

## 서로 다른 형태의 지방산 투여가 훈련된 흰쥐의 지구성 운동수행력, 안정시기와 운동스트레스 시기의 에너지 기질, Insulin 호르몬과 Lipase 활성에 미치는 영향

곽 이 섭\*

동의대학교 레저스포츠학과

Received November 15, 2006 / Accepted February 22, 2007

**The Effects of Different Type of Triglyceride Supplements on Exercise Performance Time, Energy Substrates, Insulin Hormone and Lipase Activity in the Trained Rats.** Yi-Sub kwak\*. *Department of Leisure and Sports Science, Dong-Eui University 995 Eomgwangro Busanjin-gu, Busan 614-714, Korea* – The purpose of this study was to investigate the effects of different type of triglycerides (MCT & LCT) on weight, survival time, energy substrate (FFA, TG, pyruvate, lactate), insulin and lipase in the trained rats. Fifty-four Sprague-Dawley rats were divided into 3 groups: control group (CG, n=18), MCT supplement group (MG, n=18), and LCT supplement group (LG, n=18). They also were divided into 3 periods: trained resting (R, n=6) and trained & exercise load (E, n=6), and survival time test was performed to know the supplemented effects. Body weight of all animals was checked every week, MCT group and LCT group received supplementary MCT and LCT orally and preliminary swimming training for 6 days before the start of main experiment. All animals received 15-minute swimming training 5 times during first week of experiment, and swimming training time was increased 15 minutes every week until it reached 90 minutes at last 9th week. After last swimming training, animals were fasted for 12 hours and blood samples were taken from abdominal aorta in the Department of Animal Medicine at the D university Animal Center. Among the CGE, MGE, and LGE groups, the MGE had the greatest increase in physical performance time. In the FFA levels, there was significant differences ( $p < .05$ ) in CG, MG and LG groups, and also there was major difference of FFA levels in the MG and LG. In the lipase levels, there was significant differences ( $p < .05$ ) in CG, MG and LG groups. MG was the greatest than the other groups. In the insulin hormone levels, there was the great differences ( $p < .05$ ) in LG compare to CG groups, whereas there was no significant difference in the CG and MG. In conclusion, these results suggest that regular prolonged physical training with MCT supplementation, improves exercise performance time through the increase of energy substrate utilization, lipase activity and FFA levels, irrespective of insulin hormone responses.

**Key words** – Survival time, MCT, LCT, FFA, Pyruvate, Insulin, Lipase

### 서 론

운동선수에게 있어, 영양 상태는 무엇보다도 중요하며, 휴식과 더불어 운동 전, 중, 후에 적절한 영양분의 섭취는 (에르고제닉 에이드의 투여) 선수들의 건강은 물론 운동 수행력에 중요한 요소로서 작용을 하게 된다. 최근 운동 생리학자들은 선수들에게 좋은 영양분의 제공뿐만 아니라, 이러한 영양분이 장에서의 빠른 흡수를 중요시 하며, 운동 수행 시 장에서의 빠른 흡수와 운동 중 산화 시 많은 에너지를 낼 수 있는 영양분의 제공을 무엇보다 중요한 것으로 생각하고 있다. 이러한 의미에서 탄수화물을 포함하는 스포츠 음료의 투여는 체내의 빠른 흡수와 더불어 많은 에너지를 생성하는 데에 중요하게 여겨지는 에르고제닉 에이드로 여겨져 왔다. 하지만 탄수화물의 투여는 에너지의 용도나 양에서 장기간의

운동에는 큰 효과를 볼 수 없는 단점을 지니고 있다.

최근 6개, 8개, 혹은 12개의 탄소골격으로 이루어진 MCT (medium chain triglycerides)는 지방의 한 종류로, 일반적인 지방의 형태 (LCT: long chain triglycerides)와는 달리 장에서의 빠른 흡수와 빠른 산화의 특성을 가지고 있다[1]. 이러한 MCT는 1950년대부터 지방 흡수에 문제가 있는 사람들을 대상으로 하여 처음 도입되었으며, 장과 장외의 영양 섭취법을 통하여 주로 병원에서 임상적으로 사용되어져 왔다[3]. 그리고 1980년대 후반 Parillo에 의해서 육체미 선수들에게 많이 사용되어 지고 널리 알려졌으며, MCT는 지방으로서 산화되면서 탄수화물 보다 훨씬 많은 양의 에너지를 내는 반면에, 장에서는 탄수화물처럼 빠르게 흡수되는 장점을 지니며 [14], 탄수화물의 섭취가 인슐린 호르몬 (insulin hormones)을 생성하여 운동 수행의 효과를 저지하는 반면에, 인슐린 호르몬의 반응을 일으키지 않고도 많은 에너지를 생성하며 [5,6], 단지 1-2%만이 지방으로 저장되기 때문에 [8], 운동선수들에게는 더욱 중요한 영양소라고 생각되어져 왔다.

\*Corresponding author

Tel : +82-51-890-2213, Fax : +82-51-890-2643

E-mail : ysk2003@deu.ac.kr

따라서 MCT는 운동선수들의 지방산화를 촉진하여 운동 시대사량을 증가시키고, 운동 시 근육 글라이코진의 sparing 효과를 가지며, 지구력 운동 수행력을 증진 시킨다는 이유로 운동생리학자들에게 유용한 에르고제닉에이드가 되리라 여겨졌다[1,10,16].

한편, 일반적인 지방으로 알려져 있는 LCT는 탄수화물과 MCT에 비해 많은 에너지를 생성하지만 세포 내로 흡수될 때, 지방의 원활한 대사 과정을 위해 탄수화물을 필수적인 전구자로 사용해야 하며[13], 아올러 carnitine과 같은 효소를 필요로 하게 된다.

carnitine은 미토콘드리아 내막에서 지방산화 과정을 위한 중요한 물질로서 작용하기 때문에 운동 시 지방의 산화 과정을 통한 에너지 공급 체계에 매우 필수적인 물질이라고 간주되어 지고 있다. 즉, 지방조직으로부터 유리된 지방산은 혈중 알부민과 결합하여 세포질까지 운반되지만, 미토콘드리아의 막(membrane)으로 직접 유입될 수 없으므로 특수한 전달자에 의해서 미토콘드리아 외막으로 전달되어야만 하는데, carnitine이 이러한 역할을 하게 되는 것이다. 이때 미토콘드리아 내막의 바깥 표면에 존재하는 carnitine acyltransferase I 과 미토콘드리아 내막에 존재하는 carnitine acyltransferase II의 촉매작용에 의해서 생성된 acyl-CoA는  $\beta$ -oxidation을 통해서 acetyl-CoA 형태로 분해되어 지고 이것은 TCA cycle를 거쳐 운동에 필요한 ATP를 생성하게 되는 것이다[11].

하지만 MCT는 운동 산화 시 이러한 carnitine의 작용을 필요로 하지 않고, 독립적으로 탄수화물처럼 세포 내에서 직접 산화되어 지며[3], 탄수화물과는 달리 인슐린 호르몬의 반응을 일으키지 않고 보다 많은 에너지를 생성하기 때문에, 운동 시 중요한 에너지원으로 사용되어 진다고 볼 수 있다.

이제까지 MCT를 이용한 연구는 MCT의 투여가 인슐린의 반응을 일으키지 않고 산화되어 에너지원으로 사용된다는 연구보고[5], 실험동물에게서 MCT를 함유한 식이 섭취가 열 생성의 증가와 지방 축적의 감소를 일으킨다는 연구보고[2], 운동 시 MCT의 투여가 증가된 유리 지방산의 활용으로 인하여 근육의 글라이코진 사용의 감소를 일으켰다는 연구보고[4], 실험동물에게 장기간 MCT의 투여가 수영능력을 향상시켰다는 연구보고[7] 등이 있었다. 하지만 이제까지 연구들은 MCT의 에르고제닉에이드 효과를 단지 지구력 운동 수행력에 국한시켜 진행하였고, LCT의 산화가 상당한 정도의 에너지를 생성함에도 불구하고 이의 투여효과를 고려하지 않은 채 이루어지고 있다. 따라서 본 연구는 장기간의 수영훈련을 마친 통제 훈련군, MCT 투여 훈련군 및 LCT 투여 훈련군에서 지구력 운동수행력과 장기간의 훈련 안정시기 및 운동스트레스 부여시기(실험동물이 상당한 스트레스를 느끼는 160분간의 강제수영)에서 에너지 기질의 변화, 인슐린 호르몬, 및 Lipase 효소의 활성화를 함께 비교하여, 만약 투여 훈련군에서 높은 운동수행력이 나왔다면 이것이 어느 에너지 기질 및 피로물질과 연관되는지 혹은 인슐린 호르몬과 지방 분해 효소인 Lipase 효소와는 어떠한 연관이 있는지를 규명하여 지구성 운동수행력에 훈련과 투여의 효과를 과학적으로 검증하는 데에 연구목적이 있었다.

## 재료 및 방법

### 실험동물

본 연구에서 사용된 실험동물은 평균체중 140-155 g의 Sprague-Dawley계 흰쥐 수컷으로(7 wk), SPF (specific pathogen free: 특정병원체 부재동물)를 대한바이오링크에서 분양 받은 후에 D대학교 실험동물 사육실에서 사육하였다. Sprague-Dawley계 흰쥐는 동물실험에서 식이 투여 및 트레드밀, 수영운동과 관련된 연구에 가장 많이 사용되며 주로 생물검정용, 영양시험용, 선별실험용 등으로 사용된다. 또한 생활력이 강하고 온순하며 높은 번식력과 체력을 가지지만 형태학적인 다양성과 실험의 정확성이 유전적 변이에 따라 다소 감소하게 된다. 본 실험동물을 분양 받기 전 실험에 사용된 동물들은 신뢰성 있고 재현성 있는 결과를 얻기 위한 적합 여부를 조사하고, 실험 결과의 질을 높이기 위해 미생물 모니터링과 유전 모니터링을 통해 실험동물의 감염여부와 유전적 오염여부를 조사하였다. 실험동물은(Table 1)과 같이 총 54마리를 환경적응과 적응훈련을 포함하는 총 9주간의 훈련을 거친 후 크게 세 그룹으로 나누어 비 투여 그룹 18마리, MCT 투여그룹 18마리, LCT 투여그룹 18마리로 구분하였고 각 그룹에서 안정 시기 6마리와 160분간의 운동 스트레스 시기 6마리 및 지구력 운동수행력시기(survival test) 6마리로 세분화 하여 분석하였다.

### 실험동물의 사육

본 실험은 D대학교 동물실험실의 Clean 사육실에서 이루어졌다. Clean 사육실은 온도 22±2°C, 습도 45~55%, 및 조명은 실험동물의 야행성 성향을 고려하여 오전 6시부터 오후 6시까지 12시간동안 밝게 자동적으로 유지되고 무균 청정공기가 자동 제어되어 실험동물에게 미치는 환경적 방해요인

Table 1. Animals

Week	Duration/Time
warm-up 1week	6times/week, 15min/day
swim training 2week	5times/week, 30min/day
swim training 3week	5times/week, 45min/day
swim training 4week	5times/week, 60min/day
swim training 5week	5times/week, 75min/day
swim training 6week	5times/week, 80min/day
swim training 7week	5times/week, 85min/day
swim training 8week	5times/week, 90min/day

을 최소화시켜 주도록 조절되어 있다. 실험동물에서 사육한 케이지는 정규규격 (33×23×12 cm)을 사용하여 케이지 마다 6 마리씩 총 9개를 사용하였으며, 주 2회 정기적으로 깔짚을 교체하고 무균음료 및 멸균사료를 자유롭게 섭취하도록 조절하여 실험동물에게 최적의 환경을 제공하였다. 체중은 매주 1회 일정한 시간에 CAS社(韓)의 Computingscale 체중계를 이용하여 측정하였고, 식이섭취에 의한 체중 변화를 막기 위해 측정 1시간 전에 사료와 음료의 섭취를 제한하였다.

**MCT와 LCT의 투여방법**

본 실험에 사용된 MCT는 미국 Parrillo社 제품인 MCT Dietary oil을 사용하였고, LCT는 미국 Sigma社 Corn oil을 사용하였다. 비 투여 그룹의 경우 본 실험 전까지 정상 식이와 함께 훈련을 실시하고, MCT와 LCT 그룹도 같은 방법으로 식이와 훈련을 실시한 후 본 실험 일주일전 6일간 투여하였다.

실험동물의 에르고게닉 에이트 투여법은 일반적으로 경구 투여, 정맥, 복강, 피하, 및 근육주사로 나뉘는데 본 실험에서는 본 연구의 효과를 임상에 적용할 수 있는 경구 존데를 이용한 경구투여를 사용하였고, 1회 투여량은 체중 1kg당 10ml를 투여하였다. 훈련의 효과를 위해 본 실험 48시간 전 훈련을 중단시켰고, 투여의 효과를 위해 본 실험 12시간 전 금식을 시켰다.

**실험동물의 수영 훈련방법**

본 실험의 훈련은 D대학교 동물실험실의 운동 부하실에서 시행되었으며, 모든 실험 동물은 1주간의 수영 적응훈련 후 7주간의 수영 훈련을 실시하였다. 수영 훈련은 90×90×70 cm 규격의 수영풀을 사용하였고 매일 청결한 물로 교체하였다. 수온은 실험동물에게 가장 적당한 27-30℃를 유지하여 물의 온도차에 따른 에너지 소비의 차이가 없도록 하였다.

Table 2에서 보는바와 같이 수영 적응훈련은 매일 15분씩 6일간 실시하여 적응능력을 평가하였으며, 적응 훈련 후 본 수영훈련은 주당 5일간 같은 시간대에 실시하였는데 훈련 5주까지는 매주 15분씩 증가시켰고 수영훈련 6주부터는 실험동물의 상태를 고려하여 실험 마지막 주까지 매주 5분씩 증

가시키는 방법을 이용하였다. 매 수영훈련이 종료되면 마른 수건으로 수분을 닦아주었고, 드라이를 이용하여 갑작스런 온도차를 줄여 실험동물의 스트레스를 최소화 시켰다. 훈련 마지막 주에는 MCT와 LCT 그룹의 경우 90분 수영훈련을 시킨 후 2시간 뒤 안정된 상태에서 MCT와 LCT를 투여하였다.

**실험동물의 채혈**

본 실험의 채혈은 D대학교 동물실험실의 해부실에서 시행되었고, 모든 실험동물은 채혈 12시간 전 금식시킨 뒤 우선 각 그룹별로 지구성 운동수행력을 측정하였다. 이 후 안정 시기와 운동 스트레스시기를 나누어 분석하였다. 안정 시기는 훈련과 투여의 효과를 보기위한 것으로 실험실에서 충분한 안정을 취한 뒤 마취제 에틸 에테르를 이용하여 마취시켰으며, 운동 스트레스 시기는 역시 안정을 취한 뒤 MCT 그룹, LCT 그룹, 및 비 투여 그룹 순으로 수영 풀에 넣어 랫이 높은 운동 스트레스를 가지는 160분간의 강제 수영을 시킨 후 순서대로 마취시켰다.

마취된 실험동물은 해부판에 사지를 고정시키고 알코올 분무기로 복부를 분무한 뒤 3방향으로 절개한 다음 10 ml 주사기를 이용하여 복부대동맥에서 약 1 ml의 동맥혈을 채혈하였다. 채혈된 혈액은 원심분리기로 혈청을 분리하여 에펜 돌프 튜브에 넣은 뒤 분석 전까지 Revoco社(美)의 Deepfreezer (-70℃ 냉동고)에 보관하였다.

**혈액분석**

**Pyruvate 분석**

채취한 혈액과 8%의 과염소산을 동량 혼합한 후 교반하여 3000rpm의 속도로 5분간 원심분리 뒤 단백질이 제거된 상층액 3.0cc를 추출하였고, 시약 sigma diagnostic pyruvate 를 넣고 calibration curve를 이용하여 miltonroy spectronic 610(美)을 이용하여 측정하였다.

**Free Fatty Acid (FFA) 분석**

채취한 혈액을 상온에서 30분간 섬유소원을 침전시킨 뒤 3000 rpm 속도로 15분간 원심 분리하여 상층액을 추출한 뒤, 추출된 혈청에 증류수와 STD 용액을 각각 50uL 넣고 sicidia nefazyme을 혼합하여 5분간 찬물에 방치한 후 생화학 분석기 HITACHI 7150(日)을 이용하여 측정하였다.

**Triglyceride 분석**

채취한 혈액을 이용하여 2500rpm 속도로 15분간 원심 분리하여 상층액을 추출한 뒤, 생화학 분석기 HITACHI 7150 (日)을 이용하여 측정하였다.

**Lactate 분석**

제단백 2cc와 혈액을 동량 혼합한 후 3000rpm으로 15분간 원심분리 하여 상층액을 추출한 뒤, 생화학분석기 HITACHI 7150(日)을 이용하여 측정하였다.

Table 2. Swim training

Control group (n=18)	Trained Resting (CGR, n=6)
	Trained & Exercised (CGE, n=6)
	Exercise Performance Time (CGP, n=6)
MCT supplement group (n=18)	Trained Resting (MGR, n=6)
	Trained & Exercised (MGE, n=6)
	Exercise Performance Time (MGP, n=6)
LCT supplement group (n=18)	Trained Resting (LGR, n=6)
	Trained & Exercised (LGE, n=6)
	Exercise Performance Time (LGP, n=6)

**자료처리방법**

본 연구에서 얻은 자료의 분석은 통계 패키지 SAS for Window (ver. 6.12)를 이용하였다. 자료의 기술 통계량(descriptive statistics)으로 평균(mean)과 표준편차(standard deviation)를 구하였고, 세 가지 서로 다른 실험그룹 (Control, MCT, & LCT)에 지구성 운동수행력, 에너지 기질 활용도(pyruvate, free fatty acid, triglyceride)와 피로요소(lactate) 및 인슐린 호르몬과 Lipase 효소의 유의한 차이를 알아보기 위해 1-요인 분산분석법(One-way ANOVA)을 이용하였다. 그리고 DUNCAN의 사후검증을 통해 유의수준을 산출하였다(p<.05).

**결 과**

**체중의 변화**

본 실험의 체중 측정은 1주간의 환경적응, 1주간의 적응훈련, 및 7주간의 본 훈련을 거친 후 투여에 따른 차이를 비교하기 위해 수행하였으며, 최초 분양시기와 투여종료 시기의 체중의 변화는 Table 3에 나타나 있다.

안정 시 체중은 통제군, MCT군, 및 LCT군이 각각 144.2±4.105 g, 147.7±4.215 g, 146.1±3.827 g로 나타나 안정시기에 체중의 유의한 차이가 없었으며, 9주간의 훈련과 투여에 따라서 이들의 체중이 342.7±7.244 g, 315.4±5.169 g, 348.2±

5.786 g로 나타나 통제군에 비해 MCT 투여그룹은 체중의 현저한 감소를 LCT 투여그룹은 체중의 증가를 보여 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(p<.05). 본 연구의 결과로 MCT 투여그룹은 체중의 감소를 LCT 투여그룹은 체중의 증가를 나타냄을 알 수 있었다. 이는 MCT 투여가 지방산의 합성 보다는 운동 시 효율적인 에너지 기질로 사용된다는 선행연구를[15] 반영하는 것으로 본 연구에서도 추가적인 MCT의 투여가 체중 증가를 반영하는 것이 아니라 오히려 감소가 나타남을 알 수 있었다. 하지만 LCT의 투여는 체중 증가를 나타내었다.

**운동스트레스 변화**

훈련군, MCT 투여 훈련군, 및 LCT 투여 훈련군에서 survival time을 측정하기 위해 all out 시점까지의 시간을 측정 한 결과는 Table 3에 나타나 있다. 본 실험은 훈련 뿐만이 아니라 에르고게닉에이드로서 지방 투여의 역할을 알아보기 위한 것으로 실험동물의 완전한 all-out시점까지의 시간을 측정하였다. 우선 훈련통제군은 184.3±17.282 분이었고 MCT 투여 훈련군은 460.8±17.949 분을, 그리고 LCT 투여 훈련군은 294.0±22.610 분의 결과를 보여 훈련 통제군에 비해 투여 훈련군이 통계적으로 유의한 증가를 보였으며(p<.05), 투여 훈련군 사이에서도 MCT 투여군이 가장 높은 시간을 나타내 통계적으로도 유의성을 나타내었다(p<.05). 본 연구결과로

Table 3. The change of weight, survival time, FFA, TG, pyruvate, lactate during resting and exercise loading periods

Items (unit)	Group	Rest	Exercise load
weight (g)	CG	144.17±4.105	342.67±7.244
	MG	147.67±4.215	315.39±5.169*
	LG	146.06±3.827	348.22±5.786*#
survival time (min)	CGE		184.33±17.282
	MGE		460.83±17.949*
	LGE		294.0±22.610*#
FFA (uEq/ ℓ)	CG	774.67±23.678	1728.0±42.337
	MG	784.0±8.579	1987.17±158.075*
	LG	766.0±9.654	1767.5±53.995#
TG (mg/ dℓ)	CG	122.0±6.723	208.67±8.869
	MG	116.17±10.420	176.0±6.450*
	LG	119.0±6.293	252.5±12.243*#
pyruvate (mg/ dℓ)	CG	2.733±0.164	3.053±0.144
	MG	2.663±0.143	3.543±0.276*
	LG	2.782±0.134	3.712±0.077*
lactate (mg/ dℓ)	CG	18.167±1.941	122.67±6.947
	MG	20.50±3.391	82.67±11.501*
	LG	19.167±1.941	115.50±7.609#

CG : control group, MG : MCT supplemented group, LG : LCT supplemented group, Rest : resting value, Exercise load : After 160min swim stress

FFA : free fatty acid, TG : triglycerides

survival time : all out Significantly difference as compared with CG of each group : \*p<.05

Significantly difference as compared with MG of each group : #p<.05

추가적인 지방산의 투여는 비 투여에 비해 모두 효과적임을 알 수 있었고 특히, LCT에 비해 MCT가 더욱 큰 효과가 있음을 알 수 있었다. 이는 MCT의 투여가 에너지 소비량을 증가시키고 운동 수행력의 증가를 가져온다는 선행연구를 반영하는 것으로 나타났다[15]. 하지만 장기간의 MCT 투여가 추가적인 운동 수행력의 증가를 도모하지 않는다는 선행연구 [12]와 비교해 볼 때, 그 투여 효과는 단기간에 효과적인 것으로 여겨진다. 추후 기간의 차이에 따른 운동수행력의 변화 연구가 이루어져야 할 것으로 여겨진다.

**에너지기질의 변화**

비투여 훈련군, MCT 투여 훈련군, 및 LCT 투여 훈련군의 안정시기와 훈련 종료시기의 pyruvate, triglyceride, FFA 및 lactate 의 변화는 Table.3에 나타나 있다. 우선 탄수화물로서 운동 시 에너지를 생성하는 물질인 pyruvate는 안정시 그룹별로 각각 2.73±0.164 mg/dl, 2.66±0.143 mg/dl, 2.78±0.134 mg/dl를 보여 훈련과 투여전 그룹별로 유의한 차이를 보이지 않았다. 하지만 160분간의 강제 운동 후 pyruvate는 그룹별로 각각 3.05±0.144 mg/dl, 3.54±0.276 mg/dl, 3.71±0.07 mg/dl로 나타나 통제군에 비해 증가하여 통계적으로도 유의성을 나타내었다(p<.05). 하지만 MCT 투여 훈련군과 LCT 투여 훈련군 차이에는 통계적 유의성이 나타나지 않았다. 주목할 점은 MCT 투여군에서 운동 부하시 에너지원인 pyruvate의 증가인데, 이는 장기간 운동시 지방산의 투여로 탄수화물의 spairing 효과가 나타났음을 알 수 있는 것이며, 추가적으로 lactate shuttle도 잘 반영하는 것으로 여겨진다. triglyceride는 인체에서 저장된 지방의 대표적인 형태이며, 안정시 그룹별 측정치는 122.0±6.723 mg/dl, 116.2±10.420 mg/dl, 및 119.0±6.293 mg/dl로 그룹별 유의한 차이를 보이지 않았다. 하지만 160분간의 강제 운동 후 triglyceride는 각각 208.67±8.869 mg/dl, 176.0±6.450 mg/dl, 252.5±12.243 mg/dl로 통제 훈련군에 비해 MCT 투여훈련군은 통계적으로 유의하게 감소하였고, LCT 투여 훈련군은 통계적으로 유의하게 증가하였다(p<.05). 역시 안정시에 비해 운동부하시 지방산

의 증가를 알 수 있으며, 그룹별로 LG가 가장 높게 나타났다.

한편, 유리지방산은 운동 시 사용되는 대표적인 지방의 형태로 알부민과 결합하여 이동되는데 안정시 수치가 각각 774.67±23.678 uEq/l, 784.0 ±8.579 uEq/l, 766.0±9.654 uEq/l의 수치를 보여 그룹간의 차이를 보이지 않았다. 하지만 운동 후에는 상당히 증가하여 그룹별 각각 1728.0±42.337 uEq/l, 1987.17± 158.08 uEq/l, 1767.50± 53.995 uEq/l로 통제 훈련군에 비해 MCT투여 훈련군이 상당한 수치로 증가하여 통계적으로 유의한 차이를 나타내었고 (p<.05), LCT투여 훈련군은 증가하였으나 통계적인 차이를 나타내지 않았다(p>.05). 이는 FFA가 장기간 운동시 주요 에너지원임을 생각할 때, MCT투여 그룹에서 운동 시 지방산을 효율적으로 사용함을 알 수 있다. 탄수화물 대사의 부산물로서 피로물질이지만 산소가 충분하면 에너지를 생성하는 젖산은 안정시기에 그룹별로 비슷한 수치를 보였지만 운동부하시 각각 122.67±6.947 mg/dl, 82.67±11.501 mg/dl, 및 115.50±7.609 mg/dl의 수치를 보여 MCT 투여 훈련군은 통제군에 비해 낮은 수치를 보여 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다 (p<.05). 하지만 LCT 투여 훈련군은 감소를 보였지만 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 Lactate shuttle 이론에 의한 결과로 MCT 투여 훈련군에서 타 그룹에 비하여 젖산이 산소와 결합하여 에너지로의 동원이 효율적으로 되었음을 말해주는 것이다.

**Insulin과 Lipase의 변화**

비투여 훈련군, MCT투여 훈련군, 및 LCT 투여 훈련군의 안정시기와 훈련 종료시기의 Insulin과 lipase의 변화는 Table 4에 나타나 있다. 테이블에 나타나 있듯이 안정시기의 인슐린 호르몬은 각각 20.0±2.098 ng/ml, 17.5±1.378 ng/ml, 19.3±2.160 ng/ml로 나타나 통계적인 차이는 보이지 않는 것으로 나타났다. 하지만 160분간의 강제 운동 후 인슐린 호르몬의 변화는 통제 훈련군에 비해 MCT 투여 훈련군은 차이를 나타내지 않았지만 LCT 투여 훈련군은 큰 수치로 증가하여 통계적으로도 상당히 증가하였다(p<.05). 본 연구의 결

Table 4. The change of Insulin and Lipase activity

Items (unit)	Group	Rest	Exercise Load
Insulin (ng/ml)	CG	20.0±2.098	7.49±0.888
	MG	17.50±1.378	8.47±1.493
	LG	19.33±2.160	10.21±1.923*
Lipase (u/l)	CG	16.97±0.683	25.33±2.160
	MG	18.67±1.080	42.0±3.347*
	LG	17.62±0.977	26.0±1.897#

CG : control group, MG : MCT supplemented group, LG : LCT supplemented group, Rest : resting value, Exercise load : After 160min swim stress

survival time : all out Significantly difference as compared with CG of each group : \*p<.05

Significantly difference as compared with MG of each group : #p<.05

과로 MCT의 추가적인 투여는 인슐린 호르몬의 증가와 큰 관련이 없는 것으로 여겨진다.

한편, 운동시 지방산의 분해 효소인 Lipase는 각 그룹에서 안정시 16.97±0.683 u/l, 18.67±1.080 u/l, 17.62±0.977 u/l로 나타나 유의한 차이를 보이지 않았다. 하지만 160분간의 강제 운동 후 lipase는 각각 25.3±2.160 u/l, 42.0±3.347 u/l, 26.0±1.897 u/l의 수치를 보여 통제 훈련군에 비해 LCT 투여 훈련군은 증가를 하였으나 유의한 차이를 나타내지 못하였고, MCT 투여 훈련군은 크게 증가하여 통계적으로도 유의한 차이를 나타내었다(p<.05). 본 연구의 결과로 MCT 투여 훈련군이 타 그룹에 비하여 인슐린 호르몬의 증가를 동반하지 않고도 유리지방산의 활성을 도모하는 결과를 나타내었다. 이는 MCT투여가 인슐린 반응을 일으키지 않는다고 하는 선행연구[9]를 반영하는 것이다. 결국 MCT의 투여가 인슐린 반응을 증가 시키지 않고 지방분해 효소 증가에 따른 지방 산화를 촉진하고 에너지 대사를 촉진함으로써 장기간 최대 운동 수행력을 나타내었음을 알 수 있다.

요 약

본 연구는 장기간의 수영훈련을 마친 통제 훈련군, MCT 투여 훈련군 및 LCT 투여 훈련군에서 지구력 운동수행력과 장기간의 훈련 안정시기 및 운동스트레스 부여시기(실험동물이 상당한 스트레스를 느끼는 160분간의 강제수영)에서 에너지 기질의 변화, 인슐린 호르몬, 및 Lipase 효소의 활성화를 함께 비교하여, 만약 투여 훈련군에서 높은 운동수행력이 나왔다면 이것이 어느 에너지 기질 및 피로물질과 연관되는지 혹은 인슐린 호르몬과 지방분해 효소인 Lipase 효소와는 어떠한 연관이 있는지를 규명하여 지구성 운동수행력에 훈련과 투여효과를 과학적으로 검증하는 데에 연구목적이 있었다.

본 연구에서 사용된 실험동물은 평균체중 140-155 g의 Sprague-Dawley계 흰쥐 수컷으로(7 wk), SPF (Specific Pathogen Free: 특정병원체 부재동물)를 대한바이오링크에서 분양 받은 후에 D대학교 실험동물 사육실에서 사육하였다. 실험동물은 총 54마리를 환경적응과 적응훈련을 포함하는 총 9주간의 훈련을 거친 후 크게 세 그룹으로 나누어 비 투여 그룹 18마리, MCT 투여그룹 18마리, LCT 투여그룹 18마리로 구분하였고 각 그룹에서 안정 시기 6마리와 160분간의 운동 스트레스 시기 6마리 및 지구력 운동수행력시기(survival test) 6마리로 세분화 하여 분석하였다.

본 연구의 결과로 일반적인 지방 형태인 LCT의 투여는 추가적인 체중증가를 일으켰고, 운동수행력의 증가도 가져왔다. 하지만 같은 강도의 운동 부하에 대해서 운동 시 활용되는 지방의 형태인 지방산의 동원이 상대적으로 적었고, 운동 종료시기에도 많은 양이 TG의 형태로 존재함을 알 수 있었

다. 그리고 운동종료 시 피로물질인 젖산의 축적량이 증가하였고, 지방산화 효소인 Lipase 활성도도 크게 증가하지 않으면서 오히려 인슐린 호르몬을 증가시켜 많은 양의 에너지를 제공하여 지구력 운동 수행에는 도움을 주지만 효율성이 떨어짐을 알 수 있었다.

하지만 MCT의 투여는 인슐린 호르몬의 증가를 일으키지 않으면서 lipase 효소의 활성도를 증가시키고, 젖산 축적을 적게 하면서 유리지방산의 동원을 원활하게 하여 운동 지속 시간을 상당히 연장했음을 알 수 있었다. 그리고 TG의 축적을 적게 일으키면서 체중의 감소도 나타났다. 이러한 결과를 통하여 장기간 지구성 운동시 추가적인 에너지 공급을 위해 MCT를 투여하는 것이 운동 수행력의 증가는 물론, 에너지 기질의 활성화를 도모하고 피로물질의 축적을 적게 일으켜, 효율적인 에르고게닉에이드로 권장된다. 뿐만 아니라 에너지 효율성을 증가하여 추가적인 지방축적을 일으키지 않기 때문에, 체중증가를 우려할 필요가 없으며, 오히려 많은 지방을 에너지로 사용하기 때문에 에너지 효율성의 면에서 운동만 한다면 다이어트에도 도움이 되리라 생각한다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단 선도연구과제 지원사업(2004-041-G00146)지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. Angus, D. J., M. Hargreaves., J. Dancey and M. A. Febbraio. 2000. Effect of carbohydrate or carbohydrate plus medium-chain triglyceride ingestion on cycling time trial performance. *Journal of Applied Physiology.* 88, 113-119.
2. Baba, N., E. F. Bracco and S. A. Hashim. 1982. Enhanced thermogenesis and diminished deposition of fat in response to overfeeding with diet containing medium chain triglycerides. *Am. J. Clin. Nut.* 35, 678-682.
3. Bach, A. C. and V. K. Babayan. 1982. Medium chain triglycerides: an update. *Am. J. Clin. Nutr.* 36, 950-962.
4. Berning, J. R. 1996. The role of Medium -chain Triglycerides in Exercise. *Human Kinetics.* 6, 121-131.
5. Bremer, J. 1980. Carnitine and it's role in fatty acid metabolism. *Trends. Biochem. Sci.* 2, 207-209.
6. Crozier, G., B. Bois-Joyeux., M. Chanez., J. Girard and J. Peret. 1987. Metabolic effects induced by long-term feeding of medium chain triglycerides in the rat. *Metabolism.* 36, 807-814.
7. Fushiki, T., K. Matsumoto., K. Inoue., T. Kawada and E. Sugimoto. 1995. Swimming Capacity of Mice is Increased by Chronic Consumption of Medium-Chain Triglycerides. *J. Nutr.* 125, 531-539.
8. Geliebter, A., N. Torbay., E. F. Bracco., S. A. Hashim and T. B. Van itallie. 1983. Overfeeding with medium chain tri-

- glycerides diet results in diminished deposition of fat. *Am. J. Clin. Nutr.* **37**, 1-4.
9. Goedecke, J. H., V. R. Clark., T. D. Noakes and E. V. Lambert. 2005. The effects of medium-chain triacylglycerol and carbohydrate ingestion on ultra-endurance exercise performance. *Sport. Nutr. Exerc. Metab.* **15(1)**, 15-27.
  10. Horowitz, J., R. Mora-Rodriguez., L. Byerley and E. Coyle. 2000. Pre exercise medium-chain triglyceride ingestion does not alter muscle glycogen use during exercise. *J. Appl. Physiol.* **88**, 219-225.
  11. Lehninger, A., D. Nelson and M. Cox. 1993. Principles of Biochemistry. New York. Worth Publishers. McArdle, Katch, Katch. *Exercise Physiology*. 4th Ed. Meryland. Williams & Wilkins.
  12. Misell, L. M., N..D. Lagomarcino., V. Schuster and M. Kern. 2001. Chronic medium-chain triacylglycerol consumption and endurance performance in trained runners. *Sport Med Phy Fitness.* **41(2)**, 210-5.
  13. Scheiner, G. 2006. Sports and fitness. The great blood glucose balancing act. *Diabetes Self Manag.* **23(5)**, 48-52.
  14. Sucher. 1986. Medium chain triglycerides. : A review of their enteral use in clinical nutrition. *Nutr. Clin. Prac.* **44**, 146-150.
  15. St-Onge, M. P., R. Ross., W. D. Parsons and P. J. Jones. 2003. Medium-chain triglycerides increase energy expenditure and decrease adiposity in overweight men. *Obes. Res.* **11(3)**. 395-402
  16. Traul, K. A., A. Driedger., D. L. Ingle and D. Nakhasi. 2000. Review of the toxicologic properties of medium-chain triglycerides. *Food and Chemical Toxicology.* **38**, 79-98.