

자양강장용 기능성 식품이 흰쥐의 강제수영 능력에 미치는 영향

송태철 · 한대석* · 이창호 · 김영언 · 정경아 · 김혜영¹

한국식품연구원, ¹경희대학교 식품생명공학과

Effect of Dietary Supplementation of Two Tonic Formula on the Forced-Swimming Capacity of Rats

Tae Cheol Song, Daeseok Han*, Chang Ho Lee, Young Eon Kim, Kyung Ah Jung, and Hae-yeong Kim¹

Korea Food Research Institute

¹Department of Food Science and Biotechnology, Kyung Hee University

Effects of two types of formula designed for commercial product on forced-swimming capacity and related biochemical parameters of Sprague-Dawley rats were evaluated. Treatment groups were fed diet supplemented with 4.56% formula A (EFA: exercise-trained and formula A-supplemented group) or B (EFB: exercise-trained and formula B-supplemented group) for 4 weeks. All groups were regularly trained twice a week to be accustomed to swimming. After 4 weeks, each group was divided into two subgroups: 90 min swimming (90-min subgroups) and swimming until exhaustion (all-out subgroups). Serum was collected, and skeletal muscles were dissected out after swimming. Forced-swimming time until exhaustion was significantly longer ($p < 0.05$) in EFA and EFB groups than that of exercised control group. Among 90-min subgroups, serum ammonia level of EFB group was significantly lower than that of exercised control group ($p < 0.05$). Among all-out subgroups, serum lactate levels were not significantly different among exercised control and treatment groups, whereas serum-free fatty acid levels of EFA and EFB groups were significantly lower than that of exercised control group ($p < 0.05$). In conclusion, EFA and EFB groups enhanced forced swimming capacity of rats by increasing fat utilization and delaying accumulation of serum fatigue factor.

Key words: animal experiment, ergogenic aids, tonic formula, swimming capacity

서 론

현대는 'well being' 문화의 등장이 대변하듯, 건강증진에 대한 관심이 과거에 비하여 매우 높아졌다. 과학의 진보가 인류의 수명 연장을 가져옴에 따라 건강기능식품은 미래 식품 산업의 돌파구로 부상하게 되었다. 97년 650억불 규모였던 세계 기능성식품시장은 2000년 1,380억불로 높은 성장률을 나타내었으며, 미국, 유럽, 일본이 세계 시장의 85%를 차지함으로써 해외 기능성식품시장은 산업화된 선진국가 중심으로 발전하고 있음을 알 수 있다. 국내 건강기능식품 시장 역시 97년 IMF 외환위기 시에 시장이 일시 위축되었으나, 현재까지 꾸준히 시장 규모가 성장하고 있는 추세이다(1). 규칙적인 운동과 균형 있는 식사습관이 건강을 유지하기 위한 방법임을 알고 있지만 바쁜 일상생활, 과다한 업무 등으로 인한 피곤함 또는 무기력

감 등을 해소하기 위하여 현대인들은 자양강장제 및 보양식품을 선호하는 경향이 있다. 현재 전 세계적으로 자양강장 식품이 이용되고 있으나, 주로 고문서나 구전에 대한 믿음 등에 의존하는 경향이 많고 위약(placebo) 효과도 상당한 것으로 보고되고 있다(2,3). 한편, 운동능력향상 및 체중 조절 등의 이유로 복용하는 스테로이드 계통의 근육 강화제 및 이노제 등의 약물들이 갖는 쿠싱증후군, 장기독성유발, 호르몬 교란 야기 등의 부작용은 이미 여러 차례 보고된 바 있다(4).

과거, 운동선수 등 특정 계층에서 소비되어졌던 운동수행능력 향상을 위한 식이 보충제(nutritional ergogenic aids)는 체중 감량, 에너지 보충, 피로회복, 근육량 증가, 그리고 지방연소 등의 목적 및 이유로 일반인들에게 접근하였고 음료, 막대형(bar) 그리고 분말형태의 제품들은 운동 시뿐만 아니라, 일상생활에서도 손쉽게 섭취하기에 이르렀다(5). 현재 상업화된 운동수행능력 향상을 위한 식이보충제는 운동 중 고갈되는 물질을 외부로부터 첨가하여 운동으로 인한 에너지 손실을 최소화하고, 체조직 및 체단백 손상에 대한 예방의 목적 또는 체내에서 합성되지만 외부로부터 섭취시켜 에너지 생성 효율을 높이고자 하는 목적에 기인하여 제품의 특성을 대변하고 있다(5,6). 과거 의료 목적으로 사용되던 medium-chain triglyceride(MCT)를 비

*Corresponding author: Daeseok Han, Korea Food Research Institute, San 46-1, Baekhyun-dong, Bundang-gu, Kyunggi-Do 463-420, Korea
Tel: 81-31-780-9246
Fax: 81-31-780-9226
E-mail: imissu@kfri.re.kr

못하여 스쿠알렌, 옥타코사놀, 홍삼, 동충하초 그리고 오가피 등의 많은 천연소재들 및 일부 아미노산들의 효율적인 에너지 보충, 면역력 증강, 항산화 작용, 체단백 분해 지연 및 예방, 세포 보호 작용, 단백질 및 포도당 절약작용 등의 자양강장 및 피로 누적 지연 등의 기능성이 보고되면서 운동항상 식이보조물로서의 연구 개발 가치를 인정받고 있다(5-13).

이에 본 연구는 실험동물을 이용하여 부작용이 없는 천연 식품 소재로부터 효율적인 배합물을 조제하고, 이 복합물에 대한 운동수행능력 향상을 위한 식이보조물로서의 효능 및 가치를 평가하고 향후 의약품 대체식품의 제품화를 위한 기초 자료 축적을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 실험식이

체중 180 g 내외의 Sprague-Dawley 수컷 흰쥐를(중앙실험동물(주), Korea) 사용하였으며, 1주일간 고형배합사료(삼양유지사료(주), Korea)로 적응시킨 후 난괴법에 의해 각 군에 7마리씩 8군으로 나누어 4주간 실험을 실시하였다. AIN-93식을 대조식으로 하였으며(14), 비운동 대조군(sedentary control, SC)과 운동 대조군(exercise-trained control group, EC)에게는 대조식을 급여하였다. 운동 및 formula A 급여군(exercise-trained and formula A-supplemented group, EFA)과 운동 및 formula B 급여군(exercise-trained and formula B-supplemented group, EFB)군의 식이에 첨가한 squalene과 medium-chain triglyceride(MCT)등은 총 식이 지방량 및 전분량에서 조정하였으며, 기타 실험식이의 자세한 사항은 Table 1과 2에 제시하였다. 4주간의 실험기간 동안 사료와 물은 자유롭게 섭취하도록 공급하였고 동물사육실의 환경은 온도 23±1°C, 습도 50±5%, 그리고 12시간 명암주기를 유지하였다. 식이 섭취량과 체중 증가량은 1주일에 1회 일정한 시간에 측정하였다.

수영 적응 훈련 및 최대수영능력 측정

수영적응훈련의 유무에 따른 결과를 알아보기 위하여 SC군은 4주간의 적응훈련을 실시하지 않았으며 실험 종료 시에만

Table 1. Diet composition of experimental groups (g/kg diet)

Ingredient ¹⁾	Group ²⁾			
	SC	EC	EFA	EFB
Corn starch	367.5	367.5	361.0	383.9.0
Dextrinized cornstarch	132.0	132.0	132.0	132.0
Sucrose	100.0	100.0	100.0	100.0
Casein	200.0	200.0	200.0	200.0
L-Cystine	3.0	3.0	3.0	3.0
Soybean oil	100.0	100.0	60.9	38.0
Mineral Mix	35.0	35.0	35.0	35.0
Vitamin Mix	10.0	10.0	10.0	10.0
Cellulose powder	50.0	50.0	50.0	50.0
Choline bitartrate	2.5	2.5	2.5	2.5
Formula A	-	-	45.6	-
Formula B	-	-	-	45.6

¹⁾Tert-butylhydroquinone (140 mg/kg diet) was added to prevent oxidation.

²⁾SC: sedentary control group, EC: exercise-trained control group, EFA: exercise-trained and formula A-supplemented group, EFB: exercise-trained and formula B-supplemented group.

강제수영을 실시하였다. EC군, EFA군 및 EFB군은 각각의 실험식으로 사육하면서 일주일에 2회 수영 적응 훈련을 실시하였다. 수영 적응 훈련은 수조 크기 90×45×45 cm, 물높이 60 cm, 물 온도 33-35°C의 수조(swimming pool)에서(15) 1주차에는 10분, 2주차에는 15분, 3주차에는 20분, 그리고 4주차에는 30분간 수영적응훈련을 실시하였다. 4주간의 식이 급여가 끝난 후 각 군을 강제수영 형태에 따라 다시 두 하부군(subgroups)으로 분류하였다. 한 군은 90분간 강제수영시킨 후(90-min subgroups) 해부하였으며, 다른 군은 탈진 때까지 강제수영시킨 후(all-out subgroups) 해부하였다. 최대수영능력은 탈진 때까지 수영시킨 군에서 측정하였으며, 실험동물이 수면에서 바닥 쪽으로 가라앉아 10초 이내에 다시 수면으로 떠오르지 못하는 때를 'all-out'으로 판정하여 그때까지의 시간을 최대수영능력으로 측정하였다.

Table 2. Diet composition for formula A and B

Formula A ¹⁾		Formula B	
Material	Composition (%)	Material	Composition (%)
Squalene	20.0	Medium-chain triglyceride	69.4
<i>Saururus chinensis</i> Baili extract	15.0	Octacosanol	0.7
<i>Eleutherococcus senticosus</i> extract	15.0	Red Ginseng extract	10.0
<i>Paecilomyces japonica</i> extract	15.0	<i>Rubus coreanus</i> extract	3.5
Kola nut	10.0	<i>Eleutherococcus senticosus</i> extract	3.5
Taurine	10.0	Kola nut	3.5
Phosphatidylcholine	2.0	Taurine	3.5
Glutamine	4.0	Phosphatidylcholine	0.4
L-Arginine	4.0	Glutamine	1.7
L-Carnitine	5.0	L-Arginine	1.7
		L-Carnitine	1.7

¹⁾Squalene (Semo Co., Ltd., Seoul, Korea), Medium-Chain Triglyceride and Octacosanol (Wellga Inc., Seoul, Korea), Red Ginseng extract, *Eleutherococcus senticosus* extract, *Rubus coreanus* extract, *Saururus chinensis* Baili extract, and *Paecilomyces japonica* extract (Dasong Food Material Co., Ltd., Seoul, Korea), Kola nut (Sam Jung Flavor Co., Ltd., Seoul, Korea), Phosphatidyl choline (Doosan Co., Ltd., Seoul, Korea), Taurine (Dae heung Pharm Co., Seoul, Korea), Glutamine and L-Arginine (Daesang Co., Seoul, Korea), L-Carnitine (Tae Kyung Food Co., Ansan, Korea).

시료채취 및 처리

해부 시 각 군으로부터 혈액을 채취하여 3,000 rpm에서 15분간 원심 분리하여 혈청을 분리한 후 에너지원 및 피로 요소(fatigue factors)를 분석하였다. 채혈 후 글리코겐 분석 및 관련 효소 분석을 위해 비복근(gastrocnemius muscle) 및 가자미근(soleus muscle)을 적출하여 분석 시까지 -70°C 에 냉동보관하였다.

생화학적 분석

글리코겐: 비복근의 글리코겐 함량 분석은 anthrone법(16)을 이용하여 분석하였다. 즉, 일정량의 간 또는 근육을 취하여 30% KOH 용액에 용해시키고, 100°C 의 끓는물에서 20분간 중탕 후, 실온에서 20분간 방치하였다. 여기에 95% 에탄올을 가하여 3,000 rpm에서 10분간 원심분리 하였다. 침전물을 증류수로 세척한 후, 증류수와 anthrone 시약을 가하여 끓는물에서 20분간 반응시켰다. 표준 포도당용액을 이용하여 620 nm에서 비색광도를 실시하고, 표준곡선으로부터 glycogen 농도를 산출하였다.

에너지원: 혈청 포도당 농도는 혈당측정기(Precision QID, Medisense, USA)를 이용하여 분석하였으며, 유리지방산은 CoA enzyme법(17)을 이용한 kit(영연화학(주), Korea), 중성지방은 Trinder법(18)을 이용한 kit(영동제약, Korea)로 분석하였다.

피로요소: 혈청 무기인산은 몰리브덴 색소법(19)을 이용한 kit(Bio Clinical System Co., Korea), creatine kinase(CK)는 UV-Rate법(20)을 이용한 kit(Bio Clinical System Co., Korea), ammonia는 indophenol법(19)을 이용한 kit(아산제약(주), Korea)로 분석하였으며 lactate는 (Lactate kit, Roche, Switzerland) 자동생화학분석기(Cobas Integra, Roche, Switzerland)를 이용하여 분석하였다(19).

효소활성: 골격근의 lactate dehydrogenase(LDH) 활성은 Pesce 등의 방법(21)에 의거하여 비복근에서 분석하였고, citrate synthase(CS)의 활성은 Srere의 방법(22)을 수정하여 가자미근에서 분석하였다. 효소의 활성은 $\mu\text{mol/g tissue/min}$ 으로 나타내었다.

통계처리

모든 데이터는 SPSS 10.0 프로그램을 이용하여 Mean \pm SD로 나타내었다. 그룹간의 유의적인 통계차를 분석하기 위하여 $p < 0.05$ 의 유의 수준에서 One-way ANOVA test를 실시한 후 Duncan's multiple range test를 이용하여 사후검정을 하였다.

결과 및 고찰

체중 및 식이효율

실험기간 동안의 각 군별 체중변화는 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. SC군(377.61 ± 24.98 g)과 EC군(376.21 ± 25.96 g) 그리고 EC군과 EFA군(365.87 ± 27.54 g) 간의 실험 종료 시 체중은 유의적인 차이는 보이지 않았으나, EC군에 비하여 EFB군(348.71 ± 40.64 g)의 체중이 유의적으로 낮은 결과를 보였다($p < 0.05$). 이는 MCT 식이가 long-chain triglyceride(LCT) 식이에 비하여 체중감량 효과가 있다고 보고한 Crozier 등(23)과 Baba 등(24)의 선행연구결과로 미루어 보아 EFB군내 첨가된 MCT로 인해 EC군에 비하여 유의적인 체중차이를 보인 것으로 여겨진다.

한편, 각 군별 식이섭취량 및 식이효율을 계산한 결과 유의

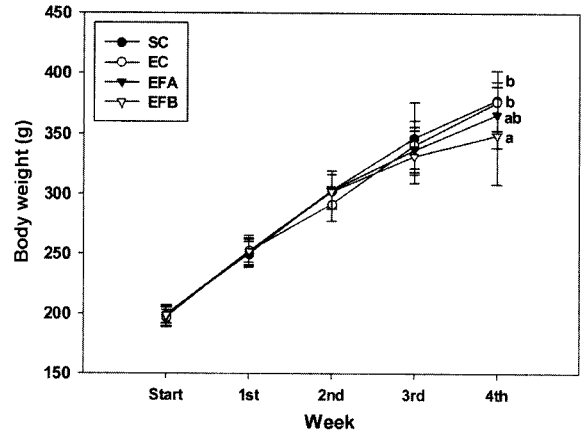


Fig. 1. Change in body weight of rats fed experimental diets for 4 weeks.

SC: sedentary control group, EC: exercise-trained control group, EFA: exercise-trained and formula A-supplemented group, EFB: exercise-trained and formula B-supplemented group. Means with the different letter within a column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 3. Food intake, body weight gain, and food efficiency ratio of rats fed experimental diets for 4 weeks

Group ¹⁾	Food Intake (g/day)	Body weight gain (g/day)	FER ³⁾
SC	22.66 \pm 1.12 ²⁾	6.40 \pm 0.84 ⁴⁾	0.28 \pm 0.03
EC	22.85 \pm 1.56	6.43 \pm 0.90 ^{b)}	0.26 \pm 0.08
EFA	23.56 \pm 0.90	6.02 \pm 0.89 ^{ab)}	0.25 \pm 0.03
EFB	22.24 \pm 1.66	5.37 \pm 1.02 ^{a)}	0.24 \pm 0.06

¹⁾Refer to Table 1 for abbreviations.

²⁾Values are Mean \pm SD.

³⁾FER (Food efficiency ratio)=Body weight gain for experimental period/Food intake for experimental period.

⁴⁾Means with the different letter within a column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

적인 차이는 보이지 않았다(Table 3) 따라서, 식이섭취량이 EFB 군의 체중감소에 영향을 미치지 않았으며, MCT에 의한 체중감소임을 뒷받침 하는 결과라 하겠다.

최대운동수행능력

실험 종료 후 탈진 때까지 수영시킨 군에서 강제 수영 능력을 측정된 결과는 Fig. 2와 같다. 본 연구에서는 SC군 154.29 \pm 19.21분, EC군 192.71 \pm 48.73분으로 EC군이 높은 경향을 보였으나 군 간의 유의적인 차이는 보이지 않았다. Jee 등(8)에 따르면 장기간에 걸친 운동은 운동을 하지 않은 군에 비하여 유의적으로 높은 운동시간을 보인다고 보고하였으나 본 연구에서 SC군과 EC군 간의 수영시간의 유의적 차이가 없었으며 이는 4주간의 적응훈련 기간이 운동시간의 유의적인 차이를 야기할 만큼의 충분한 기간이 아닌 것으로 여겨지며, 장기간의 적응훈련을 통한다면 적응 훈련으로 인한 유의적인 차이를 보일 것으로 예상된다.

한편, EFA군 및 EFB군은 각각 평균 273.71 \pm 76.31분과 267.57 \pm 48.46분으로 EC군이 보인 192.71 \pm 48.73분에 비해 유의적으로 높은 수영시간을 보였다($p < 0.05$). 이는 formula A와 B가 운동 수행 능력을 향상시키는 효과가 있음을 의미한다고 할 수 있겠으며 스쿠알렌이 혈중 젖산 수치를 낮추며(25), 동

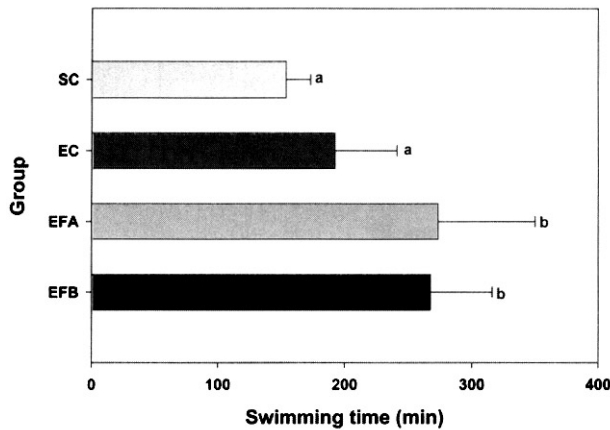


Fig. 2. Swimming time to exhaustion in rats fed experimental diets for 4 weeks.

Refer to Fig. 1 for abbreviations. Means with the different letter within a column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

총하초 추출물이 흰쥐의 지구력 운동에 긍정적인 영향을 미친다는 Jung 등(26)의 보고와 삼백초 추출물이 조직의 손상을 억제한다는 Ha 등(27)의 연구 보고, 오가피, 타우린 및 카르니틴 보충식이의 운동수행능력 증진 효능에 관한 Song 등(28)의 연구 성과와 운동으로 인한 체단백 분해억제 및 지연효능이 있는 아미노산의 보고(5) 등의 연구를 토대로 살펴보면 formula A는 흰쥐에 있어서 운동으로 야기되는 피로 및 조직손상을 억제 및 지연하는 등의 복합적인 작용으로 시너지효과를 야기한 것으로 생각된다.

또한, formula B의 경우 MCT 투여로 인해 흰쥐의 운동능력이 현저하게 향상되었다고 보고한 Kwak(29)의 연구결과와 옥타코사놀 섭취가 지구력 운동 수행능력을 증가시킨다는 Tarlor 등(30)과 Ann 등(10)의 연구결과와 인삼추출물 섭취가 흰쥐의 지구력 운동 수행능력을 증가시킨다는 Jung 등(26)의 보고 및 홍삼 복용이 유산소 운동 시 발생된 활성산소에 대하여 항산화 작용을 하여 지질 과산화산화물인 malondialdehyde(MDA) 수준을 낮게 유지시킨다는 Choi 등(31)의 연구와 Shim 등(32)의 스트레스로 야기되는 활성산소종에 대한 복분자의 면역체계 활성화 연구와 타우린, 카르니틴 또는 글루타민 섭취가 운동수행능력을 증가시키며, 혈중 피로요소의 축적을 저해한다는 Lee 등(33)의 연구를 근거로 살펴보면 formula B의 주된 조성을 이루는 식품소재와 아미노산 첨가물과의 시너지 효과로 인해 EC군에 비하여 유의적으로 높은 수영시간을 보였다고 여겨진다.

생화학적 분석

글리코겐 함량: 각 군간의 골격근의 글리코겐 함량 분석 결과는 Table 4에 제시한 바와 같다. 포도당은 글리코겐 형태로 간과 근육에 저장되며, 일차적 에너지원으로 동원되는 것으로 알려져 왔다. 따라서 체내 글리코겐 저장량의 증가는 운동 시 에너지원 동원 시 야기될 수 있는 체단백 분해 등의 부정적인 요인을 지연시킬 수 있으며(34,35), 경기력 향상 및 회복 측면에서 매우 중요하다고 하겠다. 본 연구에서 근육 내 글리코겐 함량 분석 결과 90-min subgroups에서는 SC군(0.32 ± 0.04 mg/g tissue)의 글리코겐 함량이 EC군(0.32 ± 0.02 mg/g tissue)과 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않았다. Song 등(28)의 보고에 따르면 장시간의 운동이 근육의 글리코겐 농도를 증가시킨다고

Table 4. Liver glycogen concentration of rats fed experimental diets for 4 weeks

Group ¹⁾	Skeletal muscle glycogen concentration (mg/g tissue)
	90-min subgroups
SC	$0.32 \pm 0.04^{2)}$
EC	0.32 ± 0.02
EFA	0.35 ± 0.04
EFB	0.34 ± 0.04
	All-out subgroups
SC	0.30 ± 0.05
EC	0.31 ± 0.04
EFA	0.34 ± 0.03
EFB	0.29 ± 0.06

¹⁾Refer to Table 1 for abbreviations.

²⁾Values are Mean \pm SD.

하였으나, 본 연구에서는 SC군과 EC군의 근육 글리코겐 함량이 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 Song 등(28)의 실험이 6주간의 트레드 밀을 이용한 운동 부하훈련인 것으로 미루어 보아 운동부하, 운동 적응형태 및 실험기간의 연장으로 인해 실험동물의 근육 내 글리코겐의 저장량 증대를 관찰할 수 있을 것으로 생각된다.

또한, EFB군(0.34 ± 0.04 mg/g tissue)의 근육 내 글리코겐 농도가 EC군(0.32 ± 0.02 mg/g tissue)에 비하여 평균적으로 높았으나, 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이는 0.75%의 옥타코사놀 섭취가 운동수행능력은 증진시켰으나 근육 글리코겐 증가에는 영향을 미치지 못하였다고 보고한 Kim 등(36)의 연구와 부분적으로 일치하는 결과를 보였으며, MCT섭취가 글리코겐을 절약한다고 보고한 Kwak(29)의 연구를 토대로 본 실험에서 글리코겐 농도가 증대되는 결과를 예상하였으나 유의적인 차이를 보이지 않았던 이유는 Kwak(29)의 연구에서 투여농도가 10 mL/kg인 점에 비하여 본 연구에 이용한 식이 내 MCT의 함량이 낮은 점과 4주의 실험 기간이 소재의 기능성이 모두 발휘되기에는 다소 부족한 기간으로 생각된다. 탈진 때까지 수영한 all-out subgroups의 글리코겐 농도 분석 결과 각 군간의 유의적인 차이는 보이지 않았다. 이는 지칠 때까지의 수영으로 인해 근육 내 글리코겐이 대부분 고갈되어 각 군간의 유의적인 차이를 보이지 않은 것으로 여겨진다.

에너지원: 운동 초기에는 글리코겐 즉, 당질을 주로 이용한 후 운동 중반에 글리코겐이 부족할 때 유리지방산등의 지방의 이동이 증가하게 되는데(37) 이때 옥타코사놀, 카페인, 카르니틴 등은 중성지방으로부터 유리지방산으로의 전환을 촉진시켜 주거나, 근육의 지방 분해 반응에 긍정적인 영향을 주어 원활한 에너지 보충을 통해 운동수행능력에 도움을 준다고 알려져 있다(11,38,39).

90-min subgroups의 혈청 에너지원의 소비 양상을 살펴보면 (Table 5), EFA군(991.00 ± 106.70 meq/L)의 혈청 유리지방산의 농도가 EC군(1249.71 ± 193.02 meq/L)에 비하여 유의하게 낮은 수치를 나타내었으며($p < 0.05$), EFB군(126.49 ± 14.10 mg/dL)의 혈청 중성지방의 농도는 EC군(159.86 ± 14.83 mg/dL)에 비하여 유의하게 낮은 수치를 보였다($p < 0.05$). SC군(800.86 ± 86.64 mg/dL)은 EC군(844.29 ± 179.08 mg/dL)로 평균적인 차이는 있으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 이 결과는 비운동군

Table 5. Serum energy factors of rats fed experimental diets for 4 weeks

Group ¹⁾	Glucose (mg/dL)	Free fatty acid (meq/L)	Triglyceride (mg/dL)
90-min subgroups			
SC	87.14 ± 12.28 ²⁾	1241.43 ± 111.88 ^{b3)}	156.96 ± 20.89 ^b
EC	76.00 ± 10.44	1249.71 ± 193.02 ^b	159.86 ± 14.83 ^b
EFA	81.86 ± 10.46	91.00 ± 106.70 ^a	147.01 ± 17.99 ^b
EFB	83.57 ± 20.33	1110.86 ± 273.30 ^{ab}	126.49 ± 14.10 ^a
All-out subgroups			
SC	41.71 ± 16.54	800.86 ± 86.64 ^b	137.10 ± 31.02 ^b
EC	40.43 ± 11.15	844.29 ± 79.08 ^b	100.03 ± 9.83 ^a
EFA	46.71 ± 19.11	546.86 ± 71.63 ^a	89.68 ± 8.11 ^a
EFB	36.57 ± 10.10	599.14 ± 62.81 ^a	93.79 ± 17.62 ^a

¹⁾Refer to Table 1 for abbreviations.

²⁾Values are Mean ± SD.

³⁾Means with the different letter within a column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 6. Serum fatigue factors of rats fed experimental diets for 4 weeks

Group ¹⁾	Lactate (mg/dL)	Inorganic phosphate (mg/dL)	Creatine kinase (U/L)	Ammonia (μg/dL)
90-min subgroups				
SC	53.07 ± 26.30 ²⁾	10.71 ± 2.61	140.30 ± 40.06 ^{b3)}	159.56 ± 32.23 ^b
EC	57.67 ± 17.71	8.69 ± 2.28	108.69 ± 38.07 ^{ab}	160.51 ± 26.30 ^b
EFA	55.30 ± 22.48	8.89 ± 0.75	90.11 ± 9.52 ^a	162.47 ± 8.52 ^b
EFB	61.90 ± 23.15	8.17 ± 0.52	112.24 ± 19.64 ^{ab}	112.71 ± 26.45 ^a
All-out subgroups				
SC	87.83 ± 38.24 ²⁾	13.67 ± 1.56	326.00 ± 84.13 ^a	360.26 ± 59.71 ^b
EC	81.20 ± 20.50	12.54 ± 1.14	179.54 ± 31.47 ^b	287.24 ± 44.69 ^a
EFA	82.00 ± 24.55	11.64 ± 1.56	226.71 ± 107.93 ^a	252.11 ± 39.09 ^a
EFB	94.76 ± 27.77	12.86 ± 1.42	236.43 ± 22.45 ^a	302.19 ± 47.90 ^a

¹⁾Refer to Table 1 for abbreviations.

²⁾Values are mean ± SD.

³⁾Means with the different letter within a column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

이 운동군에 비하여 유리지방산의 농도가 유의하게 낮았던 Kwak(29)의 결과와 유사한 경향을 보였으나, 1주간의 수영적용 훈련 후 7주간의 본 훈련을 실시한 Kwak(29)의 실험디자인과 본 실험 디자인의 차이에서 오는 결과라고 생각된다.

또한 all-out subgroups의 에너지원 소비 양상을 살펴보면(Table 5) 'all-out' 실험군은 탈진 때 까지 운동을 하였으므로 혈중 포도당이 거의 고갈된 상태인 것을 알 수 있으며, 각각의 처리군 간의 유의적인 차이는 보이지 않았다. 에너지원으로의 지방산 동원 상태를 확인할 수 있는 유리지방산 및 중성지방의 농도 분석 결과, EFA군(546.86 ± 71.63 meq/L)과 EFB군(599.14 ± 62.81 meq/L)의 혈청 유리지방산 농도는 EC군(844.29 ± 179.08 meq/L)에 비해 유의적으로 낮은 수치를 보였다($p < 0.05$). 카페인 함유량이 높은 소재로 알려진 kotu kola(40)와 Huxtable(41)의 타우린의 심장근육 수축, 신경 전달능력 향상, 중성지방 저하효과에 관한 연구, 오가피의 복용으로 조직의 산소 이용능 증가와 에너지 대사의 향상에 관한 Asano 등(42)의 연구, 섭취한 MCT가 1-2% 만이 체내 축적이 되고, 나머지는 에너지원으로 사용된다는 Baba 등(24)의 연구 및 옥타코사놀이 근육의 지방 이용을 증가시키며(30), 유리지방산의 동원능력을 증가시킨다는 Kabir 등(11)의 보고 등을 바탕으로 종합해 보면, formula A와 B는 체내 지방 축적 형태인 중성지방을 빠르게 지방산으로 전환시켜 혈중 유입을 가능하게 하였고, 이로 인해 원활한 에너

지 수급을 가능케 하였으며, 포도당과 유리지방산을 에너지원으로 효율적으로 이용하여 EC군에 비해 더욱 오랜 시간 운동수행을 가능하게 했다고 여겨진다.

또한, SC군(800.86 ± 86.64 meq/L)과 EC군(844.29 ± 179.08 meq/L)의 유리지방산 분석 결과 통계적으로 유의적인 차이는 없었으나 EFA군과 EFB군에 비하여 체내에 ATP의 생성이 가능한 에너지원을 보유하고 있음에도 불구하고, 짧은 운동 시간을 보인 결과로 미루어보아 formula A와 B의 소재들이 에너지의 이용을 증가시킨다는 선행연구들의 보고를 뒷받침하는 결과라 할 수 있겠다(38,39,41,42,43).

피로요소: 피로요소 분석 결과는 Table 6에 제시한 바와 같다. Maclaren 등(44)은 운동수행 시 ATP의 인산기가 탈인산화되며 에너지가 생성되는 기전 중에 혈중 무기인산의 농도는 증가하게 되고, 무기인산의 증가는 근육의 액틴과 마이오신의 연결부위의 약화를 야기하여 힘 생성능이 저하된다고 보고하였고, Lancha 등(45)과 Chai 등(46)에 따르면 크레아틴은 빠른 ATP의 감소를 일으키는 단기간의 무산소성 근수축시 ATP의 적정치를 유지하기 위한 에너지 완충역할을 하는 생리적 물질이며 아르기닌, 글리신 그리고 메틸기로부터 간을 통한 합성경로를 거치며, 크레아틴키나아제는 adenosine diphosphate(ADP)에서 ATP로의 전환시 관여하는 포스포크레아틴의 재합성에 영

향을 미친다고 하였고 근력회복에 있어 포스포크레아틴의 재합성율은 매우 중요하다고 보고하였다. 90-min subgroups의 분석결과 EC군 8.69±2.28 mg/dL, EFA군 8.89±0.75 mg/dL 그리고 EFB군 8.17±0.52 mg/dL로 각 군간의 유의적인 차이는 보이지 않았으며, 크레아틴키나아제 역시 EC군 108.69±38.07 U/L, EFA군 90.11±9.52 U/L 그리고 EFB군 112.24±19.64 U/L로 각 군간의 유의적인 차이는 보이지 않았다. 이는 90분간의 운동이 흰쥐에 있어 유의적으로 힘 생성능이 저하될 정도의 고강도 운동시간이 아님을 나타내는 것이라 여겨진다. 혈청 암모니아의 농도는 EFB군(112.71±26.45 µg/dL)이 EC군(160.51±26.30 µg/dL)에 비하여 유의하게 낮은 수치를 보였으며($p < 0.05$) 단백질의 대사산물인 암모니아가 낮은 것은 MCT의 빠른 에너지원으로의 전환(24), 옥타코사놀의 근육의 지방이용을 증가(30) 등의 영향으로 단백질 절약작용이 일어난 것으로 생각된다.

한편, 탈진 시까지의 all-out subgroups의 혈청 무기인산농도는 EC군 12.54±1.14 mg/dL, EFA군 11.64±1.56 mg/dL 그리고 EFB군 12.86±1.42 mg/dL로 유의적인 차이는 보이지 않았으며, 혈청 크레아틴키나아제 농도는 SC군 326.00±84.13 U/L, EC군 179.54±31.47 U/L, EFA군 226.71±107.93 U/L 그리고 EFB군 236.43±22.45 U/L였다. 고갈된 ATP를 적정수치로 올리기 위해 크레아틴키나아제의 활성이 증가한다는 Chai 등(46)의 연구보고와 관련하여 살펴보면, SC군이 EC군에 비하여 더욱 적은 운동수행능을 보였음에도 불구하고 SC군이 무산소성 대사경로를 통하여 ATP를 소모하였으며, 이를 보상하려는 기전으로 인해 크레아틴키나아제의 활성이 유의적으로 높아진 것으로 보인다($p < 0.05$). EFB군의 EC군에 비하여 유의적으로 높은 크레아틴키나아제의 활성을 나타낸 것 또한 탈진 때까지 운동으로 고갈된 ATP를 포도당과 유리지방산을 통한 경로 외에, 크레아틴키나아제의 활성 증가를 통하여 포스포크레아틴의 재합성물의 증가를 야기하여 운동수행에 있어서 부가적으로 요구되어지는 에너지를 보상받으려는 기전으로 해석된다.

탈진 시까지의 all-out subgroups의 젖산의 혈청 농도가 EC군 81.20±20.50 mg/dL, EFA군 82.00±24.55 mg/dL 그리고 EFB군 94.76±27.77 mg/dL로 각 군간의 강제수영시간의 차이에도 불구하고 피로물질인 젖산 농도 분석에 있어 유의적인 차이를 보이지 않는 결과를 나타내었는데, 인삼이 근육 미토콘드리아의 대사활성을 증가시킨다는 Asano 등(42)의 연구결과와 가시오가피, 타우린 및 카르니틴 보충식을 섭취한 실험군이 대조군에 비하여 높은 운동능력을 보여준 Song 등(28)의 보고 등을 토대로 살펴보면 오랜 시간 운동 후에도 formula A와 B의 소재가 운동 중 원활한 산소공급과 운동 중 야기되는 체내 젖산 축적을 지연 및 억제하는 등의 효능을 보였다고 할 수 있겠다.

효소활성: 90분 및 탈진 시 까지 수영한 군의 골격근 효소 활성을 분석한 결과는 Table 7에 제시한 바와 같다. Pesce 등(21)과 Spriet 등(47)은 LDH는 무산소 상태에서 pyruvate로부터 젖산의 형성을 촉매하는 효소로서 고강도 운동 시 그 활성이 증가하며, 과격한 운동을 수행할 경우 과량의 pyruvate가 형성됨에 따라 젖산의 형성이 촉진되고 pyruvate를 젖산으로 전환시키는 과정에서 LDH의 활성도가 증가한다고 보고하였으며, Srere 등(22)과 James 등(48)은 TCA 회로의 첫 단계에서 citrate를 합성하는 과정을 촉매하는 효소로 알려진 CS는 일반적으로 유산소성 운동에 의해 증가한다고 보고하였다.

90분간 수영한 군의 LDH 활성 분석 결과, EFA군(13.50±1.19 µmol/g tissue/min) 및 EFB군(14.15±0.92 µmol/g tissue/min)에서

Table 7. Activity of skeletal muscle enzymes of rats fed experimental diets for 4 weeks

Group ¹⁾	Activity of skeletal muscle enzyme (µmol/g tissue/min)	
	Lactate dehydrogenase	Citrate synthase
	90-min subgroups	
SC	²⁾ 16.72 ± 0.83 ^{b3)}	21.27 ± 1.65 ^c
EC	15.66 ± 0.90 ^b	17.91 ± 1.40 ^b
EFA	13.50 ± 1.19 ^a	16.40 ± 1.51 ^b
EFB	14.15 ± 0.92 ^a	13.92 ± 2.58 ^a
	All-out subgroups	
SC	13.00 ± 0.84	28.02 ± 2.62 ^c
EC	13.23 ± 1.25	22.77 ± 2.52 ^{ab}
EFA	14.67 ± 1.48	21.32 ± 1.44 ^a
EFB	13.63 ± 1.21	23.81 ± 1.04 ^b

¹⁾Refer to Table 1 for abbreviations.

²⁾Values are Mean ± SD.

³⁾Means with the different letter within a column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

EC군(15.66±0.90 µmol/g tissue/min)에 비해 낮은 효소 활성도를 나타냈으며($p < 0.05$), CS 활성 분석 결과 SC군 21.27±1.65 µmol/g tissue/min, EC군 17.91±1.40 µmol/g tissue/min으로 SC군의 CS활성이 유의적으로 높은 수치를 나타내었다($p < 0.05$). 또한, 탈진 시까지의 수영한 군의 LDH 활성 분석 결과, EC군 13.23±1.48 µmol/g tissue/min, EFA군 14.67±1.48 µmol/g tissue/min 그리고 EFB군 13.63±1.21 µmol/g tissue/min이었으며, CS의 활성 분석 결과 SC군 28.02±2.62 µmol/g tissue/min, EC군 22.77±2.52 µmol/g tissue/min, EFA군 21.32±1.44 µmol/g tissue/min 그리고 EFB군 23.81±1.04 µmol/g tissue/min이었다. 90분간의 일정시간동안의 운동 후 LDH의 활성이 EC군에게서 유의적으로 높은 결과를 보인 것은 EC군이 EFA군 및 EFB군에 비해 무산소성 대사가 더욱 진행됨을 뜻하며, ATP생성을 위한 충분한 양의 산소가 공급되지 못하고 있다는 체내 상태를 간접적으로 시사하는 결과라 하겠다.

또한, CS의 활성 분석 결과에서 알 수 있듯이 EFB군의 효소 활성도가 EC군에 비하여 유의적으로 낮았으며($p < 0.05$), 이는 고갈되는 ATP를 충족시키기 위하여 TCA 회로내의 oxaloacetate로부터 citrate로의 전환율을 높이려는 기작으로 해석된다(48). 탈진 시까지 수영한 all-out subgroups의 CS활성 분석 결과 SC군이 EC군에 비하여 평균적인 운동시간이 낮음에도 불구하고 유의적으로 높은 분석수치를 보였는데 이는 Song 등(28)의 가시오가피의 운동수행능력 향상에 관한 연구 결과와 일치하였으며 적응훈련의 유무로 SC군이 EC군에 비해 운동량이 더 많았음을 의미한다고 하겠다.

요 약

본 연구는 식품소재로의 이용 가능한 천연물을 이용하여 두 종류의 자양강장용 식품(formula A와 formula B)을 배합하고 복합물의 효능을 평가하였다. 실험 결과, EC군에 비하여 EFA군과 EFB군의 강제 수영능력시간이 각각 평균 42%와 38% 증가되는 유의적으로 높은 수영능력을 보였으며($p < 0.05$), 90분간 수영을 한 군(90-min subgroups)에서 EC군에 비하여 EFA군 및 EFB군의 혈청 유리지방산과 중성지방의 농도가 유의적으로 낮

왔고($p < 0.05$), EFB군의 혈청 암모니아의 농도가 EC군에 비하여 유의하게 낮은 수치를 보였다($p < 0.05$). 또한, EFB군의 근육 글리코겐 농도가 EC군에 비하여 높은 경향을 보였으나, 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 이상의 결과로 미루어 보아 본 연구에서 선정된 복합물 2종은 실험동물의 체내 중성 지방으로부터 유리지방산으로의 전환을 촉진하여 단백질과 포도당을 절약하고, 에너지 생성 및 공급 효율 증가, 운동으로 야기되는 체조직 손상 억제 그리고 피로물질 축적 지연 등의 효과를 가져와 강제수영능력을 증가시킨 것으로 생각된다.

감사의글

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것이며 이에 사의를 표합니다.

문 헌

- Jang KW, Park SH, Ha SD. Market trends in functional foods. *Food Sci. Ind.* 36: 17-25 (2003)
- Park HA. Evidence based dietary supplements for fatigue and sexual function. *J. Korean Acad. Fam. Med.* 24: 786-799 (2003)
- NamKung S. A study on the recognition for health food of residents in Seoul area. *J. East. Asian Soc. Dietary Life* 11: 446-454 (2001)
- Lee CH, Park DG, Kim KH, Lee KW. A study on drug use as a sport-deviation. *J. Leis. Recre. Stu.* 21: 161-177 (2001)
- Linda MO. Nutraceuticals and functional foods: More for the sport. *Food Technol.* 57: 63-68 (2003)
- Elizabeth AS. The top 10 functional food trends: the next generation. *Food Technol.* 56: 32-56 (2002)
- Hill JO, Peters JC, Swift LL, Yang D, Sharp T, Abumrad N, Greene HL. Changes in blood lipids during six days of overfeeding with medium or long chain triglycerides. *J. Lipid Res.* 31: 407-416 (1990)
- Jee YS, Um SY, Kim SS. The effect of aerobic training & MCT, LCT supplement on exercise performance, energy substrate changes in rats. *Korean J. Sports Med.* 20: 57-64 (2002)
- Jenkins AB, Storlien LH, Cooney GJ, Dnyer GS, Carerson ID, Kraegen EW. Effect of blockade of fatty acid oxidation on whole body and tissue specific glucose metabolism in rats. *Am. J. Physiol.* 265: E592-E600 (1993)
- Ann ES, Ann BC, Kim WS, Lee H, Je SY, Park KM, Lee SW. The effect of octacosanol administration on endurance exercise capacity. *Korean J. Exerc. Nutr.* 3: 85-94 (1999)
- Kabir Y, Kimura S. Distribution of radioactive octacosanol in response to exercise in rats. *Nahrung* 38: 373-377 (1994)
- Yoo CJ, Yang JO. The effect of *Acanthopanax* teas on cardiovascular fitness in college students. *J. KAHPERD* 38: 562-571 (1999)
- de la Puerta R, Martinez-Dominguez E, Ruiz-Gutierrez V. Effect of minor components of virgin olive oil on topical antiinflammatory assays. *Z. Naturforsch.* 55: 814-819 (2000)
- Reeves PG. Components of the AIN-93 diets as improvements in the AIN-76A diet. *J. Nutr.* 127: 838S-841S (1997)
- Matsumoto K, Ishihara K, Tanaka K, Inoue K, Fushiki T. An adjustable-current swimming pool for the evaluation of endurance capacity of mice. *J. Appl. Physiol.* 81: 1843-1849 (1996)
- Chun Y, Yin ZD. Glycogen assay for diagnosis of female genital chlamydia trachomatis infection. *J. Clin. Microbiol.* 36: 1981-1982 (1998)
- Kawaguchi A, Hosaka K, Kikuchi T, Soda K, Okuda S. An enzymic cycling method for the determination of free fatty acids with acyl-CoA synthetase and acyl-CoA hydrolase. *J. Biochem. (Tokyo)* 94: 487-492 (1983)
- Trinder P. Determination of blood glucose using 4-amino phenazone as oxygen acceptor. *J. Clin. Pathol.* 22: 246 (1969)
- Tietz Nw. Clinical guide to laboratory tests. 3rd ed. WB. Saunders co., philadelphia, PA, USA. pp. 180, 181, 382-383, 486 (1995)
- Howanitz JH, Howanitz PJ, Skrodzki CA, Iwanski JA. Influences of specimen processing and storage conditions on results for plasma ammonia. *Clin. Chem.* 30: 906-908 (1984)
- Pesce A, McKay RH, Stolzenbach F, Cahn RD, Kaplan NO. The comparative enzymology of lactic dehydrogenases. I. Properties of the crystalline beef and chicken enzymes. *J. Biol. Chem.* 239: 1753-1761 (1964)
- Srere PA. Citrate synthase. *Method in Enzymol.* 13: 3-11 (1969)
- Crozier G, Bois-joyeux B, Chanez M, Girard J, Peret J. Metabolic effects induced by long-term feeding of medium-chain triglycerides in the rat. *Metabolism* 36: 807-814 (1987)
- Baba N, Bracco EF, Hashim SA. Enhanced thermogenesis and diminished deposition of fat in response to overfeeding with diet containing medium chain triglyceride. *Am. J. Clin. Nutr.* 35: 678-682 (1982)
- Park H, Kim J. Effects of squalene supplementation on antioxidative capacity and blood profiles. *Korean J. Exerc. Nutr.* 6: 197-203 (2002)
- Jung K, Kim IH, Han D. Effect of medicinal plant extracts on forced swimming capacity in mice. *J. Ethnopharmacol.* 93: 75-81 (2004)
- Ha BJ, Ha JM, Lee SH, Lee JY, Park SY. Protective effects of *Saururus chinensis* Baill extracts on liver cell. *J. Fd. Hyg. Safety.* 18: 177-182 (2003)
- Song YJ, Han DS, Oh SW, Paik IY, Park TS. Effect of dietary supplementation of *Eleutherococcus senticosus*, taurine and carnitine on endurance exercise performance in rats. *Korean J. Nutr.* 35: 825-833 (2002)
- Kwak YS. The effect of MCT (medium chain triglycerides) supplements on physical performance time, ffa, lipase and insulin hormone levels. *J. KAHPERD* 40: 943-951 (2001)
- Taylor JC, Rapport L, Lockwood GB. Octacosanol in human health. *Nutrition* 19: 192-195 (2003)
- Choi JW, Kim YS, Lee KM, Kim HJ. The effects of Red-ginseng intaking on free radical produced during aerobic exercise in the elderly. *J. Ginseng Res.* 28: 27-32 (2004)
- Shin KS, Park PJ, Boo HO, Ko JY, Han SS. Chemical components and comparison of biological activities on the fruit of natural bogunja. *Korean J. Plant. Res.* 16: 109-117 (2003)
- Lee HM, Paik IY, Park TS. Effects of dietary supplementation of taurine, carnitine or glutamine on endurance exercise performance and fatigue parameters in athletes. *Korean J. Nutr.* 36: 711-719 (2003)
- Berning JR. The role of medium-chain triglycerides in exercise. *Int. J. Sport Nutr.* 6: 121-133 (1996)
- Coyle EF, Hagberg JM, Hurley BF, Martin WH, Ehsani AA, Holloszy JO. Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *J. Appl. Physiol.* 55: 230-235 (1983)
- Kim H, Park S, Han DS, Park T. Octacosanol supplementation increases running endurance time and improves biochemical parameters after exhaustion in trained rats. *J. Med. Food.* 6: 345-351 (2003)
- Kang DH. Physiology. Sinkwang Publishing Co. Seoul, Korea. pp. 14.1-14.8 (2000)
- Cha YS, Shon HS. Exercise and/or high fat diet affect on lipid and carnitine metabolism in rats. *Food Ind. Nutr.* 5: 37-43 (2000)
- Costa CG, Dorland L, de Almeida IT, Jakobs C, Duran M, Poll-The BT. The effect of fasting, long-chain triglyceride load and carnitine load on plasma long-chain acylcarnitine levels in mitochondrial very long-chain acyl-CoA dehydrogenase deficiency. *J. Inherit. Metab. Dis.* 21: 391-399 (1998)
- Duke, James A. Handbook of medicinal herbs. CRC Press, INC. Boca Raton, Florida, USA. pp. 133-134 (1985)
- Huxtable RJ. Physiological actions of taurine. *Physiol. Rev.* 72: 101-163 (1992)
- Asano K, Takahashi T, Miyashita M, Matsuzaka A, Muramatsu S, Kuboyama M, Kugo H, Imai J. Effect of *Eleutherococcus senticosus* extract on human physical working capacity. *Planta. Med.* 3: 175-177 (1986)
- Walliman T, Wyss M, Brdiczka D, Nicolay K, Eppenberger HM.

- Intracellular compartmentation, structure and function of creatine kinase isoenzymes in tissues with high and fluctuating energy demands: the 'phosphocreatine circuit' for cellular energy homeostasis. *Biochem. J.* 281: 21-40 (1992)
44. Maclaren DP, Gibson H, Parry-Billings M, Edwards RH. A review of metabolism and physiological factors in fatigue. *Exerc. Sport. Sci. Rev.* 17: 29-66 (1989)
45. Lancha AH Jr, Recco MB, Abdalla DS, Curi R. Effect of aspartate, asparagine, and carnitine supplementation in the diet on metabolism of skeletal muscle during a moderate exercise. *Physiol. Behav.* 57: 367-371 (1995)
46. Chai JW, Lim KB. The effects of long-term oral creatine supplementation and weight training on muscle mass, body composition and resting metabolic rates. *Korean J. Sports Med.* 22: 21-28 (2004)
47. Spriet LL, Heigenhauser GJ. Regulation of pyruvate dehydrogenase(PDH) activity in human skeletal muscle during exercise. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 30: 91-95 (2002)
48. James LG, Sareen SG. *Advanced Nutrition and Human Metabolism*. 3rd ed. Wadsworth/Thomson Learning Press, Belmont, CA, USA. pp. 220-244 (1999)

(2005년 2월 23일 접수; 2005년 7월 24일 채택)