

5주간의 고지방식이 섭취시 흰쥐의 에너지 대사 기질 이용과 식이지방에너지 평가에 관한 연구

황혜정 · 김지수 · 서혜정 · 임기원[†]
건국대학교 체육교육과

Effect of 5 Week Long High-Fat Diet on Energy Metabolic Substrate Utilization and Energy Content Evaluation of Dietary Fat

Hyejung Hwang, Jisu Kim, Heajung Suh, and Kiwon Lim[†]

Dept. of Physical Education, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

Abstract

This study investigated the effect of a long-term high-fat diet on energy metabolic substrate utilization in resting rats in order to revalue source fat energy efficiency during a high-fat diet and its effect on energy expenditure and body fat accumulation. Sprague-Dawley male rats at 4 weeks of age were bought from Orient Bio Con. The rats were divided into a control (CON) group and a high-fat diet (HF) group. Rats ate a high-fat diet (w/w 40%, kcal/kcal 64.9%) *ad libitum* for 5 weeks. Food intake and body weight were measured every day at 09:00 throughout the experimental period. Energy expenditure was measured using an animal energy metabolism chamber after 4 weeks. The final body weight did not change between the CON and HF groups, but caloric intake was significantly higher in the HF group than in the CON group ($p < 0.05$). There was no difference between the groups in oxygen uptake, however carbon dioxide production was significantly higher in the HF group. Also, the respiratory exchange ratio was higher in the HF group. Carbohydrate oxidation was lower in the HF group than in the CON group, but fat oxidation in the HF group was greater. These results mean that energy substrate oxidation at rest is affected by diet composition, especially dietary fat content. Abdominal fat weights were significantly higher by 33% in the HF group than in the CON group even though the calorie intake in the HF group was higher by 6%. These results suggested that the dietary fat calorie value might have a higher Atwater value of 9 kcal/g, which mean that dietary fat calorie values could be reconsidered in body weight control scenarios such as which the obese or weight class athletes.

Key words: high-fat diet, fat oxidation, energy expenditure, resting metabolic rate

서 론

최근 현대사회는 도시화된 생활환경과 과도한 열량 섭취 등 생활습관에 기인한 비만이 증가하여 사회적으로 문제가 되고 있다(1). 보건복지부(2)에 의하면 우리나라의 비만 유병률은 전체 성인의 31.5%이며 그중 남자가 36.5%, 여자가 26.4%라고 보고하였다. 지난 10년간 한국남성은 평균체중이 2.6 kg 정도 증가하였고, 여성은 1.6 kg 정도가 증가하였으며 체질량지수 역시 과거에 비해 큰 폭으로 증가하였다(3).

신체 내의 지방합성은 영양, 호르몬, 성장상태에 의해 조절되는 중요한 대사과정이다. 영양상태가 좋을 경우 지방산으로의 생체 내 합성이 빠른 반면에 기아상태에서는 생체 내 지방산 합성이 매우 느리다. Kwon 등(4)의 연구에서 흰쥐에게 일반식과 같은 열량의 50%의 고지방식을 8주간 처치를 한 결과 대조군에 비해 고지방식이 군에서 체중증가와

복부지방량이 유의하게 증가하였다고 보고하였으며, Shimomura 등(5)은 흰쥐에게 같은 열량의 포화지방산과 불포화지방산을 장기간 섭취하게 하였을 때 포화지방산에서 더 많은 체지방 축적이 나타났다는 연구 결과를 보고하였다.

신체의 에너지대사는 크게 3가지로 나누어질 수 있다. 첫째 안정시 에너지소비량(resting metabolic rate: RMR 또는 resting energy expenditure: REE)은 생체가 살아가는 데 최소한으로 필요한 에너지를 말한다. 이는 총 에너지의 60~80%를 차지하며 일반적으로 안정시 에너지소비량이 10~20% 정도 증가하면 체중이 감소한다고 알려져 있다. 둘째는 음식물을 소화·흡수시킬 때 일어나는 에너지 소비반응인 식이유발성 열생산(diet-induced thermogenesis: DIT)으로 이는 총 에너지소비량의 10~15%를 차지한다. 셋째로는 일상생활에서 신체 활동에 의해 일어나는 에너지 소비인 활동대사량(physical activity-related energy expenditure: PEE)

[†]Corresponding author. E-mail: exercise@konkuk.ac.kr
Phone: 82-2-450-3827, Fax: 82-2-452-6027

으로서 총 에너지소비량의 20~30%를 차지한다. 총 에너지 소비량의 구성 중에서 안정 시 에너지 소비가 가장 큰 부분을 차지하고 있다(6,7). 에너지 소비량은 수명에 따라 변화하게 되고 또한 24시간 동안에 다양하게 변화한다(8). Kwak 등(9)은 운동과 금식상태에서 실험쥐의 주령별 대사과정의 변화를 알아보기 위하여 밀폐된 챔버를 이용하여 산소섭취량과 이산화탄소배출량을 통한 에너지대사를 측정하였을 때 절식 후 어린 쥐에서 산소섭취량이 유의하게 감소하였고, 운동을 시켰을 경우 어린 쥐와 나이든 쥐의 산소섭취량의 유의한 증가에 비해 나이든 쥐의 산소섭취량은 감소하여 효과적인 비만치료를 위해서는 소아시기부터 식이조절과 운동이 필요하다는 보고를 하였다.

또한 Waki 등(10)은 DHA의 β -oxidation을 관찰하기 위하여 불포화지방산의 구성을 다르게 한 식이를 처치한 후 질량분석계를 이용해 이산화탄소 분석을 실시하였을 때 n-3 불포화지방산이 부족한 그룹에서 DHA의 β -oxidation이 원활하게 이뤄지지 않는다고 하였으며 이산화탄소를 이용한 분석방법은 지방산의 β -oxidation을 평가하는 유용한 방법이 될 수 있다고 보고하였다. 또한 Kim 등(11)은 고지방식으로 비만이 유발된 흰쥐에게 intralipid와 heparin을 정맥주사하여 유리지방산 농도를 증가시켜 갈색지방과 골격근에서의 palmitate 산화능력을 3시간 동안 측정하였을 때 중성지방과 heparin을 주사한 쥐에서의 산소 소비가 유의하게 증가하였으나 갈색지방 조직에서는 유의한 차이가 없었다고 보고하였다.

이와 같이 고지방식이에 따르는 비만과 관련한 에너지대사 연구들은 단시간 동안 이뤄진 보고들이 대부분이며, 운동에 따른 소비 에너지 기질의 차이에 대하여는 보고된 바가 있으나, 안정 시 섭취 에너지의 구성에 따른 소비 에너지에 관한 연구는 거의 이뤄지지 않은 실정이다. 안정 시 에너지대사의 변화에 따라 신체의 총 에너지소비효율은 큰 변화를 가지므로, 이때에 이용되는 에너지 기질에 대한 정확한 이해는 섭취 불균형성 비만과 같은 질병의 예방과 개선에 효과가 있을 것이다.

따라서 본 연구는 장기간 고지방식이 섭취로 인한 안정 시 에너지대사의 변화와 식이지방의 에너지효율을 재평가하는 것을 목적으로 진행하였다.

재료 및 방법

실험대상 및 사육방법

본 연구는 4주령 된 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐(rats) 20마리(Orient Bio Inc., Seongnam, Korea)를 구입하여 실시하였다. 1주일간의 예비사육이 끝난 후, 대조군(CON)은 AIN-76A Basic Diet 사료를 섭취하게 하였고, 고지방식군(HF)은 AIN-76A Basic Diet를 기본으로 하여 중량 대비 40%, 열량대비 64.9%의 beef tallow(우지)가 함유되도록 조

Table 1. Composition and energy content of the experimental diets

Ingredient	Amount (g/kg)	
	CON	HF
Casein	200	200
DL-Methionine	3	3
Cornstarch	150	150
Sucrose	500	150
Cellulose	50	50
Mineral mix ¹⁾	35	35
Vitamin mix ²⁾	10	10
Choline bitartrate	2	2
Corn oil	50	—
Beef tallow	—	400
kcal/g	3.79	5.54

¹⁾Dyets #200000; AIN-76A mineral mix (use at 35 g/kg diet) (g/kg mix): calcium phosphate dibasic 500, sodium chloride 74, potassium citrate H₂O 220, potassium sulfate 52, magnesium oxide 24, manganous carbonate 3.5, ferric citrate U.S.P. 6, zinc carbonate 1.6, cupric carbonate 0.3, potassium iodate 0.01, sodium selenite 0.01, chromium potassium sulfate 12H₂O 0.55, sucrose, finely powdered 118.03.

²⁾Dyets #300050; AIN-76A vitamin mixture (g/kg mix): thiamine HCl 0.6, riboflavin 0.6, pyridoxine HCl 0.7, niacin 3, calcium pantothenate 1.6, folic acid 0.2, biotin 0.02, vitamin B12 (0.1%) 1, vitamin A palmitate (500,000 IU/g) 0.8, vitamin D3 (400,000 IU/g) 0.25, vitamin E acetate (500 IU/g) 10, menadione sodium bisulfite 0.08, sucrose, finely powdered 981.15.

제한 고지방 사료(Dyets사, Bethlehem, PA, USA)를 5주 동안 공급하여 사육하였다(Table 1). 5주간의 사육기간 중에는 자유식이섭취량을 사용하였고, 식이섭취량과 체중은 매일 오전 일정한 시각에 측정하였으며 전자저울[IB-6100 balance(max: 6100 g, min: 2 g), Innotem, Yangju, Korea]을 이용하여 측정하였다. 실험실의 명기는 08:00~20:00, 암기는 20:00~08:00로 설정되었으며 실내온도는 23±2°C, 상대습도는 50%를 유지하였다.

에너지대사 측정과 조직 채취

본 실험은 소동물대사 측정장치(WSMR-1400, Westron, Chiba, Japan)를 이용하여 측정하였다. 실험쥐의 호흡가스 측정을 위한 챔버와 챔버 내 유량 속도는 선행연구에서 보고된 측정방법을 사용하였다(12). 호흡가스 분석은 원소분석 방법을 이용하는 질량분석계로 측정하였다. 교정가스는 산소 19.00%, 이산화탄소 2.00% 및 질소가스 밸런스를 표준가스로 이용하였다. 산소섭취량과 이산화탄소배출량을 이용하여 지방산화량 및 탄수화물산화량을 Angus 등(13)과 Ishihara 등(14)의 계산식에 대입하여 계산하였다. 각 조직은 실험 종료 후 3시간의 공복 상태를 유지한 후 채취하여 전자저울(TYPE-CBL 220H balance, CAS, Yangju, Korea, max: 220 g, min: 1.0 mg)을 이용해 중량을 측정하였다.

통계처리

본 연구의 통계학적 분석은 SPSS 15.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하였다. 조직 중량은 각 변인

Table 2. Body weight changes for 5 weeks in each group (g)

Measure	CON	HF
Initial	171.9±8.3	172.6±7.5
Final	430.9±30.1	448.9±22.1
Gain	258.0±21.8	276.4±14.7

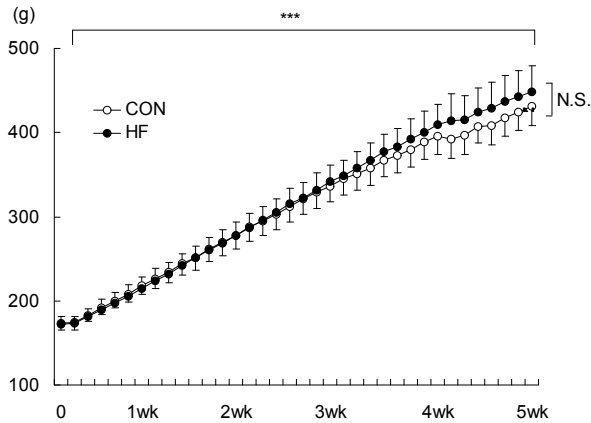


Fig. 1. The changes of body weight in each groups for 5 weeks. ***p<0.001.

별 평균과 표준편차로 t-test를 실시하였고, 실험동물의 체중과 사료섭취량, 호흡가스 자료는 2-way repeated measured ANOVA를 실시하였으며 유의수준은 p<0.05로 하였다.

결 과

체중과 식이섭취

5주간 CON군과 HF군의 섭취에 따른 체중은 실험기간 전반에 걸쳐 유의하게 증가하였고, 각 식이별 체중증가량은 CON군에서 258.0±21.8 g, HF군에서 276.4±14.7 g으로 HF군에서 높게 나타났으나 통계적으로 그룹 간 유의한 차이는 없었다(Table 2, Fig. 1). 5주간의 식이처치 기간 중 섭취한 사료량은 HF군이 16.1±2.0 g/day이었고 CON군에서는 22.1±2.2 g/day로 CON군에서 유의하게 많은 것으로 나타났다. 에너지함유량(3.79 vs. 5.54 kcal/g)에 따른 칼로리 섭취를 보면 CON군은 84.5±8.1 kcal/day, HF군은 89.4±10.4 kcal/

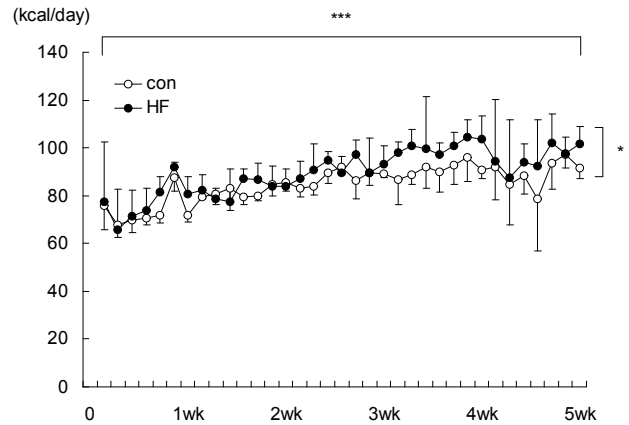


Fig. 2. The changes of food intake in each groups for 5 weeks. *p<0.05, ***p<0.001.

day 섭취하여 두 그룹 간 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 5주간 섭취한 총 사료량은 CON군이 796.2±38.6 g이었고 HF군이 580.8±26.1 g으로 HF군에서 유의하게 적게 섭취하였다. 5주간 총 칼로리 섭취량은 CON군에서 3018.2 kcal이었고 HF군에서 3218.5 kcal로 유의한 차이가 나타났다(Table 3, Fig. 2).

조직중량

5주 동안의 고지방식이 처치 결과, 간과 심장 중량은 두 군 간의 유의한 차이가 없었다. 그러나 부고환지방조직 중량은 CON군에서 6.24±1.67 g이었으나 HF군에서는 8.95±3.03 g으로 유의하게 증가하였다. 또한 신장주위지방조직도 HF에서 13.66±3.08 g으로 CON군 9.91±2.85 g에 비하여 증가하였으나 내장주위지방조직 중량은 양 군 간에 차이가 인정되지 않았다. 그러나 전체 복강 내 지방조직중량은 HF군에서 29.75±7.67 g으로 CON군 22.35±5.98 g보다 유의하게 증가하였다(Table 4).

산소섭취량 및 이산화탄소 배출량의 변화

5주간 사육기간 중 4주에서 5주차에 걸쳐 산소섭취량을 측정하였다. 24시간 동안의 산소섭취량 변화는 유의한 차이가 없었다. 산소섭취량과 동일한 방법으로 측정된 이산화탄

Table 3. Food intake

	CON	HF
	per day for 5 weeks	
Food intake (g/day)	22.1±2.2	16.1±2.0*
Calorie intake (kcal/day)	84.5±8.1	89.4±10.4*
Food intake (g/kg/day)	76.4±3.7	54.5±2.3*
Calorie intake (kcal/kg/day)	289.8±14	302±13*
for 5 weeks		
Food intake (g, %)	796.2±38.6 (100)	580.8±26.1 (72.9)*
Calorie intake (kcal, %)	3018.2±146.2 (100)	3218.5±144.5 (106)*
Food intake (g/kg, %)	2752.2±133.2 (100)	1962.2±84.8 (71)*
Calorie intake (kcal/kg, %)	10433.6±505.1 (100)	10874.99±469.9 (107)*
FER ¹⁾	0.32±0.02	0.48±0.02***

¹⁾Food efficiency ratio. *p<0.05, ***p<0.001.

Table 4. The tissue weights in each group (g)

Tissue	CON	HF
Liver	18.18±2.41	16.80±2.85
Heart	1.23±0.15	1.19±0.11
Abdominal		
Epididymal	6.24±1.67	8.95±3.03*
Perirenal	9.91±2.85	13.66±3.08*
Mesenteric	6.19±1.96	7.14±2.26
Total adipose tissue	22.35±5.98	29.75±7.67*

*p<0.05.

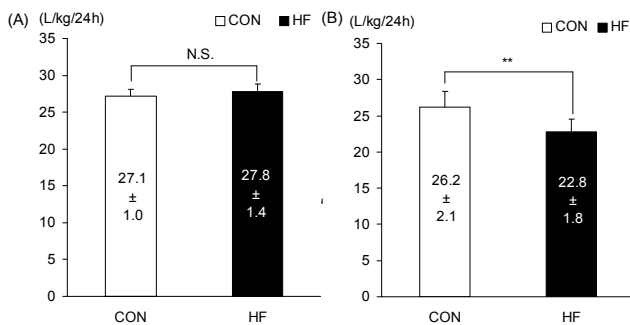


Fig. 3. (A) The oxygen uptake in each groups for 24 hours, (B) The CO₂ production in each groups for 24 hours. N.S.: not significant. **p<0.01.

소 배출량은 시간의 변화에 따라 변화하는 것으로 나타났다. 또한 CON군 및 HF군에서 활동기에 해당하는 암기에서 이산화탄소 배출량이 높은 것이 확인되었다. 24시간 동안의 총 산소섭취량은 CON군에서 27.1±1.0 L/kg/24 hr이었으며 HF군에서는 27.8±1.4 L/kg/24 hr로 두 군 간에 유의한 차이는 없었다(Fig. 3(A)). 그러나 총 이산화탄소 배출량은 CON군이 26.2±2.1 L/kg/24 hr, HF군이 22.8±1.8 L/kg/24 hr로 HF군에 비해 CON군이 유의하게 높게 나타났다(Fig. 3(B)).

호흡교환율과 에너지기질의 변화

산소섭취량과 이산화탄소배출량의 비에 따라 산출된 RER은 시간경과에 따라 변화하는 것이 확인되었고, 특히 CON군에서는 활동기에 해당하는 암기시간에 호흡교환율이 상승한 것으로 나타났다. 또한 식이섭취군에 따른 비교에서는 HF군이 CON군에 비하여 유의하게 낮게 나타났고 평균 RER역시 HF군에서 유의하게 저하하는 것을 확인하였다(Fig. 4). 24시간 동안 탄수화물산화량은 시간 경과에 따라 변화하는 것으로 나타났으며, CON군에 비하여 HF군에서 유의하게 낮게 나타났다(Fig. 5). 또한 24시간 동안의 총 탄수화물산화량도 CON군에 비해 HF군이 유의하게 낮았다. 한편 지방산화량은 HF군이 CON군에 비하여 유의하게 증가하였다. HF군에서는 활동기에 해당하는 암기에서 지방산화량이 증가하였지만 CON군에서는 오히려 감소하는 경향이 확인되었다. 24시간 총 지방산화량은 CON군에 비하여 유의하게 HF군에서 증가되는 것이 확인되었다(Fig. 6).

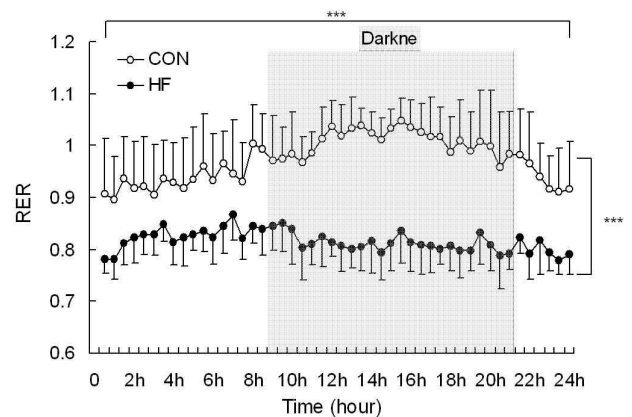


Fig. 4. The changes of respiratory exchange ratio in each groups for 24 hours. ***p<0.001.

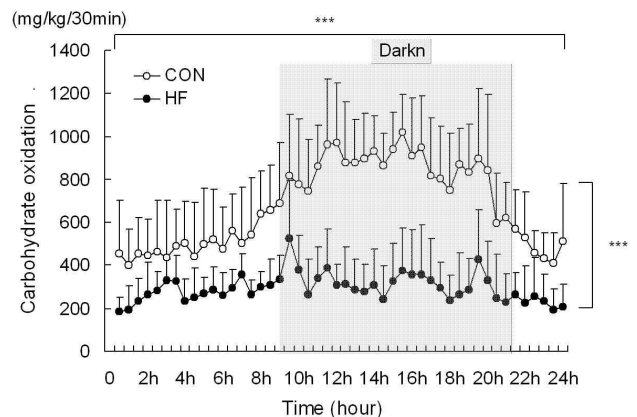


Fig. 5. The changes of carbohydrate oxidation in each groups for 24 hours. ***p<0.001.

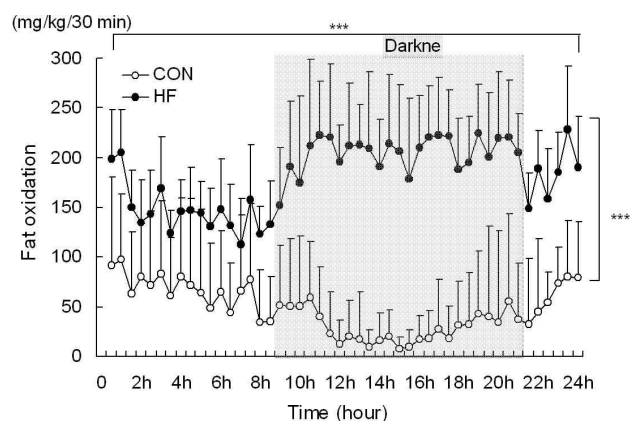


Fig. 6. The changes of fat oxidation in each groups for 24 hours. ***p<0.001.

고찰

장기간의 고지방식은 에너지 과잉을 초래하며, 인체 비만과 유사한 모델로 볼 수 있는 동물의 비만을 유도하는 것으로 보고되고 있다(15). Kim 등(16)의 연구에서는 6주간의 고지방 식이가 천마 섭취와 운동을 병행한 그룹과 일반 사료

를 섭취한 그룹에 비해 체중이 유의하게 증가하였다고 보고하였고, 고지방식이나 고탄수화물식이의 섭취가 체내 지방 세포 수를 증가시킬 뿐 아니라 체중을 증가시켜 비만증을 유발한다는 연구 보고가 있다(17). 저지방식이와 corn oil과 beef tallow를 공급한 고지방식이를 2주간 정상쥐와 비만유도쥐에게 섭취시켰을 때 고지방식이군 모두에서 유의한 체중증가가 나타났으며, 식이 처치가 끝난 후 도체 전체의 에너지를 분석한 결과 체내 축적된 에너지는 고지방식이를 섭취한 두 군에서 유의한 차이가 나타났고, 특히 총 에너지 효율이 beef tallow를 공급한 군에서 가장 높게 나타났다고 보고하고 있다(18). 또한 beef tallow와 safflower oil이 함유된 식이를 동일한 열량으로 17주간 공급했을 경우 두 군의 체중은 각각 406 g과 416 g으로 safflower oil 섭취군이 약간 높은 결과를 보였으나, 복강 내 지방중량은 오히려 safflower oil에서 낮았다고 보고되어 체중과 복강 내 지방중량은 일치하지 않은 경우도 있어 본 연구결과와 유사하였다(5). 식이 에너지의 함량을 유지하여 섭취하더라도 그 구성이 다르면 체중의 변화가 나타날 수 있다. 그러나 체중은 체액에 따른 차이 등의 여러 가지 요인을 모두 포함하므로 신체조성에 따르는 변화를 모두 설명하는 것은 아니다(8). 본 연구에서는 장기간 고지방식이를 공급한 그룹이 일반사료를 섭취한 그룹보다 체중이 더 많이 나가는 경향이 있었으나 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 이것은 Kim 등(19)과 Lee 등(20)의 연구 결과들과 일치하였다.

인체의 에너지 균형(에너지저장량=에너지 섭취량-에너지 소비량)은 에너지 보존의 법칙을 따른다(8). Atwater의 열량환산계수는 영양소의 체내 소화흡수율을 고려한 값으로 탄수화물이 4 kcal/g, 지방이 9 kcal/g, 단백질이 4 kcal/g으로 알려져 있다. Donato 등(21)은 성장기 흰쥐에게 필수영양소의 에너지 효율을 측정하기 위해 탄수화물과 단백질 그리고 지방의 식이처치와 절식의 방법을 3주간 처치한 후 체내의 전체의 에너지 축적량을 열량환산계수로 나타낸 결과, 탄수화물의 열량환산계수인 3.94 kcal/g을 기준으로 하였을 때 지방의 평균에너지는 11.1 kcal/g을 나타낸다고 보고하였다. 본 실험에서 조직의 중량을 분석하였을 때 HF군의 복강 내 지방이 CON군에 비해 약 33% 이상 유의하게 높게 나타났다. 이것은 섭취에너지와 앞서 말한 소비에너지의 비로 볼 때 고지방식이군에서 잉여에너지가 발생하여 체지방으로 축적되어진 결과로 보인다. 본 연구에서 HF군은 CON군에 비해 약 6%의 열량을 더 섭취하였고 호흡 측정을 통하여 24시간의 소비에너지(22)를 측정된 결과 CON군에서 136.2 ± 6 kcal/kg/day, HF군에서 128.9 ± 7.9 kcal/kg/day로 HF군이 약 5% 더 낮은 경향이 있었지만 이는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 이 결과를 계산하여 볼 때 HF군은 CON군보다 5주 동안의 섭취와 소비의 대사과정에서 약 32%의 잉여 열량이 더 축적되어 있는 것으로 나타났다. 체지방으로 저장된 에너지를 열량으로 환산하면 체내에서 지방은 약 11.9

kcal/g의 열량을 가지는 것으로 추측되어진다. 이러한 결과는 체내에서의 소화흡수에 따른 지방의 연료적 효율성이 기존에 알려진 9 kcal보다 더 높은 것으로 사료되어지며 선행 연구와 유사한 결과를 나타내었다.

일반적으로 RER은 탄수화물 대사와 지방 대사를 측정하는데 높은 상관관계를 가지는 간접측정법으로 이산화탄소 생성물을 산소소비율로 나눈 값이다. 호흡상이 감소하는 것은 주로 지방을 에너지원으로 사용하며 탄수화물의 이용이 줄어들었다는 것을 의미한다. 본 연구결과에서는 HF군이 CON군 보다 유의하게 낮은 RER 값을 나타내는데, 장기간 고지방식이를 섭취할 경우 안정 시에 주로 지방을 에너지기질로 이용하는 것으로 나타났다. Bergouignan 등(23)은 BMI를 기준으로 정상인과 비만인에게 저지방식이와 고지방식이를 이틀간 처치한 후 RER값을 측정된 결과 고지방식이를 섭취한 정상인과 비만인 모두에서 RER값이 감소하는 것을 확인하였다. 측정된 산소소비량은 두 그룹 간의 차이가 없는 반면 RER은 유의한 차이가 있는 것은 배출된 이산화탄소량에 따른 차이로서 탄수화물과 지방의 산화과정에서 필요한 산소와 이산화탄소의 차이 때문으로 보인다. CON군은 HF군에 비해 24시간 동안의 탄수화물산화량이 높고 지방산화량이 낮았으며 HF군은 지방산화량이 유의하게 높고 탄수화물산화량은 낮았다. 특히 흰쥐의 활동시기와 비 활동시기의 에너지 대사 이용률을 분석하기 위해 암기와 명기의 대사량을 구분하여 분석해 본 결과, HF군은 활동기에 유의하게 탄수화물산화량과 지방산화량이 높게 나타났다. 열량대비 50%의 고지방식이를 섭취할 경우 pyruvate dehydrogenase kinase 4(PDK4)와 지방산 수송체인 CD/36의 발현이 유의하게 증가한다고 보고하고 있다. 이러한 골격근에서의 지방산화의 증가는 신체 전체의 지방 대사를 증가시키는 것으로 보고되고 있다(23). 안정 시와 활동 시의 신체는 섭취하는 에너지에 의존하여 대사활동이 이뤄지는 것으로 보이며, 식사로 인한 에너지 소비는 식이구성요소에 따라 차이가 있는 것으로 보인다. 다시 말해 소비되는 에너지의 기질은 식이조성의 차이에 따라 뚜렷하게 나타나는 것으로 확인되었다.

요 약

본 연구는 실험쥐 20마리를 사용하여 5주간의 고지방식이를 섭취시킨 후 CON군과 HF군으로 구분하여 식이조성에 따른 체중과 체구성 그리고 24시간 동안의 에너지 대사를 분석하였다. 그 결과 고지방식으로 인한 체중의 유의한 차이는 없었다. 5주간의 식이섭취량은 두 군간 유의한 차이가 있었고, 섭취열량은 약 6% 정도의 유의한 차이가 있었다. 산소 섭취량(에너지소비량)은 두 군 간의 유의한 차이가 없었으나, 이산화탄소배출량은 유의한 차이를 보였다. 고지방식이군은 24시간 동안 유의하게 높은 지방산화량을 보였고 일반식이군은 탄수화물산화량이 유의하게 더 높은 것으로 나타

났다. 특히 활동기에 두 군의 에너지 이용 기질에 많은 변화가 있는 것으로 확인되었다. 두 군간 소비에너지는 유의한 차이가 없었으나 섭취에너지에 비해 HF군의 복강 내 지방이 약 33% 이상 유의하게 높게 나타났다. 이상의 연구결과를 종합하여 볼 때 식이구성에 의하여 에너지이용기질이 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 5주간 섭취한 열량과 소비된 에너지 비를 비교하였을 때 고지방식이군에서 복강 내 지방이 유의하게 증가한 것은 체내에서의 지방의 식이효율이 그동안 알려진 Atwater의 값(9 kcal/g)보다 더 높은 것으로 사료되어진다. 이는 탄수화물과 고지방식이섭취에서 체내에너지 저장량을 분석하였을 때 탄수화물의 열량은 4 kcal/g인데 비해 지방은 약 11.1 kcal/g으로 보고한 기존의 연구보고(21)를 지지하는 결과로 나타났다. 이러한 결과는 일반인 및 비만환자와 대사증후군 환자의 체중조절과 개선에 있어서 식이구성과 일일영양권장량의 재검토의 필요성을 시사하고 있으며 또한 전문운동선수들의 체급별 체중조절에 필요한 식단의 재구성 등 스포츠현장의 기초자료가 될 것으로 판단되어진다. 그러나 본 연구는 대사과정에 관여하는 여러 호르몬과 단백질 등의 분석이 이뤄지지 않았고, 에너지대사량과 조직의 중량만을 검토한 결과이므로 추후 체내에서의 지방산화와 관련된 호르몬 및 단백질 등의 측정과 전체 피하조직 및 근육 등에 저장된 지방의 분석을 포함한 추가연구가 필요한 것으로 보인다.

문 헌

- Hwang HJ, Suh HJ, Lim KW. 2009. Effect of red-pepper ingestion on excess post-exercise oxygen consumption in young women. *Korean J Exerc Nutr* 14: 87-93.
- Ministry of Health and Welfare. 2011. 2010 Korea National Health and Nutrition Examination Survey. p 52-53.
- Bae NK, Kwon IS, Cho YC. 2009. Ten year change of body mass index in Korean: 1997~2007. *Korean J Obes* 18: 24-30.
- Kwon TD, Son TH, Kim KH, Ryu SP, Huh MD, Yeo YG, Jeong NH. 2006. The effect of exercise on lipid metabolism and AMPK expression of skeletal muscle in rats fed high-fat diet. *Korean J Exerc Nutr* 10: 323-329.
- Shimomura Y, Tamura T, Suzuki M. 1990. Less body fat accumulation in rats fed a safflower oil diet than in rats fed a beef tallow diet. *J Nutr* 120: 1291-1296
- Lee GH. 2003. Indirect calorimetry in pulmonary diseases. *Tuberc Respir Dis* 55: 15-20.
- Gasic S, Schneider B, Waldhäusl W. 1997. Indirect calorimetry: variability of consecutive baseline determinations of carbohydrate and fat utilization from gas exchange measurements. *Horm Metab Res* 29: 12-15.
- Hall KD, Heymsfield SB, Kemnitz JW, Klein S, Schoeller DA, Speakman JR. 2012. Energy balance and its components: implications for body weight regulation. *Am J Clin Nutr* 95: 989-994.
- Kwak AJ, Choi KH, Park YH, Kim YW. 2003. Thermogenic response to fasting and exercise in different aged rats. *Korean J Pediatr* 47: 1100-1105.
- Waki H, Watanabe K, Ishii H, Tanaka Y, Shumiy S, Ando S. 2004. Whole-body beta-oxidation of docosahexaenoic acid is decreased under n-3 polyunsaturated fatty acid insufficiency as assessed by a ^{13}C breath test using [^{13}C]fatty acids. *J Oleo Sci* 53: 135-142.
- Kim MS, Kim JY, Park SY, Kim YW. 2005. Mechanism of elevated oxygen consumption by intralipid and heparin injection: increased skeletal muscle fat oxidation and UCP3 expression. *Korean J Obes* 14: 9-15.
- Lim KW, Kim JS, Jeon YR, Hwang HJ, Suh HJ. 2011. Measurement of resting metabolic rate using metabolic chamber in resting rats. *J Exer Nutr Biochem* 15: 35-40.
- Angus DJ, Hargreaves M, Dancy J, Febbraio MA. 2000. Effect of carbohydrate or carbohydrate plus medium-chain triglyceride ingestion on cycling time trial performance. *J Appl Physiol* 88: 113-119.
- Ishihara K, Oyaizu S, Onuki K, Lim K, Fushiki T. 2000. Chro (-)-hydroxycitrate administration spares carbohydrate utilization and promotes lipid oxidation during exercise in mice. *J Nutr* 130: 2990-2995.
- Gaíva MH, Couto RC, Oyama LM, Couto GE, Silveria VL, Roberio EB, Nascimento CM. 2001. Polyunsaturated fatty acid-rich diets: effect on adipose tissue metabolism in rats. *Br J Nutr* 86: 371-377.
- Kim EJ, Kim YE, Kim GY. 2007. The anti-obesity effects of treadmill exercise and *Gastrodia elata* on the obesity rats induced high-fat diet. *Korean J Exerc Nutr* 11: 61-68.
- Bertrand HA, Anderson WR, Masoro EJ, Yu BP. 1987. Action of food restriction on age-related changes in adipocyte lipolysis. *J Gerontol* 42: 666-673.
- Mercer SW, Trayhurn P. 1987. Effect of high fat diets on energy balance and thermogenesis in brown adipose tissue of lean and genetically obese *ob/ob* mice. *J Nutr* 117: 2147-2153.
- Kim CH, Chung YE, Lee SJ, Park JY, Hong SK, Kim HK, Suh KI, Lee KU. 2000. Effects of high fat diet on lipolysis in skeletal muscle and adipose tissue in rats. *J Korean Diabetes Assoc* 24: 641-651.
- Lee JK, Kim JK, Moon HW, Shin YO, Lee JS. 2007. The effects of dietary interventions on mRNA expression of peroxisome proliferator activated receptor isoforms (PPAR isoforms) in rat skeletal muscle. *Korean J Nutr* 40: 221-228.
- Donato K, Hegsted DM. 1985. Efficiency of utilization of various sources of energy for growth. *Proc Natl Acad Sci U S A* 82: 4866-4870.
- Lusk G. 1924. Animal calorimetry: analysis of the oxidation of mixtures of carbohydrate and fat. *J Biol Chem* 59: 41-42.
- Bergouignan A, Gozansky WS, Barry DW, Leitner W, MacLean PS, Hill JO, Draznin B, Melanson EL. 2012. Increasing dietary fat elicits similar changes in fat oxidation and markers of muscle oxidative capacity in lean and obese humans. *PLoS One* 7: e30164.

(2012년 4월 6일 접수; 2012년 6월 29일 채택)