은 것으로 알려져 있다. 최근, 이 estrogen이 항산화 효과를 가지는 것으로 알려져 있으며¹⁰⁾, 우리는 이전의 연구¹¹⁾에서, 여성을 대상으로 월경주기 중 estrogen농도가 높은 시기와 낮은 시기에 60% $\dot{V}O_2\text{max}$ 운동을 실시하여, 월경주기와 운동으로 유발된 산화스트레스의 관계에 대하여 조사하였다. 그 결과, 혈중 estrogen 레벨이 높은 시기에 운동을 할 경우, 운동으로 유발되는 free radical이 제거되기 쉬울지도 모른다는 결론을 얻었다. 따라서 젊은 여성을 대상으로 estrogen의 농도가 가장 낮은 월경기에 고강도운동을 시행함으로써 운동과 산화스트레스의 관계를 좀 더 명확히 조사하는 것은 매우 흥미로울 뿐만 아니라, 건강증진을 위해 운동을 하는 여성들에게 중요한 기초 데이터를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 목적은 젊은 여성들을 대상으로 월경주기 중 estrogen의 농도가 가장 낮은 월경기에 고강도 운동을 실시한 뒤, 운동 후 혈중 산화스트레스 지표들의 변화에 대하여 조사하는 것이다.

방 법

1. 연구 대상

본 연구의 대상자들은 일본 T대학의 간호학부 여학생들로, 규칙적인 월경주기를 지닌 8명 (23.4 ± 0.5 age, mean \pm SE)이 본 연구에 참여하였다. 개개인의 건강 및 월경주기 상태, 운동습관, 흡연, 영양보조식품 및 약의 복용 등에 관한 설문 조사를 실시하여, 건강하며, 흡연 및 운동습관이 없고, 실험 전, 적어도 6개월간 경구 피임약 및 영양보조식품을 복용하지 않은 자를 본 실험의 연구대상으로 선정하였다. 대상자들은 실험에 앞서, 2개월간, 기초체온(basal body temperature: BBT) 측정과 뇨에 의한 배란검사(Dotest LH ovulation day

test, Rohto Pharmaceutical, Japan)를 1회 실시하여 규칙적인 월경주기를 확인하였다. 본 연구의 대상자들은 실험 전, 연구의 취지와 실험내용에 대한 정확한 설명을 듣고 이해한 후, 자발적으로 본 실험에 참가하였으며 실험참가 동의서를 작성하였다. 또한 본 연구는 일본의 Tsukuba대학 대학원 인간종합과학연구과 연구윤리위원회의 심사를 받아 승인되었다.

2. 연구 방법

1) 식사조사

대상자들에게 실험직전 3일간의 식사내용을 기록하도록 지시하였다. 또한, PC용 영양평가 소프트웨어(Excel Nutrition v2.3, Kenpakusha, Tokyo)를 사용하여, 피험자의 총 에너지 섭취, 단백질, 지방, 탄수화물 및 항산화 비타민류(비타민 A, 비타민 B₂, 비타민 C, 비타민 E)의 섭취량을 계산하였다. 운동 후의 아침 식사(운동 종료 후 2시간 사이)는 식이로 인한 항산화물의 영향을 피하기 위해, 모든 피험자에게 동종·동량의 음식을 섭취시켰으며, 운동후 점심식사와 저녁식사도 항산화비타민류의 음식, 음주, 영양보조식품 및 약 등을 섭취하지 않도록 피험자에게 지시하였다. 대상자들의 운동테스트 전 3일간의 식사조사 결과는 표 1에 나타났다. 참고로 젊은 여성의 동 연령층의 2005년도 한국인 영양섭취기준(Dietary Reference Intakes for Koreans: KDRIs)을 제시하였다.

Table 1. Nutrition intake of subjects.

Variable	Mean \pm SE	KDRIs*
Calories (kcal)	1822.8 \pm 116.1	2,100
% Protein	13.9 \pm 0.9	7~20
% Fat	28.4 \pm 1.9	15~25
% Carbohydrate	57.7 \pm 1.8	55~70
Vitamin A (μ gRE) [†]	483.3 \pm 26.8	650
Vitamin E (mg)	7.1 \pm 0.4	10
Vitamin B ₂ (mg)	1.0 \pm 0.1	1.2
Vitamin C (mg)	99.0 \pm 8.6	100

Values are expressed as mean \pm SE of 8 subjects.

[†] Retinol equivalents, 1 retinol equivalent= μ g.

*KDRIs: 한국인 영양섭취기준(Dietary Reference Intakes for Koreans) 2005.

2) 운동프로토콜

① 최대 운동 부하 테스트

모든 피험자에게, 최대운동부하 테스트의 전날과 당일에 격렬한 신체 활동, 음주, 약의 복용 등을 금지시켰다. 피험자들의 최대 산소 섭취량($\dot{V}O_2\text{max}$)을 측정하기 위하여, 자전거 에르고미터 (232CXL, COMBI Co, Japan)를 이용한, 최대 운동 부하 테스트를 실시하였다. 자전거 에르고미터 위에서 2

분간 안정을 취한 후, 3분간 위밍업(60 rpm, 60W에서 1분마다 20W씩 부하를 증가시킴)을 실시하였다. 그 후, 60 rpm으로 2분마다 20W씩 부하를 점증적으로 증가시켰으며, all-out 상태까지 수행하였다. 운동량의 증가에도 불구하고 분당 $\dot{V}O_2$ 가 150mL 이상 증가 하지 않는 고원(plateau)상태의 발현과 예상되는 최대심박수(220-연령)의 도달, 그리고 자각적 운동 강도가 17이상일 때, 중에서 2가지 이상에 해당하는 경우를 $\dot{V}O_{2max}$ 로 간주하였다(ACSM, 2000). 운동 중의 환기 파라미터는 호기가스분석기(Aeromonitor AE-280S, Minato, Japan)를 이용하여 breath by breath로 연속측정해서, 산소 섭취량($\dot{V}O_2$), 이산화탄소 배출량($\dot{V}CO_2$), 및 환기량($\dot{V}E$)의 매30초마다의 평균치를 산출하였다. 측정된 $\dot{V}O_{2max}$ 로부터, 각 피험자의 80% $\dot{V}O_{2max}$ 운동 강도를 산출하였다.

② 80% $\dot{V}O_{2max}$ 고강도운동

고강도운동은 각 피험자들의 월경주기 중 estrogen농도가 가장 낮은 월경기(생리시작~3일 이내)에 실시하였으며, 최대 운동 부하 테스트로부터 적어도 3일 이상의 간격을 두고 실시하였다. 고강도운동 실시 당일, 피험자는 오전 6시 30분~8시 사이에 실험실에 도착하여 30분간 안정을 취한 뒤, 키, 체중, 체지방량, 혈압 등을 측정한 다음, 본 운동에 임하였다. 피험자는 자전거 에르고미터 위에서 안정을 취한 뒤, 회전수 60 rpm, 40% $\dot{V}O_{2max}$ 의 부하로 3분간 위밍업을 실시하였다. 그 후, 각 피험자는 자신의 80% $\dot{V}O_{2max}$ 부하로 22.5분간 자전거 에르고미터운동을 실시하였다. 운동 강도를 80% $\dot{V}O_{2max}$ 로 유지하기 위해, 운동 수행 중 $\dot{V}O_2$ 를 간헐적으로 측정하여 자전거 에르고미터의 부하를 적절하게 조절하였다.

3) 혈액검사

고강도운동의 실시 전날과 실시당일은 저녁식사 후, 12시간 이상 공복상태를 유지하도록 지시하였다. 간호사에 의해 전완정맥으로부터, 운동 전(Pre)과 운동 직후(P0), 운동 종료 후 2시간(P2), 운동 종료 후 12시간(P12), 운동 종료 후 24시간(P24)에서 채혈을 실시하였다.

젖산은 운동 전(Pre)과 운동 직후(P0)에 채혈된 혈액에서 측정되었다. 채혈된 혈액 중 혈청샘플은 3,000 rpm(4°C)에서 10분간, 원심분리하여 얻어졌으며, estradiol, progesterone 및 Creatine PhosphoKinase(CPK)의 분석에 사용될 때까지 -20°C에서 냉동보관 하였다. 과산화지질의 지표인 TBARS를 측정하기 위한 적혈구 샘플은 Braun과 Fromherz¹²⁾의 방법을 이용하여 분리하였으며 분석에 이용될 때까지 -80°C에서 냉동보관 하였다. 항산화효소인 SOD활성을 측정하기 위한 적혈

구 샘플은 Tsuchihashi법¹³⁾을 이용하여 분리하였으며 분석에 이용될 때까지 -20°C에서 냉동보관 하였다. 또 다른 항산화효소인 GPx활성을 측정하기 위해, 채혈된 혈액을 3,000 rpm(4°C)에서 10분간 원심분리하여, 상청액과 백혈구(white buffer layer)를 제거하고 남은 적혈구 200μl를 800μl의 HPLC-water(4°C)에 넣어 원심분리(9000rpm, 15분, 4°C) 한 뒤, 상청액 100μl를 적혈구GPx시료로서 분석에 이용될 때까지 -80°C에서 냉동보관 하였다. 젖산은 혈중젖산측정기(Lactate proTM/ARKRY Marketing, Inc.)를 사용하여 측정하였으며, 혈청 estradiol과 progesterone 농도는 전기화학발광면역측정법(ECLIA법)¹⁴⁾에 의하여 측정하였고, 혈청 CPK는 JSCC (일본임상 화학회) 표준화대응법에 의하여 측정하였다. 과산화지질의 지표인 TBARS는 Oxi-Tek TBARS Assay Kit (ALEXIS Biochemicals, U.S.A)를 사용하여 측정하였다. 또한, 항산화효소인 SOD활성은 SOD Assay Kit-WST(Dojindo Molecular Technologies, Inc. Japan)를 사용하여 측정하였으며, GPx활성은 Glutathione Peroxidase Assay Kit (Cayman Chemical Company, U.S.A)를 사용하여 측정하였다. 또한, 혈청샘플에서 운동 후 혈장량의 변화는 Dill과 Costill¹⁵⁾의 방정식에 의하여 조절되었으며, 적혈구 TBARS와 SOD 및 GPx활성의 농도는 hemoglobin으로 보정하였다.¹⁶⁾

3. 통계분석

젖산의 운동 전(Pre)과 운동 후(P0) data의 비교는 paired-t test를 실시하였고, 산화스트레스 지표들의 운동 전(Pre)과 운동 후 시간경과(P0, P2, P12, P24) data들의 비교는 One-way repeated measures ANOVA를 실시하였으며, 유의차가 있을 경우, post-hoc test(Dunnet test)를 실시하였다. 모든 통계처리는 Dr. SPSSII for Windows Version (SPSS Japan Inc., Tokyo, Japan)을 이용하였고, 측정항목에 대한 평균값(M)과 표준오차(SE)를 산출하였으며, 통계적 유의 수준은 p<0.05로 정하였다.

결 과

1. 대상자의 신체적 특성

건강하고 운동습관이 없는 젊은 여성 8명의 신체적 특성은 표 2에 나타났다. 대상자의 평균연령은 23.4±0.5years였고, 신장과 체중은 각각 160.4±2.9cm과 51.7±3.3kg였다. 또한, 체지방은 25.5±3.6%이고 body mass index(BMI)는 20.1±1.3였으며, 최대산소섭취량은 36.1±4.2 mL/kg/min이었다.

Table 2. Physical characteristics.

Variable	Mean \pm SE
Age (years)	23.4 \pm 0.5
Height (cm)	160.4 \pm 2.9
Weight (cm)	51.7 \pm 3.3
Body fat (%)	25.5 \pm 3.6
BMI (kg/m ²)	20.1 \pm 1.3
$\dot{V}O_2$ max (mL/kg/min)	36.1 \pm 4.2

Values are expressed as mean \pm SE of 8 subjects.

BMI: body mass index

$\dot{V}O_2$ max: maximal oxygen up take

2. 월경주기와 혈청 estradiol 및 progesterone 농도

대상자들은 기초체온 측정과 뇨에 의한 배란검사를 실시한 결과(표 3), 평균 월경주기가 31.3 \pm 1.2 days로 모두 정상 월경주기(25~38일)를 지닌 것으로 확인되었다. 또한, 고강도운동은 각 대상자들의 월경주기 중 월경기(생리시작~3일 이내)에 실시하였는데, 혈청 estradiol(43.5 \pm 2.7 pg/mL) 및 progesterone(0.7 \pm 0.1 ng/mL) 농도는 본 실험이 개개인의 월경기에 정확하게 실시되었음을 나타내는 결과이다.

Table 3. Menstrual cycle and hormone level.

Variable	Mean \pm SE
Menstrual cycle (days)	31.3 \pm 1.2
Estradiol (pg/mL)	43.5 \pm 2.7
Progesterone (ng/mL)	0.7 \pm 0.1

Values are expressed as mean \pm SE of 8 subjects.

3. 고강도운동 전·후의 혈중 젖산농도의 변화

본 실험에서 실시한 운동이 고강도에서 적절하게 실시되었는지를 확인하기 위해, 운동 전·후의 혈중 젖산농도를 측정하였다. 그 결과, 혈중 젖산농도는 운동 전(Pre)이 1.4 \pm 0.3 mg/dl 이었고, 고강도운동 직후(P0) 7.4 \pm 0.6 mg/dl로 유의하게 증가하였다($p<0.05$).

4. 고강도운동 전·후의 혈중 산화스트레스 지표들의 변화

적혈구 TBARS농도는 운동 전(Pre) 344.3 \pm 11.6 nmol/g Hb과 비교하여 운동 후 12시간(P12)에서 407.1 \pm 24.6 nmol/g Hb로 유의하게 증가하였다($p<0.05$) (그림 1). 적혈구 SOD 활성은 운동 전(Pre) 1068.3 \pm 71.3 U/g Hb과 비교하여 운동 후 24시간(P24)에서 926.8 \pm 80.0 U/g Hb로 유의하게 감소하였다($p<0.05$) (그림 2). 적혈구GPx활성은 운동 전(Pre)과 비교하여

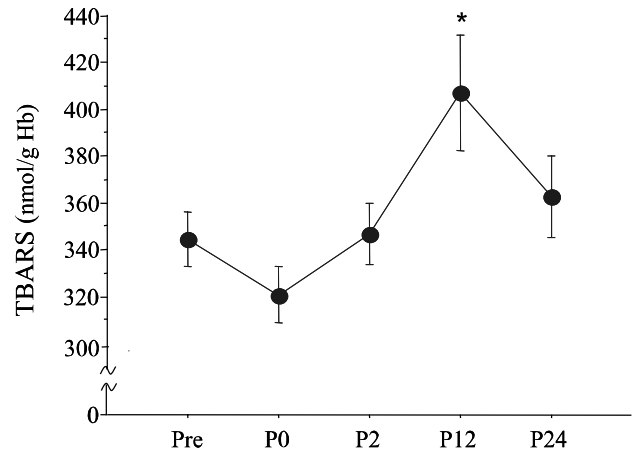


Figure 1. Change of erythrocyte TBARS after the 80% $\dot{V}O_2$ max exercise. Results are expressed as mean \pm SE of 8 subjects. * $p<0.05$, at each time course(P0h, P2h, P12h, P24h) compare with Pre, by One-way repeated measures ANOVA. Pre: before exercise. P0: immediately after exercise. Post 2, 12, 24: 2h, 12h, 24h after exercise. TBARS: thiobarbituric acid reactive substances.

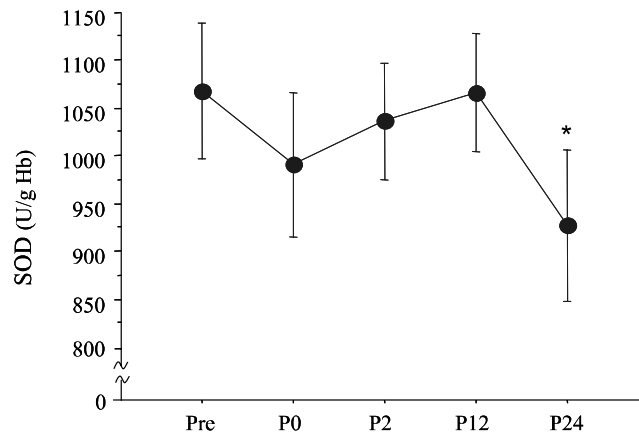


Figure 2. Change of erythrocyte SOD activity after the 80% $\dot{V}O_2$ max exercise. Results are expressed as mean \pm SE of 8 subjects. * $p<0.05$, at each time course(P0h, P2h, P12h, P24h) compare with Pre, by One-way repeated measures ANOVA. Pre: before exercise. P0: immediately after exercise. Post 2, 12, 24: 2h, 12h, 24h after exercise. SOD: superoxide dismutase.

운동 후 시간경과에 따른 유의한 변화를 나타내지 않았다. 혈청 CPK는 운동 전(Pre) 71.0 \pm 6.8 IU/L과 비교하여 운동 직후(P0) 57.11 \pm 4.6 IU/L로 유의하게 감소하였으며($p<0.05$), 운동 후 12시간(P12)에서는 88.1 \pm 7.8 IU/L로 유의하게 증가하였다($p<0.05$) (그림 3).

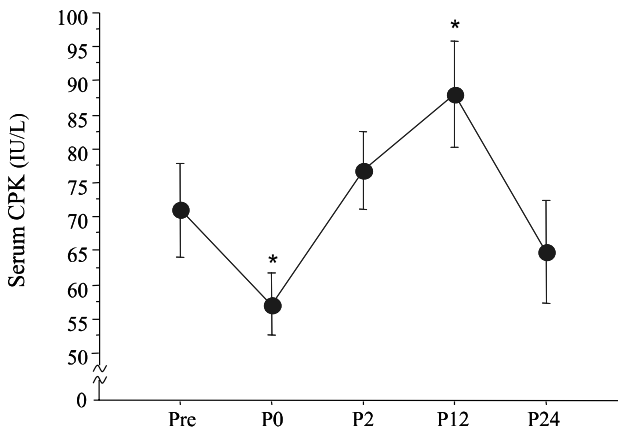


Figure 3. Change of CPK after the 80% $\dot{V}O_{2max}$ exercise. Results are expressed as mean \pm SE of 8 subjects. * $p<0.05$, at each time course(Poh, P2h, P12h, P24h) compare with Pre, by One-way repeated measures ANOVA. Pre: before exercise. P0: immediately after exercise. Post 2, 12, 24: 2h, 12h, 24h after exercise. CPK: creatine phosphokinase.

고 찰

산화 스트레스와 운동은 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있으며, 활성산소는 조직의 손상에 매우 중대한 역할을 할 뿐만 아니라, 적혈구에도 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다.¹⁷⁾ 고강도운동에 따른 적혈구 및 근육의 산화스트레스 지표들의 변화를 조사한 연구는 주로 남성을 대상으로 이루어지고 있으며, 남성과 비교한 연구에서 여성들은 estrogen의 항산화작용 때문에 남성에 비해, 산화스트레스가 낮은 것으로 보고되고 있다.²⁾ 그러나, 젊은 여성들을 대상으로 고강도 운동이 산화스트레스에 미치는 영향에 대하여 조사한 연구는 매우 드물다. 따라서 본 연구는 젊은 여성들에서 월경주기 중 estrogen 수치가 가장 낮은 월경기에 22.5분간의 80% $\dot{V}O_{2max}$ 고강도운동을 실시한 뒤, 운동 후 시간의 경과에 따른 혈중 산화스트레스 지표들의 변화에 대하여 조사하였다.

여러 연구들에서, 격렬한 신체적 활동은 산화적 스트레스를 통해 지질의 산화를 이끌어 내는 것으로 나타났다.^{7,18)} 적혈구에는 불포화지방산이 많이 함유되어 있는데, 활성산소는 세포막, 단백질 및 그외의 세포구성요소 등에 존재하는 불포화지방산과 빠르게 반응하기 때문에 적혈구막의 지질을 공격할 가능성이 있다고 보고하였다.¹⁹⁾ Senturk 등¹⁸⁾은 좌업생활 남성에서 자전거에르고미터에 의한 최대운동을 실시한 결과 운동 후 2시간과 12시간에 채혈된 혈액에서 적혈구 TBARS가 유의하게 증가되었다고 보고하였다. 본 연구에서 고강도운동

후 적혈구 TBARS농도는 Pre와 비교하여 P12에서 유의하게 증가하였으며, Senturk 등¹⁸⁾의 연구와 유사한 결과를 나타냈다. 대부분의 연구에서, 운동으로 유발된 산화스트레스는 운동 직후에 유의하게 증가하는 것으로 나타났지만, 지질과산화 반응은 운동 후 시간이 경과한 후에 증가될 가능성이 있는 것으로 보고되었다.^{7,20)} 운동으로 유발된 산화스트레스의 이와 같은 늦은 증가는 운동 중의 산소섭취량 증가에 따른 미토콘드리아의 free radicals발생이 원인이기 보다는 오히려 백혈구 및 macrophage의 활성화 그리고 허혈-재관류과정으로 인한 xanthine oxidase의 활성화에 의존하는 것으로 알려져 있다.^{7,21)}

Superoxide dismutase (SOD)는 산소에서 과생된 superoxide anion(O_2^-)을 제거하며, 여러 조직의 산화적 손상을 보호하는 역할을 담당하는 항산화 효소중의 하나이다.²²⁾ Ohno 등²³⁾은 15분간의 자전거 에르고미터 운동 후 SOD활성이 감소하였다고 보고하였으며, 진영수 등²⁴⁾도 젊은 남성에서 anaerobic threshold(AT) 수준의 110% 강도의 트레드밀 달리기를 실시한 결과, 회복기에서 SOD활성이 현저하게 감소하였다고 보고하였다. 본 연구에서 적혈구 SOD활성은 Pre와 비교하여 P24에서 유의하게 감소하여, 선행연구와 유사한 결과를 나타냈다. 이것은 고강도운동으로 인해 생성이 증가된 활성산소를 제거하기위한 SOD의 방어작용의 결과로서 적혈구SOD 활성이 운동 후 24시간이 경과할 때까지 감소되는 것으로 사료된다. 우리는 이전의 연구¹¹⁾에서 여성 호르몬인 estrogen과 혈중 SOD 사이에 역상관계가 있음을 밝혔다. 본 연구의 고강도운동은 피험자들의 월경주기 중 estrogen 수치가 가장 낮은 월경기에 실시하였기 때문에, 활성산소의 제거를 위해 SOD가 더욱 활발하게 작용하였을 것으로 추측된다.

운동에서 혈청 CPK의 변화는 훈련과 체력수준의 생화학적 변인으로 활용되는데 장시간 운동이나 고강도운동에서 세포막 파괴, 조직 괴사 등 근손상의 간접적인 지표로 이용되고 있다.²⁵⁾ 또한, CPK 활성도의 변화는 무산소성 운동뿐 아니라 유산소성 운동에 의해서도 증가하며, 골격근의 CPK활성과 마찬가지로 혈청 CPK도 운동에 의해 증가한다고 보고되고 있다.²⁶⁻²⁷⁾ 본 연구의 결과, 혈청 CPK는 Pre와 비교하여 P0에서 유의하게 감소하였으며, P12에서 유의하게 증가하였다. 현송자²⁸⁾와 伊藤²⁹⁾는 달리기 운동에서 10-15분 정도의 exhaustive exercise에 의한 혈청 CPK의 상승은 일반적으로 적고 그 상승도 운동 직후 일과성으로 나타날 뿐이고, 수시간 후에는 운동 전의 수치로 회복되며, 운동이 보다 장시간 지속될 경우, 혈청 CPK는 현저하게 증가하며 그 상승의 피크도 운동종료 8-24시간 후에 걸쳐서 나타나게 된다고 하였다. 연구결과, 혈청 CPK의 운동 후 12시간에서의 유의한 증

가는 선행 연구들의 결과와 유사하게, 고강도운동에 따른 활성산소의 증가에 수반된 근손상을 간접적으로 나타내는 결과인 것으로 생각된다.

이상의 결과를 통해 규칙적인 월경주기를 지닌 일반여성에서 월경기에 실시한 고강도운동은 혈중 산화스트레스를 증가시키며, 특히 고강도운동을 마친 뒤 12시간 후에는 활성산소의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 따라서 평소 운동습관이 없는 젊은 여성들은 월경기에는 강도가 높은 격렬한 운동을 피하는 것이 바람직하며, 고강도운동 후에는 항산화물이나, 항산화 보조식품의 섭취를 통해서 활성산소의 영향을 줄이기 위한 노력을 할 필요가 있는 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Durstine JL, Haskell WL. Effects of exercise training on plasma lipids and lipoproteins. *Exer Sport Sci Rev* 1994;22:477-521.
2. Ginsburg GS, O'Toole M, Rimm E, Douglas PS, Rifai N. Gender differences in exercise-induced changes in sex hormone levels and lipid peroxidation in athletes participating in the Hawaii Ironman triathlon. *Ginsburg-gender and exercise-induced lipid peroxidation. Clin Chim Acta* 2001;305:131-139.
3. Urso ML, Clarkson PM. Oxidative stress, exercise and antioxidant supplementation. *Toxicology* 2003;189:41-54.
4. Finkel T, Holbrook NJ. Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing. *Nature* 2000;408:239-47.
5. Cao GH, Chen JD. Effects of dietary zinc on free radical generation, lipid peroxidation, and superoxide dismutase in trained mice. *Arch Biochem Biophys* 1991;291:147-53.
6. Lawler JM, Poxers SK. Oxidative stress, antioxidant status, and the contracting diaphragm. *Can J Appl Physiol* 1998; 23:23-55.
7. Ji LL. Exercise and oxidative stress: role of the cellular antioxidant systems. *Exerc Sport Sci Rev* 1995;23:135-166.
8. Laaksonen DE, Atalay M, Niskanen L, Uusitupa M, Haninen O, Sen CK. Increased resting and exercise-induced oxidative stress in young IDDM men. *Diabetes Care* 1996;19:569-574.
9. Toshinai K, Ohno H, Bae SY, Iwashita T, Koseki S, Haga, S. Effect of Different Intensity and Duration of Exercise with the Same Total Oxygen Uptake on Lipid Peroxidation and Antioxidant Enzyme Levels in Human Plasma. *Adv Exerc Sports Physiol* 1998;4:65-70.
10. Ayres S, Abplanalp W, Liu JH, Subbiah M. Mechanisms involved in the protective effect of estradiol-17 β on lipid peroxidation and DNA damage. *Am J Physiol* 1998;274:E1002-E1008.
11. Joo MH, Maehata E, Adachi T, Ishida A, Murai F, Mesaki N. The relationship between exercise-induced oxidative stress and menstrual cycle. *Eur J Appl Physiol* 2004;93:82-86.
12. Braun D, Fromherz P. Fluorescence interference-contrast microscopy of cell adhesion on oxidized silicon. *Appl Phys A* 1997;65:341-348.
13. McCord JM, Fridovich I. Superoxide dismutase: An enzymic function for erythrocyte (hemocuprein). *J Biol Chem* 1969; 244:6049-55.
14. 金澤健一. 電氣化學連續發光法の原理及びその応用. *医学と薬学* 1999;41:718-724.
15. Dillard DB, Costill DL. Calculation of percentage change in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol* 1978;137:247-248.
16. 이복환, 정성태, 김해리, 정덕조. 운동강도에 따른 지질 과산화물과 체내 항산화효소의 활성정도와 항산화제의 방어효과. *한국체육학회지* 2001;40:661-674.
17. Sumikawa K, Mu Z, Inoue T, Okochi T, Yoshida T, Adachi K. Changes in erythrocyte membrane phospholipids composition induced by physical training and physical exercise. *Eur j Appl Physiol* 1993;67:132-137.
18. Senturk UK, Gunduz F, Kuru O, Kocer G, Ozkaya YG, Yesilkaya A, et al. Exercise-induced oxidative stress leads hemolysis in sedentary but not trained humans. *J Appl Physiol* 2005;99:1434-1441.
19. Miyazaki H, Oh-ishi S, Ookawara T, Kizaki T, Toshinai K, Ha S, et al. Strenuous endurance training in humans reduces oxidative stress following exhausting exercise. *Eur J Appl Physiol* 2001; 84:1-6.
20. Yalcin O, Bor-Kucukatay M, Senturk UK, Baskurt OK. Effect of swimming exercise on red blood cell theology in trained and untrained rats. *J Appl Physiol* 2000;88:2074-2080.
21. Tiidus PM. Radical species in inflammation and overtraining. *Can J Physiol Pharmacol* 1998;76:533-538.
22. Oztasan N, Taysi S, Gumustekin K, Altinkaynak K, Aktas O, Timur H, et al. Endurance training attenuates exercise-induced oxidative stress in erythrocytes in rat. *Eur J Appl Physiol* 2004; 91:622-7.
23. Ohno H, Yamashita H, Ookawara T, Saitoh D, Mimura, K., Taniguchi H. Training effects on concentration of immunoreactive superoxide dismutase isoenzymes in human plasma. *Tohoku J. of Experimental Medicine* 1992;167:301-303.
24. 진영수, 김미정, 박준영, 김용권, 이혁중. 운동양식과 항산화비타민의 보충이 항산화효소 및 총 항산화능에 미치는 영향. *한국체육학회지* 1999;39:451-460.
25. Itoh H, Ohkuwa T, Yamazaki Y, Shimoda T, Wakayama A, Tamura S, et al. Vitamin E supplementation attenuates leakage

- of enzymes following 6 successive days of running training. *Int J Sports Med* 2000;21:369-374.
26. Hunter JB, Critz JB. Effect of training on plasma enzyme levels in man. *J Appl Physiol* 1971;31:20-3.
27. Lijnen P, Hespel P, Van Oppens S, Fiocchi R, Goossens W, Vanden Eynde E, et al. Erythrocyte 2, 3-diphosphoglycerate and serum enzyme concentrations in trained and sedentary men. *Med Sci Sports Exerc* 1986;18:174-9.
28. 현송자. 운동생화학. 서울:보경문화; 1990.
29. 伊藤朗. 図説・運動生化学入門 -生理生化学から運動処方まで-. 東京:医歯薬出版; 1994.

[Abstract]

Changes of Blood Oxidative Stress Markers after a High-Intensity Exercise in Young Women

Mi Hyun Joo

School of Alternative Medicine & Health Science, Jeonju University

Background	It is reported that high-intensity physical exercise may induce oxidative stress. Therefore, the purpose of this study was to investigate the change of blood oxidative stress markers after a high-intensity exercise in young women
Methods	Eight sedentary women who have regular menstrual cycles participated in this study. Regular menstrual cycles were determined by basal body temperature (BBT) and urinary ovulation test for 2 months prior to this study. All subjects performed the bicycle ergometer exercise (for 22.5 min at 80% $\dot{V}O_{2max}$). Lactate was determined from blood of Pre-and Post-exercise (PO). Blood oxidative stress markers (erythrocyte thiobarbituric acid reactive substances: TBARS, Superoxide dismutase: SOD, Glutathione Peroxidase: GPx and serum Creatine PhosphoKinase: CPK) were determined from blood of Pre- and Post-exercise (PO, P2, P12 and P24).
Results	In this results, lactate was increased clearly at the P0 compared with Pre ($p<0.05$). And TBARS increased significantly P12 compared with Pre ($p<0.05$). SOD activity also decreased significantly P24 compared with Pre ($p<0.05$). However, GPx activity did not show statistically significant changes by the high-intensity exercise. CPK significantly decreased P0 and increased significantly P12 compared with Pre ($p<0.05$).
Conclusions	In the menses, high-intensity exercise may increase the blood oxidative stress in the young woman which has a normal menstrual cycle. In particular, the influence of ROS is very high after P12. Therefore, sedentary women had better do not intense exercise in the menses. (Korean J Health Promot Dis Prev 2008; 8(3):150-157)
Key words	High-intensity exercise, Oxidative stress, Young woman

• Address for correspondence : **Mi Hyun Joo**
School of Alternative Medicine & Health Science, Jeonju University
• Tel : 063-220-3229
• E-mail : joomihyun@jj.ac.kr