

산·학·연·논·단

비타민 E 보충이 운동 선수의 산화스트레스에 미치는 영향 Effect of Vitamin E Supplementation on Oxidative Stress of Sportsmen

김혜영 (Hye Young P. Kim)

용인대학교 식품영양학과

서론

운동을 하는 동안에는 근육의 산화 과정이 증가하기 때문에 일시적이거나 몸에 해로운 자유 래디칼과 여러 형태의 반응성이 높은 산소 입자들이 많이 산출된다(1). 매우 반응성이 높은 이들은 세포의 여러 가지 중요한 성분들, 즉, 지방 세포막, DNA, 단백질 등을 변형시켜서 근육을 손상시키거나 근육의 피로 회복 지연에 관여하는 것으로 보인다(2,3). 따라서, 운동을 통한 건강 증진과 질병 예방의 효과를 충분히 살리기 위해서는 운동시에 발생하는 이러한 산화 스트레스를 최소화 시키는 것이 필요하다. 우리가 섭취하는 영양소들 중에는 이러한 산화적 손상으로부터 신체를 보호하는 항산화 영양소들이 있는데, 대표적인 예로 비타민 E, 비타민 C, 그리고 β -carotene 등을 들 수 있다(4-8) 이와 함께, superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase 등의 체내 항산화 효소들도 자유기와 과산화물의 제거에 직접 관여하는 것으로 알려져 있다(9,10)(Fig. 1).

이 논문에서는 최근에 발표된 여러 동물 실험과 인체 연구를 각각 대상으로 해서 운동이 산화 스트레스를 어떻게 증가시키는가를 살펴보고, 꾸준한 훈련 과정은 체내의 산화와 항산화 상태에 어떠한 적응 기전을 가져오는가를 살펴보았다. 또한, 대표적인 항산화 영양소로 현재까지 가장 많이 연구되고 있는 비타민 E의 보충은 운동시의 산화 스트레스와 운동 실행 능력에 어떠한 도움을 줄 수 있는가를 살펴보려고 하였다.

자유기로 인한 체조직의 손상

자유기는 바깥 껍데기에 unpaired electron을 함유하는 불안정한 분자나 입자이다(3). 이들은 다른 물질의 반대편 spin에 있는 전자와 결합해서 unpaired electron의 균형을 맞추려고 하기 때문에 매우 반응성이 높다. 산소 자유기들은 superoxide radical, hydrogen peroxide, 그리고 hydroxyl radical 들을 포함한다. 반응성이 높은 자유기들은 지질 과산화와 같은 화학적 연쇄 반응을 시작하므로써

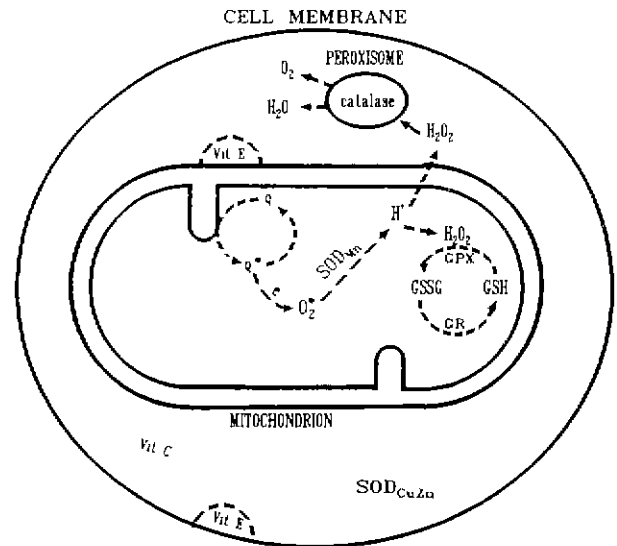


Fig. 1. Antioxidants involved in eliminations of free radicals. $O_2 \cdot^-$, superoxide; H_2O_2 , hydrogen peroxide; Vit E, vitamin E; Q, coenzyme Q; $Q \cdot^-$, semiquinone radical; e, electron; SOD_{Mn} , mitochondrial or manganese superoxide dismutase; GPX, glutathione peroxidase; GSH, reduced glutathione; GR, glutathione reductase; GSSG, glutathione disulfide or oxidized glutathione; Vit C, vitamin C; SOD_{CuZn} , cytosolic or copper zinc superoxide dismutase. Source: Jenkins R.R. and Goldfarb, A, *Med Sci. Sports Exerc.* 25, 210 (1993)

조직에 손상을 가져온다(11,12).

세포막 지질의 과산화는 세포의 여러 기능의 변화 즉, 막 투과성의 증가, sarcoplasmic reticulum으로의 Ca^{+2} 전달의 감소, 미토콘드리아 기능의 변화, 독성 물질의 형성, 그리고 세포내 glutathione(항산화제) 대사의 변화 등을 가져올 수 있다. 지방의 과산화로 인한 영향은 공격을 받은 세포에만 국한되는 것이 아니고, 독성 물질을 형성해서 다른 곳으로 이전하므로 더 손상이 커진다. 반응성이 매우 높은 자유기들은 여러 가지 세포의 주요한 구성 성분들, 즉 지방 세포막, DNA, 단백질 등을 변형시키는 것으로 알려져 있다(10).

세포막에 많은 양이 존재하는 불포화 지방산은 자유기의 공격을 받기 쉽고, LDL에 함유되어 있다. LDL은 그

속에 자유기를 잡을 수 있는 많은 항산화제, 예를 들면, tocopherol과 β -carotene을 함유해서, 연쇄 반응이 일어나는 것을 예방한다. 산화가 일어나기 전에 tocopherol과 β -carotene이 소비되는 기간을 lag phase라고 한다. 이 lag phase의 기간은 들어있는 항산화제의 양에 달려 있다. LDL 용액에 지질 과산화이 일어나는 정도는 malondialdehyde나 conjugated diene의 증가를 측정하므로써 알 수 있다(13).

운동이 자유기를 증가시키는 기전

운동을 하는 동안에는 에너지 요구량의 증가로 인해 근육 조직에 산소 공급이 급격히 늘어나게 된다. 운동을 하는 동안 신체의 산소 섭취량은 10~15배까지 증가할 수 있는데, 실제로 활발히 활동을 하는 골격 근육에서의 산소 유입은 혈류 증가량을 약 30배 늘이고 동맥과 정맥 간의 산소 격차를 3배로 증가시키므로써 약 100배까지 증가할 수 있다고 한다(1). 그러나, 이러한 산소 유입의 증가로 인해 에너지를 최대로 활용하고 젖산의 축적을 막을 수는 있지만, 이와 더불어 체내에 해로운 자유기의 발생도 증가하는 것으로 생각되어진다. 운동을 하는 동안 자유기가 산출되는 여러 기전이 추정되었는데(14), 이들은 1) 산소 섭취량의 증가 2) 산소의 부분적인 환원동안에 증가하는 중간대사물의 증가 3) 운동으로 인해 증가한 epinephrine과 다른 catecholamine들이 불활성화 될 때 산소 자유기를 산출하는 것 4) 운동으로 인한 젖산의 증가가 상대적으로 약한 자유기인 superoxide를 조금 더 강한 자유기인 hydroxyl radical로 바꾸는 것 5) 지나친 운동으로 인한 근육 손상이 세포막의 지질과산화를 가져오고, 염증으로 인해 손상된 근육에 대식세포와 백혈구들이 다양한 자유기들을 산출하는 것들을 들 수 있다.

지질과산화와 항산화 상태의 탐지

산소가 대사 중에 이용될 때에는 대부분이 수소와 결합해서 물로 만들어지게 된다. 그러나, 산소 중의 4~5%는 superoxide를 형성하는데, 이것이 다시 다른 해로운 산화 대사물인 hydrogen peroxide를 산출할 수도 있다. 이들은 불포화 지방산과 반응을 해서 새로운 자유기를 산출해서 지질 과산화라고 알려진 연쇄 반응을 시작할 수 있다. 세포막의 지질 과산화는 막의 유동성을 증가시키고, 이온차의 유지를 어렵게 하고, 세포가 부풀고 조직에 염증을 유발시켜서 근육 세포에 손상을 야기시킬 수 있다(15).

지질 과산화의 탐지에 가장 흔히 이용되는 방법은 혈액의 malondialdehyde와 conjugated dienes를 측정하는 것과

호기 중에 배설되는 pentane을 분석하므로써 탄화 수소를 측정하는 것 등을 들 수 있다. Malondialdehyde (MDA)는 thiobarbituric acid와 반응해서 TBARS(thiobarbituric acid reactive substances)를 산출하므로써 측정된다. TBARS 분석이 MDA에만 반응하는 것은 아니지만 일반적으로 TBARS라는 용어는 MDA와 같은 것으로 활용된다. 지질 과산화물의 분해는 탄화수소인 에탄(ethane)과 펜탄(pentane)을 산출한다. 이들은 호흡을 하는 동안 신체에서 배출되므로 운동을 하는 동안 표준 가스 수집법으로 수집될 수 있다. 한편, 운동으로 인한 근육의 손상 정도는 근육에 많이 존재하는 효소인 creatine kinase와 lactate dehydrogenase의 활성이 혈액에 증가하는 정도를 재어서 살펴본다.

우리 몸의 항산화 상태를 살펴보기 위해서 항산화제인 비타민 E와 항산화 효소들의 활성을 측정한다. 비타민 E는 모든 세포막의 주된 지용성 항산화제이다(7,8). 비타민 E는 직접 다양한 산소 자유기들, singlet oxygen, 지질 과산화물과 반응을 해서 상대적으로 해가 덜한 비타민 E 자유기(tocopherol radical)를 형성한다. 이 경우 비타민 E를 재생시키는 데에 비타민 C나 glutathione이 작용을 하는 것으로 알려져 있다. 여러 연구들에서 또한 항산화 효소인 superoxide dismutase, glutathione peroxidase, catalase 등의 혈액과 근육에서의 활성 정도를 통해 체내의 항산화 정도를 살펴보았다(10,11).

동물을 통한 연구

운동이 지질 과산화에 미치는 영향

Jenkins 등(16)은 쥐를 훈련군과 비훈련군으로 나누고, 훈련군은 VO_2 max의 70% 속도로 트레드밀(treadmill)에서 하루에 한시간씩 6주 동안 훈련을 시켰다. 이 쥐들은 6주 후에 다시 휴식군과 운동군으로 나누어서 운동군은 70% VO_2 max로 2시간 동안 운동을 시킨 뒤 24시간 동안 대사장에서 소변을 받았다. 운동 후에는 소변으로 배설되는 MDA의 양이 증가하였는데, 훈련군의 경우에도 비훈련군과 같은 정도로 MDA가 배설되었다. 한편, 같은 훈련을 시킨 또 다른 쥐들(n=12)의 뒷다리 근육(gastrocnemius)에 20분간 전기 자극을 주어서 수축을 시켰을 때에는 훈련을 받은 쥐들이 받지 않은 쥐들보다 근육의 MDA 발생량이 적은 것으로 나타났다(Fig. 2).

Ji 등(17)은 쥐에게 지질 매까지 treadmill에서 운동을 시키자 MDA의 수치가 현저히 증가했다고 한다. 지질과산화를 유도하기 위해 과산화 수소를 주사한 쥐들은 생리 식염수를 주사한 쥐들보다 운동 후에 골격 근육에 MDA가 유의적으로 증가하였다. 간의 MDA수준은 운동 전에 무엇을 주사했는가에 관계없이 운동 후에 비슷한 수준으

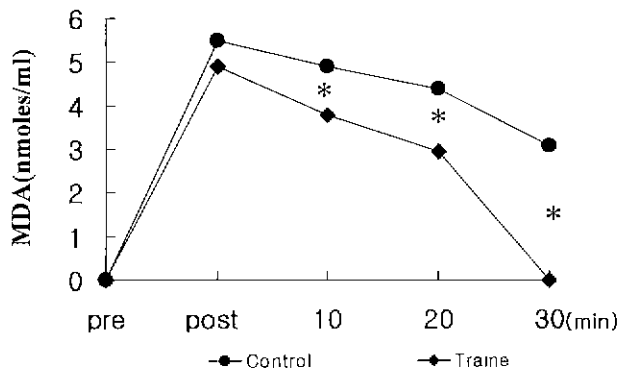


Fig. 2. Malondialdehyde(MDA) levels in perfusates of rat hindquarter before and after 20 minutes of gastrocnemius electrical stimulation.

*p<0.05.

Data are from Jenkins R.R. et al., *Med Sci Sports Exerc.* 25, 213 (1993)

로 증가하였다. 따라서, 지칠 때까지의 운동은 간보다 골격 근육에 더 산화스트레스를 가중시킨다는 것을 알 수 있다. 결론적으로, 지칠 때까지 운동을 시키면 여러 조직에서 MDA수준이 증가해서 지질과산화가 발생했음을 알 수 있는데, MDA 수준의 변화는 쥐의 훈련 상태에 따라 달라진다고 하겠다.

운동과 훈련이 항산화 효소 활성에 미치는 영향

Ji(18)는 쥐를 심하게 운동시키면 항산화 효소의 활성이 증가한다고 보고하였다. 쥐를 트레드밀에서 지칠 때까지 운동을 시키면, 쥐 심장의 총 superoxide dismutase(SOD)의 활성이 증가함을 볼 수 있었다. 쥐의 간에서도 운동 후에 SOD가 증가하였는데, 이때에는 주로 세포질의 Cu-Zn SOD가 증가하였다. 한편, 골격 근육의 경우에는 총 SOD, GPX, 그리고 catalase가 모두 일 회의 지나친 운동 후에 증가하였다.

운동은 산소 소비량을 증가시킨다. 결과적으로 반응성이 높은 산소 입자들의 증가는 지질과산화를 유발할 수 있고, 결국 근육의 손상을 가져오게 된다. 그러나, 수년 동안 꾸준히 운동을 하였을 때, 꾸준한 훈련이 근육의 기능을 손상시킨다는 증거는 없다. 이는 규칙적으로 수행된 운동은 근육에서의 자유기 손상에 대한 효소의 방어 효과를 증가시켜서 손상으로부터 보호할 지도 모른다는 것을 의미한다(44).

Powers 등(19,20)은 쥐들을 대조군과 훈련군으로 나누고, 훈련군의 경우 훈련 강도와 훈련 시간에 따라 9군으로 나누었다. 즉, 훈련 강도를 55%, 65%, 75%로 하고, 운동 시간은 하루에 30분, 60분, 90분 군으로 나누어서 10주 동안 훈련을 시켰다. 그 후 각 근육(soleus, red

gastrocnemius, white gastrocnemius)의 항산화 효소의 활성도와 근육의 산화 능력을 조사하였다. 그 결과 모든 근육의 산화 능력이 훈련 강도와 1회 훈련 시간이 길수록 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 soleus 근육의 경우 SOD의 활성이 훈련의 강도와 시간이 길수록 증가함을 알 수 있었고, red gastrocnemius의 경우에는 GPX의 활성이 훈련 강도와 시간의 증가에 따라 증가함을 알 수 있었다. 그러나, white gastrocnemius 근육의 경우에는 훈련의 정도에 따른 항산화 효소의 차이를 살펴볼 수 없었다. 따라서, 이 연구에서 훈련의 강도가 골격 근육의 SOD와 GPX 활성의 up regulation을 결정하는 중요한 결정인자인 것을 알 수 있고, 또한 훈련으로 인한 항산화 효소의 증가는 매우 산화 능력이 큰 근육(soleus와 red gastrocnemius)에만 제한되고, 해당 작용을 주로 이용하는 white gastrocnemius에서는 별로 나타나지 않음을 알 수 있었다(Fig. 3)

비타민 E의 보충이 지질과산화에 미치는 영향

Goldfarb 등(21)은 흰 쥐를 대조군과 비타민 E 보충군으로 나누어 비타민 E 군은 1 kg 식이당 250 IU의 비타민 E를 공급하고, 쥐를 희생시키기 전 다시 각 군의 반씩을 휴식군과 운동군으로 나누어 운동군의 경우 트레드밀에서 12%의 경사와 21m/min의 속도로 1시간동안 운동을 시킨 후 희생시켰다. 운동을 시킨 경우에는 비타민 E의 보충에 관계없이 혈장 MDA수치가 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 골격 근육에서는 비타민 E를 보충한 경우에는 운동 후에 MDA의 수준이 별로 증가하지 않은 반면, 대조군의 경우에는 운동 후에 근육 MDA의 수준이 현저히 증가해서 비타민 E의 첨가가 지질과산화를 낮추는 것을 알 수 있었다(Fig. 4).

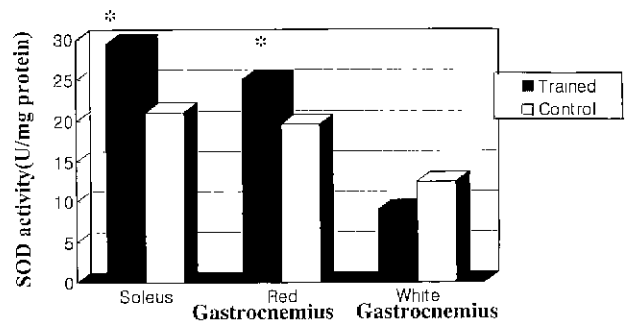


Fig. 3. Effect of endurance exercise training on the up-regulation of superoxide dismutase activity(SOD) in muscles differing in fiber composition.

*significantly different (p<0.05) from untrained.

Data are from Powers, SK et al., *Am J. Physiol.*, 266, R375 (1994)

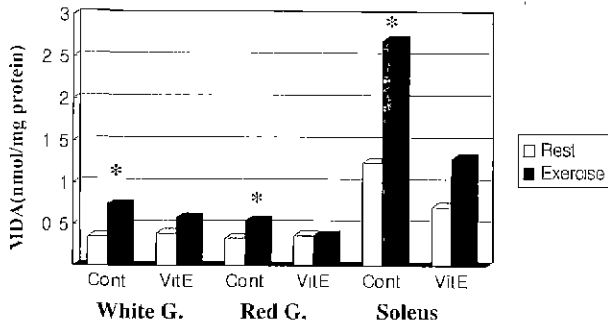


Fig. 4. Effect of vitamin E on malondialdehyde(MDA) in skeletal muscle from rested and exercised rats.

White G., white gastrocnemius; Red G., red gastrocnemius
*Significantly different ($p < 0.05$) between rest and exercise.
Data are from Goldfarb, A.H. et al., *J. Appl Physiol*, 76, 1630 (1994)

인체를 통한 연구

운동이 지질과산화와 근육 손상에 미치는 영향

사람에게서 호기 중에 배출되는 pentane을 이용해서 운동이 자유기의 산출을 증가시킬 것이라고 제안한 최초의 연구는 Dillard 등(22)에 의한 것이다. 사이클링에르고메터에서 운동 강도를 0%에서 100%로 증가시키자, 배출되는 pentane의 양이 많이 증가했다. Pincemail 등(23)도 운동 후에 pentane의 방출이 증가했다고 보고하였다.

Lovelin 등(24)은 점차로 운동 강도를 올리면서 지질 때까지 사이클링을 시킨 후에 혈장의 MDA수준을 측정하였는데, 운동 직후에 MDA의 수치가 유의적으로 증가한 것으로 나타났다. Kanter 등(25)은 80km의 달리를 하기 전후에 혈청 MDA의 수준을 측정하였는데, MDA의 수치가 거의 두 배로 증가한 것을 발견하였다. 게다가, MDA의 수치는 혈액에서 근육 손상의 지표로 이용되는 혈중 creatine kinase의 수치가 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 따라서, 이 저자들은 운동에 의해 나타난 근육 손상에 지질 과산화의 증가가 관련이 있을 지도 모른다고 제안하였다.

Maughan 등(26)은 12%의 downhill treadmill을 최대 심박수의 75%로 45분간 달리게 하고, 운동 직후, 6, 24, 48, 72 시간 후에 혈청 MDA의 변화를 관찰하였다. 아래 쪽 경사로 달리게 하는 이유는 다리에 근육이 늘어나게 하는 eccentric 운동을 부하하기 위해서이다. 이 eccentric 운동은 근육이 짧아지게 하는 concentric 운동보다 근육 손상 정도가 크다고 한다. 이들은 운동 후에 근육 효소들인 creatine kinase, lactic dehydrogenase, aspartate aminotransferase가 혈액에 증가하고, MDA가 증가하는 것을 발견하였다. 유의적인 증가는 6시간 후에 나타나서

48시간 내지 72시간까지 지속되었다. 또한 피검자들에게 주관적인 근육의 통증 정도를 기록하게 하였더니, 이 통증도 24시간 후에 가장 심했던 것으로 나타났다. 이 연구에서의 특징은 MDA의 증가 정도를 운동 직후 뿐만 아니라 3일 후까지도 관찰한 것이라고 하겠다.

훈련이 항산화 효소의 활성과 근육 손상 정도에 미치는 영향

최근 우리 실험실에서는(27) 지속적으로 훈련을 받은 유도 선수들과 대조군 사이에 평상시에 혈액의 지질 과산화 정도, 항산화 효소의 활성 수준, radical scavenger activity 등이 어떻게 다른가를 살펴봤는데, 두 군 사이에 휴식기에는 별 차이가 없는 것으로 나타났다. 한편, Ørtenblad 등(28)은 배구 선수들의 혈액의 항산화 효소 활성은 일반인과 차이가 없지만, 근육의 항산화 효소 활성을 비교하였을 때에는 배구 선수들이 일반인들보다 SOD와 GPX의 활성이 높은 것으로 나타났다고 보고하였다. 또한, 이들은 배구 선수들과 일반인들에게 Bosco test라는 점프 테스트(30초간 강도높은 점프를 실시하게 하고 2분간 휴식하는 것을 6회동안 반복)를 실시한 후 혈장의 creatine kinase(CK)의 활성 정도를 측정하였다. 그 결과 훈련을 받지 않은 일반인의 경우에는 24시간 후에 CK 배설량이 현저히 증가하였으나, 지속적으로 훈련을 받은 배구 선수들의 경우에는 혈장 CK 배설량이 크게 변화하지 않은 것으로 나타났다. 따라서, 이 연구에서는 훈련을 하게 되면, 같은 정도의 운동을 할 때 근육의 손상 정도가 적게 나타난다는 것을 시사해준다.

비타민 E의 보충이 지질과산화에 미치는 영향

Kim(29)은 에어로빅 전공학생들을 대상으로 dl- α -tocopheryl acetate을 하루에 800IU씩 4주간 보충하고, 비타민 E의 투여 전후에 최대심박수의 75% 수준으로 40분간 운동을 시킨 후에 혈청의 지질과산화 정도와 근육의 손상 정도를 측정하였다. 그 결과 비타민 E를 보충하면, 혈청 비타민 E의 농도가 유의적으로 증가하는 것과 더불어, MDA의 수준이 유의적으로 감소해서 지질과산화가 감소되는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 5). 그러나, 운동 직후의 지질과산화의 증가를 줄이지는 못하는 것으로 나타났다. 비타민 E의 보충은 근육손상의 한 지표로 이용되는 혈청 LDH의 수준도 감소시키는 것으로 나타나서, 비타민 E가 지질과산화로 인한 근육세포막의 손상을 현저히 감소시킨다는 것을 알 수 있었다(30)(Fig. 6). 한편, 비타민 E의 투여 후에도 혈청 젖산의 농도에는 아무 변화가 없어서 비타민 E의 보충이 운동 후 증가하는 젖산을 빨리 제거

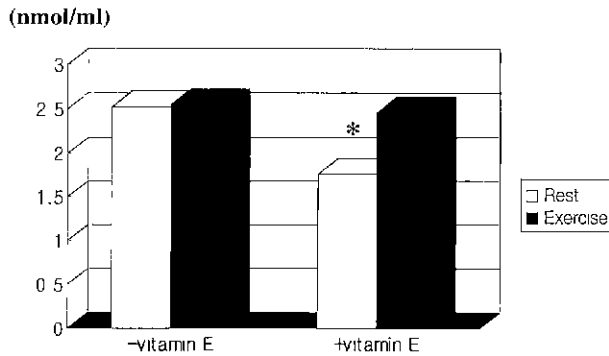


Fig. 5. Effect of vitamin E supplementation and exercise on serum malondialdehyde of aerobic-majoring female students. Groups with different letters are significantly different ($p < 0.05$). Data are from Kim, H.Y.P., *Korean J Nutr.*, 30, 1061 (1997)

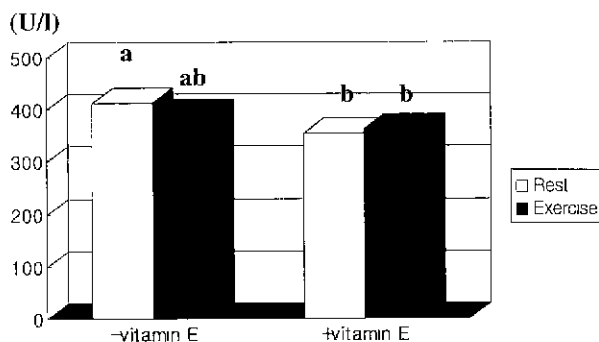


Fig. 6. Effect of vitamin E supplementation and exercise on serum lactic dehydrogenase activity of aerobic-majoring female students. Groups with different letters are significantly different ($p < 0.05$). Data are from Lee, P.Y. and Kim, H.Y.P., *Sports Sci Studies*, 7, 187 (1997)

하지는 못하므로 운동 실행 능력의 개선에는 별 영향을 미치지 못하는 것으로 사료되었다.

Meydani 등(31)은 비타민 E의 보충이 운동으로 인한 산화적 손상을 얼마나 감소시키는가를 살펴보기 위해 dl- α -tocopherol 800IU를 48일간 공급한 후에 내리막 트레드밀에서 최대심박수의 75% 수준으로 45분간 운동을 하도록 하였다. 그 결과 대조군의 경우에는 운동 12일 후에도 소변으로 유의적으로 높은 수준의 TBA-adduct가 배출되었는데, 비타민 E를 투여한 군에서는 소변으로의 TBA-adducts배설량에 큰 증가가 나타나지 않았다. 한편, 비타민 E를 보충한 경우에 운동 직후에 vatus lateralis 근육의 lipid conjugated diene의 수준이 대조군보다 유의적으로 감소해서 근육에서의 지질과산화가 대조군보다 적게 발생함을 관찰하였다.

또 최근 McBride 등(32)은 건강을 위해서 규칙적으로 운동을 하는 사람들을 대상으로 α -tocopherol succinate

을 1200IU씩 2주간 섭취하게 하고 운동을 시킨 후에 혈장의 creatine kinase의 활성을 살펴보았다. 그 결과 운동 후에는 혈장 CK의 활성도가 높아지는데, 비타민 E를 보충한 경우에는 대조군보다 CK의 증가 정도가 적고, 또한 48시간 후에는 정상시의 수준으로 돌아오지만, 대조군의 경우에는 운동 48시간 후에도 CK의 수준이 높은 상태로 유지됨을 관찰할 수 있었다. 또한, 운동 후에 혈장 MDA수준의 증가와 감소 속도도 비타민 E의 투여 여부에 따라 차이가 있어서, 비타민 E를 투여한 경우에는 운동 직후에만 혈장 MDA의 수치가 유의적으로 증가한 반면, 대조군의 경우에는 운동 후 MDA의 수치가 계속 증가해서 24시간 후에 최고치에 이르는 것으로 나타났다.

우리가 높은 고지에 올라가면 산화-환원 전위의 변화로 인해 산화적 손상이 증가할 지도 모른다고 한다. Simon-Schnass 등(34)은 비타민 E를 6주간 보충시키고 난 뒤 5100m의 고지에 머무르도록 하였을 때 대조군의 경우에는 호기 중의 pentane의 방출량이 2배로 증가했지만, 비타민 E를 보충받은 군에서는 별로 변화가 없는 것으로 나타났다. 따라서, 비타민 E의 보충은 고지에서의 원활한 활동에 도움을 주는 것으로 사료된다(Fig. 7). 한편, 비타민 E의 보충이 운동 수행능력의 개선에 어떤 영향을 주는가를 살펴보기 위해 Lawrence 등(33)은 6달간 900IU의 α -tocopherol acetate을 공급하고, 수영 선수의 지구력 테스트를 하였다. 그 결과 비타민 E의 보충이 수영 선수의 지구력 개선에 도움을 주지는 못한 것으로 나타났다.

Kanter 등(35)은 하루에 α -tocopherol 592mg, 비타민 C 1000mg, 그리고 β -carotene 30 mg을 넣은 복합 항산화제를 6주간 공급한 후에 지질 과산화의 정도를 살펴보았다. 그 결과 복합 항산화제의 보충이 운동으로 인한 지질 과산화의 증가를 막지는 않았지만, 보충 후에는 휴식기의 pentane 배출량과 MDA수준이 낮아지는 것으로 나타났다.

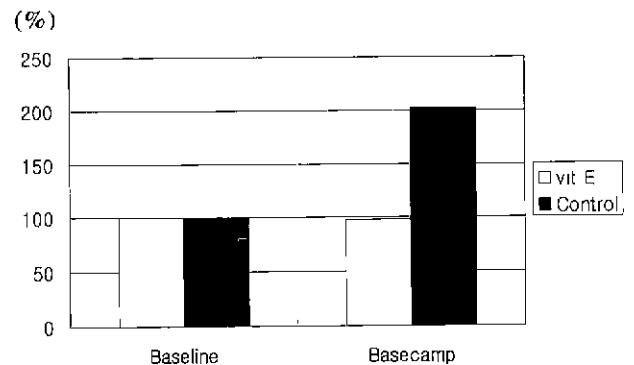


Fig. 7. Pentane exhalation during a prolonged stay at high altitude(5100m) with vitamin E supplementation compared with preexpediton value.

* $p < 0.05$.

Data are from Simon-Schnass I.M., *J Nutr.*, 122, 778 (1992)

결론

이 논문에서는 최근에 발표된 여러 동물 실험과 인체 연구를 대상으로 해서 비타민 E 보충이 운동 선수의 산화스트레스에 미치는 영향을 살펴보았다. 동물 실험 결과 동물에게 운동을 시키면 체내 지질의 과산화로 인해 간, 근육, 그리고 소변의 malondialdehyde 수준이 증가함을 볼 수 있었다. 동물에게 꾸준히 트레드밀을 통해서 달리기 훈련을 시키면, 훈련은 근육의 항산화 효소의 활성을 증가시키는 것으로 나타났는데, 특히, 산소를 많이 이용하는 soleus와 red gastrocnemius 근섬유의 항산화 효소 활성이 white gastrocnemius보다 더 많이 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 동물에게 비타민 E를 식이에 보충하고 운동을 시킨 경우에는 근육에서의 과산화 지질 증가가 완화되는 것으로 나타났다.

동물 실험에서와 마찬가지로 인체의 경우에도 운동을 하면 체내의 지질 과산화가 증가함을 혈액 malondialdehyde의 증가를 통해 볼 수 있었다. 한편, 같은 강도로 운동을 할 때, 꾸준히 훈련을 받은 사람은 훈련을 받지 않은 사람보다 근육의 항산화 효소 활성이 높고 근육의 손상 정도도 적은 것으로 나타났다. 한편, 운동 선수에게 비타민 E를 보충해 주면 휴식시의 지질과산화 수준을 낮추고, 운동 후에 산화 스트레스를 빨리 제거해서 근육의 손상 정도도 완화시키는 것으로 나타났다. 따라서, 운동 선수들에게 비타민 E를 보충하면 평상시에 근육 세포의 항산화능을 증가시켜서 운동으로 인한 산화 스트레스를 빨리 감소시켜서 근육의 손상을 막는 데에 도움을 주는 것으로 사료된다. 비타민 E의 보충은 운동 선수 뿐 아니라, 어쩌다 한번씩 운동을 하는 일반인들에게도 갑작스러운 운동 시에 증가하는 산화 스트레스의 제거에 도움이 될 것으로 생각되는데, 효율적인 항산화 체계의 흐름과 함께 안전하고 적절한 비타민 E의 섭취 수준에 대해서는 좀 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

문헌

- Sen, C.K. : Oxidants and antioxidants in exercise. *J. Appl. Physiol.*, **79**, 675-686(1995)
- de Groot, H. : Reactive oxygen species in tissue injury. *Hepato-Gastroenterol.* **41**, 328-332(1994)
- Halliwel, B. : Antioxidants in human health and disease. *Annu. Rev. Nutr.*, **16**, 33-50(1996)
- Goldfarb, A.H. : Antioxidants: role of supplementation to prevent exercise-induced oxidative stress. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **25**, 232-236(1993)
- Ji, L.L. : Oxidative stress during exercise: implication of antioxidant nutrients. *Free Radical Biol. Med.*, **18**, 1079-1086(1995)
- Machlin, L.J. and Bendich, A. : Free radical tissue damage: protective role of antioxidant nutrients. *FASEB J.*, **1**, 441-445(1987)
- Chow, C.K. : Vitamin E and oxidative stress. *Free Radical Biol. Med.*, **11**, 215-232(1991)
- Tiidus, P.M. and Houston, M.E. : Vitamin E status and response to exercise training. *Sports Med.*, **20**, 12-23(1995)
- Sardesai, V.M. : Role of antioxidants in health maintenance. *Nutr. Clin. Practice*, **10**, 19-25(1995)
- Dekkers, J.C., van Doornen, L.J.P. and Kemper, H.C.G. : The role of antioxidant vitamins and enzymes in the prevention of exercise-induced muscle damage. *Sports Med.*, **21**, 213-238(1996)
- Ji, L.L. and Fu, R. : Responses of glutathione system and antioxidant enzymes to exhaustive exercise and hydroperoxide. *J. Appl. Physiol.*, **72**, 549-554(1992)
- Yu, B.P. : Cellular defenses against damage from reactive oxygen species. *Physiol. Reviews*, **74**, 139-162(1994)
- Steinberg, D. : Antioxidants and atherosclerosis: a current assessment. *Circulation*, **84**, 1420-1425(1991)
- Clarkson, P.M. : Antioxidants and physical performance. *Critical Rev. Food Sci. Nutr.*, **35**, 131-141(1995)
- Alessio, H.M. : Exercise-induced oxidative stress. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **25**, 218-224(1993)
- Jenkins, R.R., Krause, K. and Schofield, L.S. : Influence of exercise on clearance of oxidant stress products and loosely bound iron. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **25**, 213-217(1993)
- Ji, L.L. and Fu, R. : Responses of glutathione system and antioxidant enzymes to exhaustive exercise and hydroperoxide. *J. Appl. Physiol.*, **72**, 549-554(1992)
- Ji, L.L. : Antioxidant enzyme response to exercise and aging. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **25**, 225-231(1993)
- Powers, S.K., Criswell, D., Lawler, J., Ji, L.L., Martin, D., Herb, R.A. and Dudley, G. : Influence of exercise and fiber type on antioxidant enzyme activity in rat skeletal muscle. *Am. J. Physiol.*, **266**, R375-R380(1994)
- Powers, S.K., Ji, L.L. and Leeuwenburgh, C. : Exercise training-induced alterations in skeletal muscle antioxidant capacity: a brief review. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **31**, 987-997(1999)
- Goldfarb, A.H., McIntosh, M.K., Boyer, B.T. and Fatouros, J. : Vitamin E effects on indexes of lipid peroxidation in muscle from DHEA-treated and exercised rats. *J. Appl. Physiol.*, **76**, 1630-1635(1994)
- Dillard, C.J., Litov, R.E., Savin, W.M., Dumelin, E.E. and Tappel, A.L. : Effects of exercise, vitamin E, and ozone on pulmonary function and lipid peroxidation. *J. Appl. Physiol.*, **45**, 927-932(1978)
- Pincernail, J., Camus, G., Roesgen, A., Dreezen, E., Bertrand, Y., Lismonde, M., Deby-Dupont, G. and Derby, C. : Exercise induces pentane production and neutrophil activation in humans: effect of propranolol. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, **61**, 319-322(1990)

24. Lovlin, R., Cottle, W., Pyke, I., Kavanaugh, M. and Belcastro, A.N. : Are indices of free radical damage related to exercise intensity. *Eur. J. Appl Physiol Occup. Physiol.*, **56**, 313-316(1987)
25. Kanter, M.M., Lesmes, G.R., Kaminsky, L.A., La Ham-Saeger, J. and Nequin, N.D. : Serum creatine kinase and lactate dhydrogenase changes following an eighty kilometer race. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, **57**, 60-63 (1988)
26. Maughan, R.J., Donnelly, A.E., Gleeson, M., Whiting, P. H., Walker, K.A. and Clough, P.J. : Delayed-onset muscle damage and lipid peroxidation in man after a downhill run. *Muscle Nerve*, **12**, 332-336(1989)
27. 김우경, 김혜영, 김미정, 김숙희 : 비타민 E 보충이 여자 운동선수들의 항산화능과 면역능력에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **32**, 781-786(1999)
28. Ørtenblad, N., Madsen, K. and Djurhuus, M.S. : Anti-oxidant status and lipid peroxidation after short-term maximal exercise in trained and untrained humans. *Am. J. Physiol.*, **41**, R1258-R1263(1997)
29. Kim, H.Y.P. : Effect of supplementation of antioxidant nutrients against oxidant stress during exercise. *Korean J. Nutr.*, **30**, 1061-1066(1997)
30. 이필영, 김혜영 . 비타민 E의 보충이 운동전후의 혈청 lactate 및 lactic dehydrogenase 활성에 미치는 영향. *용인대학교 체육과학연구논총*, **7**, 187-194(1997)
31. Meydani, M., Evans, W.J., Handelman, G., Biddle, L., Fielding R.A. Meydani, S.N., Burrill, J., Fiatarone, M.A., Blumberg, J.B. and Cannon, J.G. : Protective effect of vitamin E on exercise-induced oxidative damage in young and older adults. *Am. J. Physiol.*, **264**, R992-R998 (1993)
32. McBride, J.M., Kraemer, W.J., Triplett-McBride, T. and Sebastianelli, W. : Effect of resistance exercise on free radical production. *Med Sci. Sports Exerc.*, **30**, 67-72 (1998)
33. Lawrence, J.D., Bower, R.C., Ruehl, W.P. and Smith, J.L. : Effects of alpha-tocopherol acetate on the swimming endurance of trained swimmers. *Am. J. Clin. Nutr.*, **28**, 205-208(1975)
34. Simon-Schnass, I.M. : Nutrition at high altitude. *J. Nutr.*, **122**, 778-781(1992)
35. Kanter, M.M., Nolte, L.A. and Holloszy, J.O. : Effects of an antioxidant vitamin mixture on lipid peroxidation at rest and postexercise. *J. Appl. Physiol.*, **74**, 965-969 (1993)