

중쇄중성지방(MCT)의 식이성 발열효과, 영양소 산화율 및 포만도

손희령 · 이명주 · 김은경[†]

강릉원주대학교 식품영양학과

Thermic Effect of Food, Macronutrient Oxidation Rate and Satiety of Medium-chain Triglyceride

Hee-Ryoung Son, Myung-Ju Lee, Eun-Kyung Kim[†]

Department of Food and Nutrition, Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Korea

[†]Corresponding author

Eun-Kyung Kim
Department of Food and Nutrition, Gangneung-Wonju National University, 7 Jukheon road, Gangneung, Gangwon-do, 25457, Korea

Tel: (033) 640-2336
Fax: (033) 640-2330
E-mail: ekkim@gwnu.ac.kr

Acknowledgments

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (2010-0004472).

Received: November 11, 2015
Revised: December 8, 2015
Accepted: December 18, 2015

ABSTRACT

Objectives: The objective of this study was to evaluate the thermic effects, the macronutrient oxidation rates and the satiety of medium-chain triglycerides (MCT).

Methods: The thermic effects of two meals containing MCT or long-chain triglycerides (LCT) were compared in ten healthy men (mean age 24.4 ± 2.9 years). Energy content of the meal was 30% of resting metabolic rate of each subject. Metabolic rate and macronutrient oxidation rate were measured before the meals and for 6 hours after the meals by indirect calorimetry. Satiety was estimated by using visual analogue scales (VAS) at 8 times (before the meal and for 6 hours after meal).

Results: Total thermic effect of MCT meal (42.8 kcal, 8.0% of energy intake) was significantly higher than that (26.8 kcal, 5.1% of energy intake) of the LCT meal. Mean postprandial oxygen consumption was also significantly different between the two types of meals (MCT meal: 0.29 ± 0.35 L/min, LCT meal: 0.28 ± 0.27 L/min). There were no significant differences in total postprandial carbohydrate and fat oxidation rates between the two meals. However, from 30 to 120 minutes after consumption of meals, the fat oxidation rate of MCT meal was significantly higher than that of the LCT meal. Comparison of satiety values (hunger, fullness and appetite) between the two meals showed that MCT meal maintained satiety for a longer time than the LCT meal.

Conclusions: This study showed the possibility that long-term substitution of MCT for LCT would produce weight loss if energy intake remained constant.

Korean J Community Nutr 20(6): 468~478, 2015

KEY WORDS medium-chain triglyceride, thermic effect of food, macronutrient oxidation rate, satiety

서 론

비만을 예방 및 치료하기 위한 방법으로 에너지 섭취의 제한을 시도하는 경우가 많다. 그러나 극심한 에너지 제한 또는 장기간의 에너지 섭취 제한은 일시적인 체중감량에는 효과가 있지만 영양소의 결핍을 초래하거나 심한 스트레스 등의 부작용과 함께 요요현상을 일으킬 수도 있다. 따라서 비만의 예방 및 치료는 에너지 섭취량의 감소와 함께 에너지 소비량을 증가시키는 것이 필요하다.

1일 총 에너지 소비량은 기초대사량(basal energy expenditure, BEE), 활동대사량(physical activity energy expenditure, PAEE) 및 식이성 발열효과(thermic effect of food, TEF)로 구성된다. 이 때 기초대사량이 약 60~70%로 가장 많은 비율을 차지하고, 활동대사량이 20~30%, 그리고 나머지 약 10% 가량이 식이성 발열효과이다. 식이성 발열효과는 섭취한 음식물을 소화·흡수·운반·대사 및 저장하는 데 필요한 에너지로 1일 총 에너지 소비량 증가 적은 양을 차지하지만 식사조성을 변형함으로써 이를 증가시킬 경우, 이러한 효과가 장기간 지속되면 체중감량에도움이 되는 것으로 보고되었다[1-5].

탄수화물과 지방으로 구성된 식사를 섭취했을 때에 비해 단백질이 포함된 식사를 섭취한 후 산소 소비량이 증가됨이 밝혀진 후[6,7], 식사의 영양소 조성의 변화가 식이성 발열효과에 미치는 영향에 관한 연구 결과들이 보고되었다[1-5,8-10]. 이러한 연구[8-10]에서 제시한 영양소별 식이성 발열효과를 살펴보면, 단백질이 20~30%로 가장 높았고, 탄수화물이 5~10%로 그 뒤를 따르며 지방이 0~5%로 가장 낮게 나타났다.

Kim 등 [11]에 의해 성별에 따른 영양소 산화율의 차이로 인하여 식이성 발열효과에 영향을 미치게 됨이 밝혀졌으며, 탄수화물의 일종인 셀룰로오스 및 펙틴이 식이성 발열효과를 유의적으로 낮추는 것으로 보고되었다[12]. 또한 단백질의 급원을 달리하였을 경우의 식이성 발열효과를 비교한 Fahmy 등 [13]에 따르면 한 끼 식사의 열량, 탄수화물 및 지방은 동일하게 하되 단백질의 급원만을 닭가슴살과 두부로 달리하여 비교한 결과 닭가슴살 포함 식사의 식이성 발열효과가 16.8 kcal/4 h(8.68% of energy intake)로 두부 포함 식사(13.7 kcal/4 h, 6.94% of energy intake)보다 높았으나 유의한 차이를 보이지는 않았다고 보고하였다. 지방의 포화도(포화지방과 불포화지방의 함량)에 따른 식이성 발열효과를 살펴보기 위하여 버터 함유식사와 참기름 함유식사를 비교한 Lee 등 [14]에 따르면 버터 함유식사와 참

기름 함유 식사 섭취 후 5시간 동안의 식이성 발열효과는 각각 30.8 kcal/5 h(6.5% of energy intake)와 34.4 kcal/5 h(7.3% of energy intake)로 두 식사 간에 유의한 차이를 보이지 않았다고 보고하였다.

한편 음식을 통해 섭취하는 지방은 주로 탄소 수 14~20개의 장쇄중성지방(long chain triglycerides, LCT)으로 지방 특유의 소화과정인 유화과정과 킬로미크론(chylomicron) 형성과정을 거쳐 림프관으로 흡수된다[15]. 반면에 탄소수가 8~12개로 지방산의 길이가 짧은 중쇄중성지방(medium chain triglycerides, MCT)은 일반적인 지방소화의 특징인 킬로미크론의 형성 없이 간문맥을 통해 간으로 흡수되고[15] 담즙이나 리파아제 없이도 소화가 가능하다. 이와 같은 특성으로 인해 식이성 발열효과에 있어서 장쇄중성지방과 차이가 있을 것으로 기대된다.

한편 체중조절을 위한 식사의 조건으로 제공되는 열량의 제한 이외에 식사 후의 공복감, 만복감 및 식욕에 미치는 영향이 중요한 변수로 고려되어야 한다[16-18]. 이와 관련하여 실제로 혈당농도의 감소가 공복감 및 식욕의 증가와 관련이 있음이 보고되었다[19-21]. 또한 지방 산화율에 의해 탄수화물 산화율이 조절되어지는 것으로 나타나 당질의 활용은 지방산 활용에 의존하는 것으로 알려졌다[22]. 또한 일부 연구[23,24]에서는 지방산 길이가 지방 산화율에 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 따라서 지방산 길이의 차이가 영양소 산화율 및 포만도에 영향을 줄 것으로 사료되며 특별히 중쇄중성지방이 영양소 산화율에 영향을 미침으로 식이성 발열효과를 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다.

이에 본 연구에서는 첫째, 중쇄중성지방 함유 식사의 식이성 발열효과를 장쇄중성지방(옥수수 기름) 함유 식사와 비교하고 둘째, 이들 두 식사의 영양소 산화율 및 식사 후 포만도(공복감, 만복감 및 식욕)를 비교하여 지방 종류의 변경이 체중감소에 긍정적인 효과를 가져오는지 살펴보기 위함이다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 연구대상자 모집 공고를 통해 지원한 자 중 본 연구목적 및 내용에 대해 충분히 숙지한 후 자발적으로 연구 참여에 동의한 만 19세 이상의 건강한 성인 남자 10명을 대상으로 진행하였다(평균 연령 24.7세). 본 연구 진행 시 심혈관계 질환, 당뇨, 고혈압, 내분비계 질환 등 에너지 대사에 영향을 미치는 질환이 있거나 대사관련 약물복용자 및 알콜 섭취자는 제외하였다. 한편 본 연구에서 중쇄중성지방이 식이성 발열효과에 영향을 주어 체중감량에 긍정적인 효과를

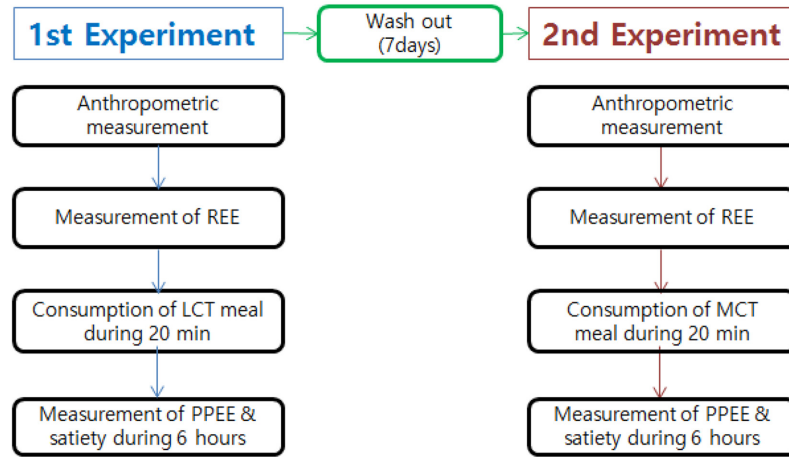


Fig. 1. Study design

가져오는지를 살펴보는 것이 목적이기에 연구대상자 모집에 있어서 체질량지수 (body mass index, BMI)의 제한을 두지는 않았다. 본 연구는 강릉원주대학교의 생명윤리심의위원회 (institutional review board of Gangneung-wonju national university, IRB)의 승인 (GWNUIRB-2012-12)을 받아 진행하였고 대상자들은 연구 참여 기간 동안 가급적 평상시와 유사한 생활습관 및 환경을 유지하도록 하였다.

2. 연구방법

본 연구 설계를 요약하면 Fig. 1과 같다. 이와 같은 방식으로 실험식사에 포함되는 지방의 종류를 달리하여 (MCT, LCT) 두 차례의 실험을 진행하였고, 두 번의 실험 사이에 최소한 일주일의 공백 기간 (wash out)을 두고 실험 날짜를 설정하였다. 실험 진행 세부사항은 다음과 같다.

1) 신체 계측

연구대상자가 실험실에 도착하면 자동신장계 (BSM 330, Biospace, Korea)를 사용하여 가벼운 옷차림으로 신발을 벗고 바로 선 자세로 신장을 측정하였고, 이들의 체중과 체지방량은 생체전기저항분석법 (bioelectrical impedance analysis)을 이용한 체성분 분석기 (Inbody 720, Biospace, Korea)로 측정하였다.

2) 휴식대사량 측정

연구대상자의 신체계측을 실시한 후 다음과 같은 지침에 따라 휴식대사량을 측정하였다. (1) 측정 전 12시간 동안 공복상태 유지, (2) 측정 전 하루 동안 격렬한 운동 자제, (3) 측정 당일 실험실에 도착하기까지 움직임을 최소화 (자동차,

엘리베이터 이용)하도록 하였다.

연구대상자들은 공복상태로 아침 7시 30분에 실험실에 도착하여 신체계측을 마치고 30분간 휴식을 취한 후 호흡가스 분석기 (Trueone2400, Parvo Medics, USA)를 이용하여 간접열량측정법 (indirect calorimetry)으로 휴식대사량을 측정하였다. 휴식대사량 측정 시 대상자를 침대에 누인 상태에서 캐노피 (canopy)로 얼굴 부위를 덮고 5분 정도 편안하게 호흡하는 동안 호흡가스를 교정 (calibration)하였다. 대상자의 호흡이 안정된 후 약 15분간 10초 간격으로 측정된 산소 소비량과 이산화탄소 생성량을 Weir 공식 [25]에 적용하여 휴식대사량 값을 산출하였다.

3) 실험식사

본 연구는 한 끼의 식사 섭취 후 총 6시간 동안의 식이성 발열효과의 변화를 살펴보는 실험으로 이때 제공되는 식사는 간접열량측정법으로 측정된 각 개인의 휴식대사량 값의 30%에 해당하는 열량 (mean 538.8±124.6 kcal)을 제공하도록 하였다. 또한 MCT를 함유한 실험식사 1회 제공의 효과를 평가함에 있어서 전체 에너지 중 지방으로부터 얻는 열량이 40%이고 단백질과 탄수화물로부터 제공되는 에너지는 각각 10%와 50%인 혼합식으로 구성되었다.

본 연구에 사용된 두 종류의 실험 식사 (high-fat test meal)는 지방의 종류를 제외한 모든 영양성분이 동일하게 함유된 같은 열량 (isoenergetic)의 식사이며, 두 가지 실험 식사의 지방 함량은 동일하나 지방의 종류를 달리하여 중쇄 중성지방으로는 MCT oil을 사용하였고, 장쇄중성지방으로는 옥수수 기름 (corn oil)을 사용하였다. MCT oil과 corn oil의 지방산 조성은 Table 1과 같다.

실험식사로 볶음밥과 토스트를 제공하였는데 기본재료 (흰

Table 1. Fatty acid profile of the test oils
(Unit: gram per 100 g oil)

Chain length	Fatty acid	MCT oil	Corn oil ¹⁾
Short	C4:0 ²⁾	ND	ND ³⁾
	C6:0	1.7	ND
Medium	C8:0	58.0	ND
	C10:0	38.0	ND
	C12:0	1.7	ND
Long	C14:0	ND	ND
	C16:0	ND	10.6
	C18:0	ND	1.85
	C18:1	ND	27.3
	C18:2	ND	53.5
	C18:3	ND	1.1

1) From the USDA National Nutrient Database for standard Reference, Release 25(2012) U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research service. 2012.
Homepage, <http://www.ars.usda.gov/nutrientdata>
2) Number of carbon atoms : number of double bonds
3) ND, not detected.

쌀, 닭가슴살, 양파, 당근, 식빵)는 동일하되 재료를 볶을 때 사용하는 기름을 MCT oil(Korea medical food사 제품)과 옥수수 기름(corn oil, Korea O사 제품)으로 달리 사용하였다. 연구원의 엄격한 관리감독 하에 실험식사가 조리·준비 되었으며 모든 연구대상자는 일정한 장소에서 일정한 시간(AM 8:30)에 제공된 실험 식사를 20분 내에 200 ml의 물과 함께 모두 섭취하도록 하였다.

4) 식 후 에너지소비량 (Postprandial energy expenditure, PPEE) 측정

실험 식사를 섭취하기 시작한 시점부터 20분이 경과된 때를 식사완료 시점으로 하여, 식사 완료 직후부터 호흡가스분석기(Trueone2400, Parvo Medics, USA)를 이용하여 식후 에너지소비량을 측정하였다. 식후 에너지소비량의 총량을 정확히 측정하려면 최소 5시간 이상 측정해야 한다는 권고 [2]에 따라 본 연구에서는 식후 6시간 동안 측정하였다. 대상자를 침대에 편안히 눕게 한 후 5분간 호흡가스를 교정한 후 대상자의 호흡이 안정된 상태에서 15분간 에너지 소비량을 측정하고 10분간 휴식을 취하는 과정을 6시간 동안 30분 단위로 총 12회 반복하였다. 또한 장시간의 측정이 이루어지는 동안 연구대상자가 지루해하거나 잠들지 않도록 누운 상태에서 실험실 천장에 설치된 스크린을 통하여 신체적 또는 심리적으로 자극을 주지 않는 다큐멘터리 영화를 시청하도록 하였다.

5) 식이성 발열효과(Thermic effect of food, TEF) 추정

식이성 발열효과는 식후 측정된 에너지소비량 값에서 휴식대사량 값을 뺀 차이 값으로 계산하였다. 실험시간 동안 식이성 발열효과의 총량을 구하기 위하여, 식후 6시간(360분) 동안 30분 간격으로 측정한 식이성 발열효과의 변화를 그래프로 그린 후 Trapezoid 원리를 이용하여 총 면적(area under the curve, ΔAUC)을 계산하였다 [26].

또한 식이성 발열효과는 식사 크기(meal size) 즉, 에너지 함량의 영향을 받으므로 [2,27] 에너지 함량을 다르게 제공한 대상자들의 식이성 발열효과를 보정하기 위하여 섭취 열량에 대한 식이성 발열효과 총량을 다음과 같이 백분율(% (TEF/Intake))로 계산하였다.

$$\bullet \% (TEF/Intake) = [TEF (kcal/6 h) / \text{energy intake from test meal (kcal)}] \times 100$$

6) 영양소 산화율

식이성 발열효과는 식품의 소화, 흡수, 대사 및 저장에 필요한 에너지 소모량으로 섭취한 식품의 영양소 조성에 따라 다른 영양소 산화율을 보이므로 가스호흡분석기에서 측정된 산소 소모량(VO₂)과 이산화탄소 배출량(VCO₂)을 다음의 공식에 적용하여 두 실험식사의 탄수화물 산화율 및 지방 산화율을 각각 계산하였다 [28].

$$\bullet \text{Carbohydrate oxidation rate (g/min)} \\ = 4.585 \times VCO_2 (L/min) - 3.2255 \times VO_2 (L/min)$$

$$\bullet \text{Fat oxidation rate (g/min)} \\ = 1.6946 \times VO_2 (L/min) - 1.7012 \times VCO_2 (L/min)$$

또한, 실험식사 후 탄수화물 산화율과 지방 산화율의 변화를 비교하기 위하여 식후 6시간 동안 30분 간격으로 각 영양소 산화율의 변화를 구하여 Trapezoid 방법으로 ΔAUC을 산출하였다 [26].

7) 포만도 측정

식이성 발열효과를 측정하는 6시간 동안의 연구대상자의 포만도 변화를 살펴보기 위하여 시각사상척도(visual analog scale, VAS)를 이용하여 공복감(hunger), 만복감(fullness) 및 식욕(appetite) 등 세 가지 항목을 조사하였다. 연구대상자로 하여금 실험식사 전(공복 상태)과 직후 그리고 식후 매 60분 간격으로 총 8회에 걸쳐 시각사상척도에 해당 사항을 표시하도록 하였다.

시각사상척도는 각 항목(hunger, fullness, appetite)별로 100 mm의 수평 직선, 총 3개로 구성되었으며, 각 직선

의 왼쪽 끝(0 mm 지점)에는 각각 ‘전혀 배고프지 않다’, ‘전혀 배부르지 않다’, ‘전혀 먹고 싶지 않다’로 표기하였고, 오른쪽 끝(100 mm 지점)에는 각각 ‘매우 배고프다’, ‘매우 배부르다’, ‘매우 먹고 싶다’로 표기하였다. 연구 대상자는 각 기록 시점에 자신의 주관적인 느낌을 0~100 mm 직선 위의 해당 지점에 표시하였다.

8) 통계 분석

본 연구에서 얻어진 모든 자료는 IBM SPSS statistics 23 프로그램을 이용하여 평균과 표준편차(Mean±SD)를 구하였고, 유의수준 5% (p < 0.05)에서 유의성을 검정하였다. 본 연구에서 수집된 자료의 정규분포를 Kolmogorov-Smirnov test를 사용하여 검정한 결과, 유의수준 0.05에서 정규분포를 이루는 것으로 나타나 모수 검정을 시행하였다. 모든 결과 값의 평균에 대한 두 가지 실험식사 간의 차이의 비교는 paired t-test로 유의성을 검증하였고, 식후 시간 경과에 따른 식이성 발열효과와 산소소모량, 영양소 산화율 및 포만도는 식사 전의 결과 값을 기준으로 paired t-test를 이용하여 유의성을 확인하였다(p < 0.05). 6시간 동안의 식이성 발열효과(kcal/6 h)와 영양소 산화율(g/6 h)의 총량을 구하기 위하여 Trapezoid method [26]를 이용하여 ΔAUC를 산출하였는데 이 때 실험 식사 전의 ΔAUC를 감하여 식이성 발열효과 총 열량과 영양소 산화율의 총량을 보정하였다. 한편 이상의 본 연구결과를 비만도(정상체중, 과체중 및 비만)에 따라 비교한 결과 군 간에 유의한 차이를 보이지 않았다.

결 과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

연구대상자의 일반적 특성 및 신체계측 결과는 Table 2와 같다. 대상자의 평균 연령은 24.4±2.9세이었으며, 신장과 체중은 각각 177.5±5.4 cm와 76.3±19.6 kg이었으며, 체질량지수는 24.8±4.3 kg/m²였다. 세계보건기구의 아시아-태평양 지역의 비만 진단기준 [29]에 따라 본 연구 대상자의 비만도를 살펴보면, 저체중(BMI < 18.5)은 없었으며, 정상체중(18.5 ≤ BMI < 23.0)은 3명, 과체중(23.0 ≤ BMI < 25.0)은 5명, 비만(25.0 ≤ BMI)은 2명이었다.

2. 식이성 발열효과

지방산 길이가 다른 두 실험 식사의 식이성 발열효과를 Table 3에 나타내었다. 두 번의 실험식사 시의 휴식대사량 간에는 유의한 차이가 없었으나 MCT 식이와 LCT 식이 섭취 후 6시간 동안의 TEF의 총량은 각각 42.83±13.73

Table 2. Baseline characteristics of the subjects

	Mean	SD
Number	10	
Age (years)	24.4	2.9
Height (cm)	177.5	5.4
Body weight (kg)	76.3	19.6
Body mass index (kg/m ²) ¹⁾	24.8	4.3
Body surface area (m ²)	1.93	0.23
Fat mass (kg)	15.2	9.0
Body fat (%)	18.6	5.5
Fat-free mass (kg) ²⁾	61.1	11.4

Body fat was measured by Inbody 720.

1) Weight (kg) / [Height (m)]²

2) Weight (kg) – Fat mass (kg)

Table 3. Comparison of resting energy expenditure and thermic effect of food between MCT meal and LCT meal

	MCT meal ¹⁾	LCT meal ²⁾	p-value
REE per day (kcal/day)	1,819.5 ± 239.4	1,831.1 ± 221.5	0.716
REE per hour (kcal/hour)	75.81 ± 9.97	76.29 ± 9.23	0.716
Thermic effect of food (kcal/6 hours)	42.83 ± 13.73*	26.83 ± 11.45	0.024
% (TEF/Intake) ³⁾	8.02 ± 0.66*	5.11 ± 1.00	0.018
% (TEF/REE) ⁴⁾	9.49 ± 2.56*	6.10 ± 3.47	0.032

1) The meal containing MCT oil

2) The meal containing corn oil

3) [Thermic effect of food (kcal/6 h) ÷ energy intake from test meal (kcal)] × 100

4) [Thermic effect of food (kcal/6 h) ÷ resting energy expenditure (kcal/6 h)] × 100

*: p < 0.05 Significantly different between MCT meal and LCT meal by paired t-test.

kcal/6 h와 26.83±11.45 kcal/6 h로 MCT 식이의 식이성 발열효과가 유의하게 높았다(p < 0.05). 또한 섭취 열량 대비 식이성 발열효과 총량의 비율 및 휴식대사량(kcal/6 h)에 대한 식이성 발열효과 비율도 각각 MCT 식이(8.02 ± 0.66%, 9.49 ± 2.56%)가 LCT 식이(5.11 ± 1.00%, 6.10 ± 3.47%)보다 유의하게 높았다(p < 0.05).

휴식대사량을 기준으로 한 시간경과에 따른 식이성 발열효과 변화율 및 식이성 발열효과 총량을 Fig. 2에 나타내었다.

MCT 식이의 식이성 발열효과 변화율은 LCT 식이에 비하여 식후 6시간 내내 높은 수준을 보였는데 식후 60분, 90분, 120분, 150분 지점에서는 MCT 식이의 식이성 발열효과 증가율이 LCT 식이보다 유의하게 높았다(p < 0.05). 또한 두 종류의 식사(MCT 식이, LCT 식이)를 섭취한 후 추정된 식이성 발열효과 총량은 MCT 식이가 42.8 kcal/6 h로 LCT 식이(26.8 kcal/6 h)에 비해 유의하게 높았다(p < 0.05).

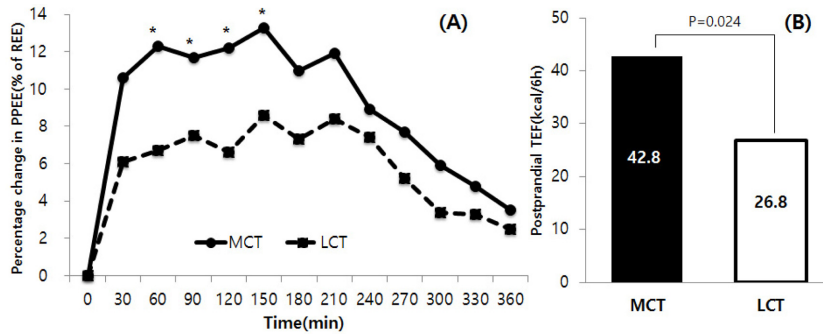


Fig. 2. Changes in incremental energy expenditure from the REE (%TEF/REE) at each 30 min time point over 6 hours after two type of meals (A), Post-prandial total TEF of 6 hours after MCT meal and LCT meal (B). All p-values were derived by paired t-tests between MCT meal and LCT meal. *p < 0.05: Significantly different between MCT meal and LCT meal

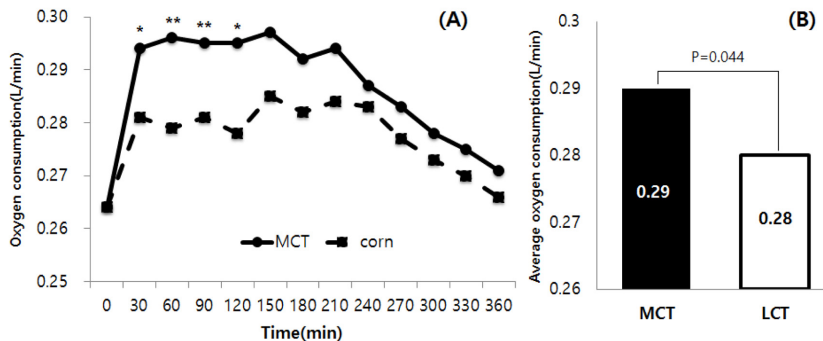


Fig. 3. Changes in oxygen consumption (L/min) from the base line (REE) at each 30 min time point over 6 hours after two type of meals (A), Post-prandial average oxygen consumption of 6 hours after MCT meal and LCT meal (B). All p-values were derived by paired t-tests between MCT meal and LCT meal. *p < 0.05, **p < 0.01: Significantly different between MCT meal and LCT meal

3. 산소소모량

간접열량계를 통해 식후 산소 소모량과 이산화탄소 생성량을 측정된 결과 (Fig. 3), 식후 6시간 동안 측정된 이산화탄소 생성량에서는 두 식사 간에 유의한 차이가 없었으나 산소 소비량에서는 식후 30분부터 120분에 이르는 90분 동안 MCT 식이가 LCT 식이보다 유의하게 높은 값을 나타내었고, 식후 6시간 동안의 평균 산소 소모량 또한 MCT 식이 (0.29±0.35 L/min)가 LCT 식이 (0.28±0.27 L/min)보다 유의하게 높았다(p < 0.05).

4. 영양소 산화율

시간경과에 따른 영양소 산화율을 살펴보면 (Fig. 4) 탄수화물 산화율은 식후 30분부터 120분까지는 MCT 식이가 LCT 식이보다 유의하게 낮았으나 (p < 0.05), 그 이후에는 유의한 차이가 없었다. 지방 산화율은 MCT 식이가 LCT 식이보다 식후 30분부터 120분까지 유의하게 높았으나 이후 유의한 차이가 없었다. 이상의 결과로부터 식후 30분부터 120분까지 MCT 식이의 지방 산화율이 증가하였음을 알 수 있었다.

식후 탄수화물 산화율은 MCT 식이와 LCT 식이에서 각각 51.8±13.9 g/6 h와 61.8±13.9 g/6 h로 유의한 차이가 없었다. 또한 지방 산화율도 두 식사 간에 유의한 차이가 없이 MCT 식이와 LCT 식이에서 각각 32.4±6.8 g/6 h와 27.0±4.1 g/6 h로 나타났다.

5. 포만도 측정

실험식사 섭취 전 (공복 상태), 실험식사 섭취 직후 그리고 식후 한 시간마다 대상자가 느끼는 포만도의 변화를 공복감, 만족감 및 식욕의 세 가지로 살펴보았다 (Fig. 5). 실험식사 섭취 전 포만도 측정 결과를 기준으로 매 1시간마다 측정된 각각의 포만도 결과를 paired t-test로 분석하였다. 이 때 유의한 차이가 사라지는 시점을 실험식사 섭취 전의 포만도 상태로 회복되는 시점이라 할 수 있다.

결과를 살펴보면, 공복감의 경우, MCT 식이는 식후 120분까지는 실험식사 섭취 전 (pre-prandial satiety)보다 유의하게 낮은 공복감을 보이다가 이후 실험식사 섭취 전과의 유의한 차이가 사라지면서 공복 수준으로 회복되었다. LCT 식이는 식사 직후 (p < 0.05)를 제외한 나머지는 실험식사

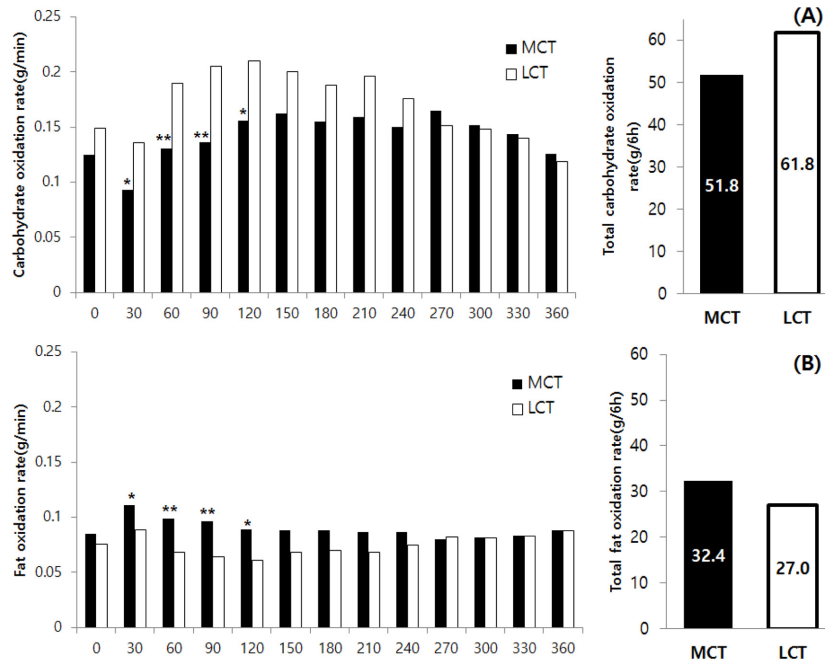


Fig. 4. Changes in carbohydrate and fat oxidation rates and total carbohydrate (A) and fat (B) oxidation rates for 6 hours after two type of meals. All p-values were derived by paired t-tests between MCT meal and LCT meal. *p < 0.05, **p < 0.01: Significantly different between MCT meal and LCT meal

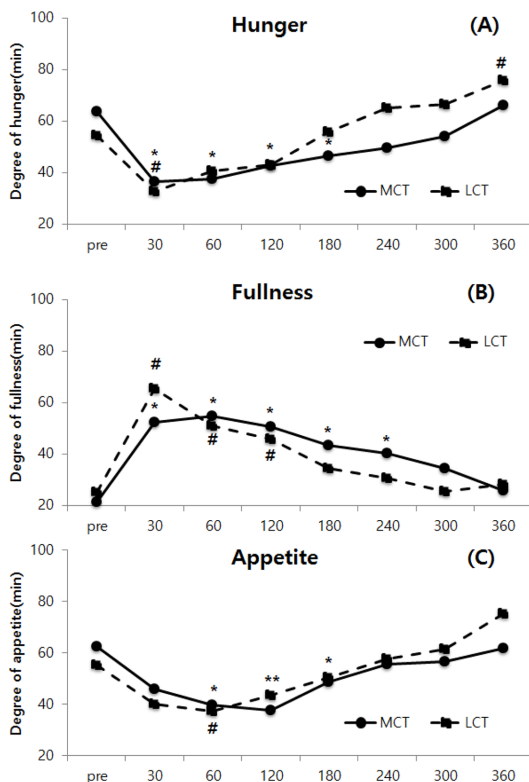


Fig. 5. Satiety sensations after two type of meals. All datas mean changing from fasting levels. * means result of paired t-test with pre-prandial data within MCT meal (*: p < 0.05, **: p < 0.01), # means result of paired t-test with pre-prandial data within LCT meal (#: p < 0.05).

섭취 전과 유의한 차이를 보이지 않다가 실험종료 시점인 360분에 이르러 공복 시에 비하여 39%나 공복감이 증가하는 유의한 차이를 보였다(p < 0.01).

만복감은 MCT 식이의 경우, 식후 240분 동안은 실험식사 섭취 전에 비하여 유의하게 높은 만복감을 느끼다가 240분 이후 실험식사 섭취 전 상태로 회복되었으나 LCT 식이는 식후 120분 동안에만 공복 시에 비하여 유의하게 높은 만복감을 느끼고 이후 실험식사 섭취 전의 만복감 수준으로 회복하였다.

또한 식욕을 살펴보면, MCT 식이와 LCT 식이 모두 식후 60분부터 식욕이 사라졌고, MCT 식이는 식후 240분 이후부터, LCT 식이의 경우 120분 이후부터 식욕을 느끼기 시작하여 MCT 식이에서 더 오랫동안 음식을 섭취하고자하는 욕구를 있게 해 주었다.

고 찰

일반적으로 에너지 밀도가 높은 지방 식품의 경우 과다 섭취 시 비만을 유발할 수 있어 체중감량을 위해 지방 섭취를 줄이려는 노력이 강조되어왔다. 그러나 지방의 총 섭취량뿐만 아니라 지방의 조성 또한 체중 증가와 관련이 있음이 밝혀지고 있다[30]. 실험동물을 이용한 비만 연구[31]에서 섭취한 지방산의 종류에 따라 체중 증가율에 차이가 있었으며,

지방산의 길이, 이중결합의 위치 및 불포화도 등 지방산 구조의 다양성이 식이성 발열효과 [2-5] 뿐만 아니라 산소 소비량 [5], 지방 산화율 [23,24,32-35]과 포만도 [23,36]에도 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다.

10명의 연구대상자에게 전체 열량(1,000 kcal)의 40%를 각각 MCT와 LCT로 제공하는 두 가지 식이를 제공한 후의 식이성 발열효과를 측정된 Hill 등 [4]에 따르면 MCT 식이의 식이성 발열효과는 8.0%로 LCT 식이의 식이성 발열효과(5.8%)보다 유의하게 높았다. Seaton 등 [5]은 7명의 연구대상자에게 400 kcal에 해당하는 지방 섭취 후의 식이성 발열효과를 비교하였는데 MCT(MCT oil 48 g)로 섭취한 경우의 식이성 발열효과가 53 kcal로(13%) LCT(corn oil 48 g)로 섭취한 경우(17 kcal, 4%)보다 유의하게 높았다고 보고하였다. Dulloo 등 [37]은 8명을 대상으로 40% 지방 식사에서 30 g/day(10 g/meal)의 MCT를 제공 후 식이성 발열효과가 5% 증가하였다고 하였다. 이와 같은 결과들은 MCT를 단독으로 또는 다른 영양소(탄수화물 및 단백질)와 함께 섭취한 경우, 모두 식이성 발열효과에 영향을 미침을 보여주고 있다. 그 밖의 연구 [35,38]에서도 중쇄지방산이 포함된 식사를 섭취했을 때 식이성 발열효과와 산소 소비량이 유의적으로 증가하였다고 밝혀 본 연구 결과와 일치하였다. 즉, 본 연구에서도 MCT 식이에서의 식이성 발열효과와 영양소 산화율이 각각 42.8 kcal와 0.29 L/min로 LCT 식이의 결과(TEF: 26.8 kcal, oxygen consumption: 0.28 L/min)보다 유의하게 높았다.

마른 사람(6명)과 비만인 사람(6명)을 대상으로 각각 38 g의 LCT와 30 g의 MCT를 함유하는 식사 섭취후의 식이성 발열효과를 비교한 Scalfi 등 [39]은 두 군에서 TEF가 유의한 차이 없이 동일하게 증가되었음을 제시하면서 MCT의 식이성 발열효과의 정도는 비만도에 따른 차이가 없다고 하였다. 따라서 전체 대상자 10명 중 3명은 정상체중이고 5명이 과체중, 2명이 비만인 본 연구에서도 비만도에 따른 영향을 없었을 것으로 생각되나, 향후의 연구에서는 대상자의 비만도를 표준화하거나 또는 비만도에 따른 차이를 규명하기 위하여 군별 대상자 수가 증가된 연구가 이루어져야 할 것이다.

한편 Levine [40]은 정확한 식이성 발열효과의 총량을 평가하기 위하여 식이성 발열효과가 휴식대사량의 5% 미만 이 될 때까지 측정하도록 권고하고 있다. 본 연구는 두 식사 모두 측정 완료 전 휴식대사량 대비 식이성 발열효과의 수치가 5% 아래에 도달하여 식이성 발열효과의 총량이 정확하게 측정되었다고 볼 수 있다. 즉, MCT 식이의 경우 식후 330분(% (TEF/REE): 4.8%)에, LCT 식이의 경우 식후

300분(% (TEF/REE): 3.4%)에 휴식대사량 대비 식이성 발열효과(TEF/REE)가 5% 미만으로 접어들어 MCT 식이를 섭취한 경우 더 오랜 시간동안 식이성 발열효과를 나타내는 것으로 확인되었다.

그러나 구성 지방의 종류를 다르게 한 세 가지 샌드위치(MCT 35 g, LCT 32 g, maltodextrin 50 g + LCT 8 g)를 이용하여 식이성 발열효과 및 영양소 산화율을 조사한 Wymelbeke 등 [23]의 연구에서는 장쇄지방산과 중쇄지방산 섭취에 따른 식이성 발열효과와 지방 산화율에 있어서 유의한 차이를 보이지 않았다. 또한 Flatt 등 [32]의 연구에서도 중쇄지방산과 장쇄지방산이 각각 포함된 식사 후의 영양소 산화율에 있어서 유의한 차이가 없었다고 하였으며, Poppitt 등 [24]의 연구에서도 장쇄지방산을 포함한 실험 식사와 10 g의 장쇄지방산을 중쇄지방산으로 대체한 실험 식사의 지방 산화율을 비교한 결과, 둘 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 탄수화물 산화율과 지방 산화율에서 유의한 차이를 나타내지 않았던 본 연구결과와 일치하였다.

체중감량을 하고자하는 사람에게 있어서 식사 후 포만감은 매우 중요한 요인이다. 즉, 동일한 열량을 제공하는 식사라 할지라도 상대적으로 높은 포만감을 제공하는 식사가 높은 적응도를 보이기 때문이다. 일부 연구 [36]에서 중쇄지방산이 장쇄지방산에 비해 식이성 발열효과가 높을 뿐만 아니라 2주 간의 연구기간 동안 식욕을 감소시키고 포만감을 높였으며, 그 결과 체중감소를 나타낸 것으로 보고되었다. 또한 Wymelbeke 등 [23]의 연구에서도 MCT 보충제를 포함한 식사를 점심식사로 섭취한 경우, LCT 보충제를 포함한 식사에 비해 저녁식사 섭취량이 더 많이 감소됨을 보여 MCT가 포만감을 높이는 효과가 있음을 보여주었다. 본 연구 결과에서도 LCT 식이에 비해 MCT 식이에서 식사 후 만족감이 더 오래 지속되고, 공복감을 더 늦게 느꼈으며, 식사 후 식욕이 생기는 시간도 더 오래 걸리는 것으로 나타나 MCT 식이의 포만도가 더 높은 것으로 평가되었다.

한편 지방 산화 시 fatty-acyl-CoA-carnitine transferase 효소가 필수적인 장쇄지방산과 달리 중쇄지방산은 이의 도움 없이 간세포의 미토콘드리아 내로 들어갈 수 있으므로 빠르게 베타산화가 진행되며 이로 인해 에너지 소비와 지방산화가 증가되어 지방조직에 축적되는 양이 줄어드는 것으로 추측된다 [41]. 또한 산화로 생성된 Acetyl-CoA는 TCA 회로를 통해 탄소와 물로 산화되거나 장쇄지방산과 콜레스테롤의 합성에 이용될 수 있으며 두 분자의 Acetyl-CoA는 케톤 형태로 결합할 수 있고, 이는 뇌에서 에너지원으로 사용된다. Ruderman 등 [42]은 이와 같은 케톤체의

산화는 다른 물질의 산화가 감소되지 않는 한 산소 소비량의 유의적인 증가를 야기할 수 있다고 보고하였다.

이와 관련된 연구들을 살펴보면, 중쇄지방산 섭취가 식이성 발열효과와 지방 산화율에 미치는 영향에 있어 상반된 결과들(5,23,31-33,35,36)을 보여주고 있기는 하지만, 대부분의 연구에서 본 연구 결과와 마찬가지로 중쇄지방산의 식이성 발열효과, 산소소비량 그리고 지방 산화율의 증가 효과, 또한 포만도에서도 긍정적인 효과를 나타내었다(5,33,35,36).

본 연구의 제한점을 살펴보면 첫째, MCT의 경우 필수지방산을 함유하고 있지 않을 뿐만 아니라, MCT를 실제로 조리하여 이용하고자 하는 경우, 발연점이 낮고 다른 식물성 기름과 섞거나 튀김용으로 사용 시 거품이 발생하는 등의 문제가 있다[43]. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 필수지방산을 포함하는 LCT를 일정량 포함하는 MLCT(medium and long chain triglyceride, 중쇄와 장쇄 중성지방을 동시에 함유)가 개발되었다. Ogawa 등[3]은 일반적인 조리용으로 사용가능하도록 개발된 MLCT의 식사 후 6 시간 동안의 TEF를 평가한 결과, 장쇄지방산(canola oil)이 포함된 식사(34.4 kcal, 섭취 열량 기준 6.9%)보다 유의하게 높은 TEF(47.8 kcal, 9.6%)를 보였다고 하였다.

둘째, 제조사에서는 MCT의 일일 최대사용량을 15 ml로 제안하고 있는 반면, 본 연구에서는 그 이상의 MCT가 사용되었다. 단기적으로 MCT가 식이성 발열효과에 미치는 영향을 살펴보기 위한 위의 연구들[4,5,37]에서는 최대 48 g의 MCT를 사용하기도 하였다. 따라서 앞으로 실질적인 MCT 사용량(15 g 이내)을 바탕으로 식이성 발열효과에 미치는 영향이 장기적으로 검증되는 연구가 이루어져야 할 것이다.

그러나 중쇄지방산의 식이성 발열효과를 장시간 추적관찰함으로써 비교적 정확하게 그 값을 산출하였을 뿐만 아니라 장쇄지방산과의 비교를 통하여 유의한 차이를 발견하였음에 그 의의가 있다고 하겠다.

요약 및 결론

중쇄중성지방의 식이성 발열효과와 영양소 산화율 및 포만도를 확인하기 위하여 만 19세 이상의 성인 남자 10명을 대상으로 본 연구를 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) 본 연구 대상자는 평균 24.4세인 성인 남자로 평균 신장, 체중 및 체질량지수는 각각 177.5 cm, 76.3 kg, 24.8 kg/m²으로 나타났다.

2) 본 연구에서 섭취한 실험식사인 볶음밥과 토스트의 에너지 함량이 각 개인의 휴식대사량 값의 30%에 해당하는 평

균 538.8 kcal였고, 탄수화물:단백질:지방의 비율은 50:10:40으로 고지방식에 해당되었다. 두 종류의 실험식사(MCT 식이, LCT 식이)는 사용하는 기름의 종류(MCT oil, corn oil)를 제외하면 모두 동일한 재료로 구성되었다.

3) 가스호흡분석기를 이용하여 간접열량측정법으로 휴식대사량과 식후 에너지소비량을 측정하였고, 그 결과로 추정된 식이성 발열효과의 총량은 MCT 식이에서 42.8 kcal/6 h로 LCT 식이(26.8 kcal/6 h)에 비하여 유의하게 높았으며, 섭취열량과 휴식대사량으로 보정한 후에도 결과는 동일하였다(MCT 식이: 8.0%, 9.5%, LCT 식이: 5.1%, 6.1%).

4) 두 실험식사의 식이성 발열효과와 산소소모량을 시간의 흐름에 따라 살펴보면, 식이성 발열효과는 식후 60분부터 150분까지 90분간 MCT 식이가 LCT 식이에 비하여 유의하게 높게 나타났고, 산소소모량은 그보다 30분 앞선 식후 30분부터 120분까지 90분 간 MCT 식이에서 유의하게 높았다. LCT 식이는 300분, MCT 식이는 330분에 식이성 발열효과가 사라졌음을 알리는 기준치인 휴식대사량 대비 식이성 발열효과 값이 5% 미만으로 감소하였다.

5) 두 실험식사의 탄수화물 산화율(MCT 식이: 51.8 g/6 h, LCT 식이: 61.8 g/6 h)과 지방 산화율(MCT 식이: 32.4 g/6 h, LCT 식이: 27.0 g/6 h)을 살펴보면, 두 항목 모두 총량에서는 유의한 차이가 없었으나 식후 30분부터 120분까지 90분간은 MCT 식이에서 지방 산화율이 유의하게 높았고 탄수화물 산화율이 유의하게 낮았다.

6) 두 실험식사의 포만도를 비교하기 위하여 공복감, 만복감, 식욕을 조사한 결과, MCT 식이가 LCT 식이에 비해 식후 공복감을 90분 더 늦게 느꼈으며, 만복감을 60분 더 오래 느꼈고, 식욕이 60분 더 늦게 찾아왔다.

이상의 연구 결과를 종합하여 보면, 중쇄지방산이 포함된 단일식사는 장쇄지방산이 포함된 단일식사에 비하여 식이성 발열효과 총량과 섭취열량 및 휴식대사량을 이용하여 보정한 값 모두에서 유의적으로 높은 것으로 나타났다. 식후 일정시간 동안 지방 산화율을 유의하게 증가시키며, 공복감과 만복감 그리고 식욕에 대한 조사를 통하여 확인해 본 포만도 검사 결과 중쇄지방산의 긍정적인 효과를 확인하였다. 즉, 지방산 길이의 차이가 식이성 발열효과, 영양소 산화율 및 포만도에 영향을 미침을 알 수 있었다. 이와 같은 결과를 통하여 단지 사용하는 지방의 종류를 변경함으로써 식이성 발열효과를 통한 에너지 소비량을 늘리고, 식사 직후 지방 산화율을 늘려 체내 지방을 빠르게 소모시키며, 더 오랜 시간 포만도를 유지함으로써 체중감소에 도움을 줄 수 있을 것이라는 가능성을 확인하였다.

따라서 앞으로 더 많은 대상자에 있어서 중쇄지방산 식사

의 장기적인 효과가 평가되어야하며 아울러 중쇄지방산 섭취의 적정섭취기준 설정과 함께 낮은 발열점으로 인한 조리상의 문제점 개선 등에 관한 연구가 수행될 필요가 있다.

References

- Schutz Y, Bessard T, Jequier E. Diet-induced thermogenesis measured over a whole day in obese and nonobese women. *Am J Clin Nutr* 1984; 40(3): 542-552.
- Reed GW, Hill JO. Measuring the thermic effect of food. *Am J Clin Nutr* 1996; 63(2): 164-169.
- Ogawa A, Nosaka N, Kasai M, Aoyama T, Okazaki M, Igarashi O et al. Dietary medium- and long-chain triacylglycerols accelerate diet-induced thermogenesis in humans. *J Oleo Sci* 2007; 56(6): 283-287.
- Hill JO, Peters JC, Yang D, Sharp T, Kaler M, Abumrad NN et al. Thermogenesis in humans during overfeeding with medium-chain triglycerides. *Metab* 1989; 38(7): 641-648.
- Seaton TB, Welle SL, Warenko MK, Campbell RG. Thermic effect of medium-chain and long-chain triglycerides in man. *Am J Clin Nutr* 1986; 44(5): 630-634.
- Jonee L, Bray GA. The thermic effect of food and obesity: A critical review. *Obes Rev* 1997; 5(6): 622-631.
- von Voit C. Untersuchungen uber die Respiration. *Ann Chem Pharm* 1862; 3(2): 52-70.
- Acheson KJ. Influence of autonomic nervous system on nutrient-induced thermogenesis in humans. *Nutr* 1993; 9(4): 373-380.
- Westerterp KR. Diet induced thermogenesis. *Nutr Metab* 2004; 1(1): 5.
- Welle S, Lilavivat U, Campbell RG. Thermic effect of feeding in man: increased plasma norepinephrine levels following glucose but not protein or fat consumption. *Metab* 1981; 30(10): 953-958.
- Kim MH, Kim EK. Thermic effect of food and macronutrient oxidation rate in men and women after consumption of a mixed meal. *Korean J Nutr* 2011; 44(6): 507-517.
- Oh SH, Park JJ, Choi IS, No HK. Effects of cellulose and pectin on diet-induced thermogenesis in young women. *Korean Soc Food Sci Nutr* 2007; 36(2): 194-200.
- Tsani AF, Kim MH, Kim EK. Comparison of thermogenic effect between meals containing protein predominantly from animal and plant sources. *Int J Biosci Biochem Bioinform* 2012; 2(5): 320-323.
- Lee MJ, Tsani AF, Kim EK. Thermic effect of food, macronutrient oxidation rate and satiety of high-fat meals with butter and sesame oil on healthy adults. *Korean J Community Nutr* 2012; 17(2): 215-225.
- Seo GH, Seo JS, Lee BH, Lee SG, Choi MS. *Advanced Nutrition for Clinical Dietitian*. 1st ed. Paju: Jigu publishing Co; 2011. p. 71-177.
- Paddon-Jones D, Westman E, Mattes RD, Wolfe RR, Astrup A, Westerterp-Plantenga M. Protein, weight management, and satiety. *Am J Clin Nutr* 2008; 87(5): 1558S-1561S.
- Holt SH, Miller JC, Petocz P, Farmakalidis E. A satiety index of common foods. *Eur J Clin Nutr* 1995; 49(9): 675-690.
- Donini LM, Savina C, Cannella C. Eating habits and appetite control in the elderly: the anorexia of aging. *Int Psychogeriatr* 2003; 15(1): 73-87.
- Mayer J. Glucostatic mechanism of regulation of food intake. *N Engl J Med* 1953; 249(1): 13-16.
- Mayer J. Regulation of energy intake and the body weight: the glucostatic theory and the lipostatic hypothesis. *Ann N Y Acad Sci* 1955; 63(1): 15-43.
- Melanson KJ, Westerterp-Plantenga MS, Saris WH, Smith FJ, Campfield LA. Blood glucose patterns and appetite in time-blinded humans: carbohydrate versus fat. *Am J Physiol* 1999; 277(2): 337-345.
- Randle PJ, Garland PB, Hales CN, Newsholme EA. The glucose fatty acid cycle: its role in insulin sensitivity and the metabolic disturbances of diabetes mellitus. *Lancet* 1963; 281(7285): 785-789.
- Wymelbeke V, Louis-Sylvestre J, Fantino M. Substrate oxidation and control of food intake in men after a fat-substitute meal compared with meals supplemented with an isoenergetic load of carbohydrate, long-chain triacylglycerols, or medium-chain triacylglycerols. *Am J Clin Nutr* 2001; 74(5): 620-630.
- Poppitt SD, Strik CM, MacGibbon AKH, McArdle BH, Budgett SC, McGill AT. Fatty acid chain length, postprandial satiety and food intake in lean men. *Physiol Behav* 2010; 101(1): 161-167.
- Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* 1949; 109(1-2): 1-9.
- Matthews JN, Altman DG, Campbell MJ, Royston P. Analysis of serial measurements in medical research. *Br Med J* 1990; 300(6719): 230-235.
- Segal KR, Edaño A, Blando L, Pi-Sunyer FX. Comparison of thermic effects of constant and relative caloric loads in lean and obese men. *Am J Clin Nutr* 1990; 51(1): 14-21.
- Péronnet F, Massicotte D. Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Can J Sport Sci* 1991; 16(1): 23-29.
- WHO Expert Consultation. Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies. *Lancet* 2004; 363(9403): 157-163.
- Storlien LH, Huang XF, Lin S, Xin X, Wang HQ, Else PL. Dietary fat subtypes and obesity. *World Rev Nutr Diet* 2001; 88(1): 148-154.
- Mercer SW, TrayHurn P. Effect of high fat diets on the thermogenic activity of brown adipose tissue in cold acclimated mice. *J Nutr* 1984; 114: 1151-1158.
- Flatt JP, Ravussin E, Acheson KJ, Jéquier E. Effects of dietary fat on postprandial substrate oxidation and on carbohydrate and fat balances. *J Clin Invest* 1985; 76(3): 1019-1024.
- Jones PJ, Pencharz PB, Clandinin MT. Whole body oxidation of dietary fatty acids: implications for energy utilization. *Am J Clin Nutr* 1985; 42(5): 769-777.
- DeLany JP, Windhauser MM, Champagne CM, Bray GA. Differential oxidation of individual dietary fatty acids in humans. *Am J Clin Nutr* 2000; 72(4): 905-911.
- St-Onge MP, Ross R, Parsons WD, Jones PJ. Medium-chain triglycerides increase energy expenditure and decrease adiposity in overweight men. *Obes Res* 2003; 11(3): 395-402.

36. Krotkiewski M. Value of VLCD supplementation with medium chain triglycerides. *Int J Obes* 2001; 25(9): 1393-1400.
37. Dulloo AG, Fathi M, Mensi N, Cirardier L. Twenty-four-hour energy expenditure and urinary catecholamines of humans consuming low-to-moderate amounts of medium-chain triglycerides: a dose-response study in a human respiratory chamber. *Eur J Clin Nutr* 1996; 50(3): 152-158.
38. 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* 1982; 35(4): 678-682.
39. Scalfi L, Coltorti A, Contaldo F. Postprandial thermogenesis in lean and obese subjects after meals supplemented with medium-chain and long-chain triglycerides. *Am J Clin Nutr* 1991; 53(5): 1130-1133.
40. Levine JA. Measurement of energy expenditure. *Public Health Nutr* 2005; 8(7A): 1123-1132.
41. St-Onge MP. Dietary fats, teas, dairy, and nuts: potential functional foods for weight control? *Am J Clin Nutr* 2005; 81(1): 7-15.
42. Ruderman NB, Goodman MN. Regulation of ketone body metabolism in skeletal muscle. *Am J Physiol* 1973; 224(6): 1391-1397.
43. Matsuo T, Matsuo M, Taguchi N, Takeuchi H. The thermic effect is greater for structured medium-and long-chain triacylglycerols versus long-chain triacylglycerols in healthy young women. *Metab* 2001; 50(1): 125-130.