

성인 남녀의 식사성 발열효과 및 식후 영양소 산화율*

김 명 희 · 김 은 경[§]

강릉원주대학교 생명과학대학 식품영양학과

Thermic Effect of Food and Macronutrient Oxidation Rate in Men and Women after Consumption of a Mixed Meal*

Kim, Myung-Hee · Kim, Eun-Kyung[§]

Department of Food and Nutrition, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-742, Korea

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effects of gender on the thermic effect of food and substrate oxidation rate during 5 hours after a mixed meal. Twenty healthy college students (10 males and 10 females) aged 20–26 years participated in this study. The energy contents of the experimental diets were 775 kcal and 627 kcal for males and females respectively, which were 30% of individual energy requirements and were composed of 65/15/20% as the proportion of carbohydrate/protein/fat. Resting and postprandial energy expenditure and substrate oxidation rates were measured with indirect calorimetry in the fasting state and every 30 min for 5 hours after meal consumption. Thermic effects of food expressed as Δ AUC and TEF% were not significantly different between males and females. However, TEF% adjusted for body weight and fat-free mass in males (0.095% and 0.120%) were significantly lower than those in females (0.152% and 0.213%)($p < 0.05$). The total amount of carbohydrate oxidized was significantly lower in males than that in females (58.6 vs. 86.6 mg/kcal energy intake/5 h, $p < 0.05$). In contrast, the total amount of fat oxidized was significantly higher in males than that in females after the meal (32.9 vs. 17.2 mg/kcal energy intake/5 h, $p < 0.01$). These results indicate that gender affects the thermic effects of food and the substrate oxidation rate after a meal. The results show that males use relatively less carbohydrate and more fat as an energy source after a meal than that of females. (Korean J Nutr 2011; 44(6): 507 ~ 517)

KEY WORDS: thermic effect of food, macronutrient oxidation rate.

서 론

현대인에게 있어 비만은 치료되어야 할 질병으로 인식되고 있다. 세계보건기구 (WHO)에 따르면, 전 세계 성인 인구의 1/10인 15억 명이 과체중 또는 비만이며 이들 가운데 매년 280만 명이 당뇨병, 심장병 및 각종 암 등에 의하여 사망하는 것으로 나타났다.¹⁾ 또한, 우리나라의 경우 만 19세 이상 성인 비만인구가 1998년 26.0%에서 2009년 31.3%로 증가하였으며,²⁾ 전체 성인 가운데 43.5%가 체중조절을 위해 노력하는 것으로

접수일: 2011년 9월 7일 / 수정일: 2011년 10월 24일

채택일: 2011년 11월 4일

*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).

[§]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: ekkim@gwnu.ac.kr

보고되었다.³⁾

우리나라 만 19세 이상 성인의 비만유병률은 남자가 35.8%, 여자가 26.0%로 성별에 따라 차이를 보이고 있다.²⁾ 또한, 일부 연구^{4,5)}에서 여자에 비하여 남자는 상대적으로 복부에 많은 지방을 축적하는 것으로 나타났으며 이러한 복부 지방은 피하조직의 지방에 비하여 만성 퇴행성 질환의 발병에 직접적으로 영향을 미치는 것으로 밝혀짐에 따라 비만 합병증에 대한 위험성이 남자에서 더 높다고 보고되었다.

한편, 미국 NHANES III의 코호트 조사결과를 분석한 Chumlea 등⁶⁾에 따르면 여자가 남자보다 에너지섭취량 (여자 40 kcal/kg FFM, 남자 45 kcal/kg FFM)이 적었음에도 불구하고 체지방 축적량이 상대적으로 높았는데, 이는 섭취된 지방을 산화시키지 않고 지방조직에 저장시키려는 대사가 남자에 비하여 여자에 있어서 더 효율적으로 일어나기 때문이라고 설명하였다. Pietrobelli 등⁷⁾은 이러한 에너지 대사의 성별 간 차이로 인하여 체중 1 kg을 줄이기 위해 감소시켜야 하는 에너지

지섭취량이 남자 (5,200~5,700 kcal)보다 여자 (7,200~7,700 kcal)에 있어서 유의하게 높게 나타나, 동량의 체중감량을 위해 남자보다 여자가 훨씬 더 많은 에너지섭취량을 줄여야 한다고 밝혔다. 이처럼 성별에 따라 비만과 관련된 대사기전이 다르게 나타나므로, 적절한 비만 예방 및 관리를 위해서는 성별의 특수성을 고려한 체중조절 프로그램이 개발되어야 한다.

체중감량의 핵심은 에너지섭취량보다 에너지소비량을 높임으로써 음의 에너지 평형을 유도하는 것이다. 에너지섭취량을 낮추기 위한 단식이나 절식 등의 식사조절은 일시적인 체중감량에는 효과가 있지만, 오히려 식사제한이 스트레스 및 폭식을 유발할 수 있고⁸⁾ 필수영양소의 결핍으로 건강상의 장애를 초래할 수 있다.⁹⁾ 따라서, 체중조절을 효과적으로 수행하기 위해서는 에너지섭취량의 제한과 함께 에너지소비량을 높이기 위한 방법에도 초점을 맞출 필요가 있다.

인체의 에너지소비량은 크게 기초대사량 (basal metabolic rate), 신체활동 대사량 (physical activity energy expenditure), 그리고 식사성 발열효과 (thermic effect of food, TEF)로 구성된다.¹⁰⁾ 이 중에서 식사성 발열효과는 음식을 섭취한 후 영양소의 소화, 흡수, 운반, 대사, 저장 등에 소모되는 에너지로써, 혼합식을 섭취할 경우 총 에너지소비량의 5~15% 정도로 차지하는 비율은 낮지만, 장기간에 걸친 축적된 식사성 발열효과는 체중감량에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며¹¹⁻¹³⁾ 이에 대한 관심이 증가되고 있다.

식사 후 영양소 대사에 있어서 섭취한 지방은 남자의 경우 쉽게 산화되는 반면에 여자에서는 산화되기보다는 상대적으로 많은 양이 축적되는 것으로 보고되었다.¹⁴⁾ 또한, 식사 후에 지방조직으로부터 지방산의 유리 (release)가 억제되었으며 각 조직에서는 지방산의 산화가 저하되는 것으로 나타났는데, 이러한 변화는 남자보다 여자에서 크게 나타났다.^{15,16)} 이처럼 식사 후 영양소 대사의 성별에 따른 차이는 식사성 발열효과에도 영향을 미칠 것으로 사료된다.

한편, 식사의 영양소 구성에 따라 식사성 발열효과가 달라질 수 있는데,^{13,17)} 이들 영양소의 에너지 섭취비율은 동양과 서양 간에 큰 차이를 보여 동양에서는 상대적으로 탄수화물의 섭취비율이 높고 단백질과 지방의 섭취비율이 낮은 것으로 알려져 있다.¹⁸⁾ 따라서 평소 탄수화물 섭취비율이 65% 정도가 되는 한국인에서의 영양소 산화와 그에 따른 식사성 발열효과는 미국 백인이나 유럽인을 대상으로 한 이전의 연구결과와 차이를 보일 것으로 생각된다.

1회 식사로부터 발생하는 식사성 발열효과는 미비하지만 하루 3회 이상의 식사가 평생동안 이루어진다는 것을 고려한다면 장기적인 식사성 발열효과의 누적효과는 체중조절에 도움이 될 것으로 판단된다. 그러나, 에너지대사는 성별 간에 차

이가 있는 것으로 보고되고 있다.¹⁴⁻¹⁶⁾ 따라서 본 연구에서는 성별에 따라 식사성 발열효과와 식후 영양소 대사의 차이를 살펴보기 위하여 우리나라 대학생을 대상으로 각 대상자의 에너지필요량의 30%에 해당되는 식사를 섭취시킨 후 5시간 동안 에너지소비량을 측정하여 식사성 발열효과와 탄수화물 및 지방의 산화율을 비교해 보고자 하였다.

연구 방법

연구대상자

본 연구는 강원도에 위치한 대학교의 재학생으로 특별한 질환이 없는 건강한 남학생 10명과 여학생 10명으로 총 20명을 대상으로 하였다. 연구대상자 선정시 에너지소비량에 영향을 미치는 약물 및 호르몬제를 복용하지 않는 건강한 사람을 대상으로 하였다.

신체계측

신장은 자동 신장계 (BSM 330, Biospace, Korea)를 사용하여 가벼운 옷차림 상태에서 신발을 벗고 직립한 자세로 측정하였다. 체중과 체지방량은 체성분분석기 (InBody 720, Biospace, Korea)를 이용하여 생체전기저항법 (Bioelectrical impedance analysis)으로 측정하였다. 또한, 신장, 체중, 및 체지방량을 이용하여 체질량지수 (Body mass index, BMI), 체지방량 (Fat-free mass, FFM) 그리고 체표면적 (Body surface area, BSA)을 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{BMI (kg/m}^2\text{)} = \text{체중 (kg)} / [\text{신장 (m)}]^2$$

$$\text{FFM (kg)} = \text{체중 (kg)} - \text{체지방량 (kg)}$$

$$\text{BSA (m}^2\text{)}^{19)} = [\text{Weight (kg)}]^{0.425} \times [\text{Height (cm)}]^{0.725} \times 0.007184$$

휴식대사량 측정

가스호흡분석기 (Ventilated-hood device; TrueOne2400, Parvo Medics, USA)를 이용하여 간접열량측정법 (indirect calorimetry)으로 연구대상자의 휴식대사량 (Resting energy expenditure, REE)을 측정하였다. 안정된 상태에서 휴식대사량을 측정하기 위하여 다음과 같은 지침을 연구대상자 및 측정자에게 제시하였다²⁰⁾: 1) 측정 전 12시간 이상 공복상태 유지, 2) 측정 전 24시간 동안 격렬한 운동 자제, 3) 측정 당일 실험실로 이동 과정 중 움직임을 최소화 (자동차 및 엘리베이터로 이동), 4) 실험실 도착 후 30분 이상 앉아서 안정한 상태 유지. 이와 같은 지시사항은 연구자가 직접 측정 전날 저녁에 연구대상자에게 전화로 확인 및 당부하였고, 측정 당일 아침에는 측정자가 구두로 이들의 이행여부를 확인하였다. 휴식대사

량 측정 시, 대상자를 침대에 누인 상태에서 캐노피 (canopy) 로 얼굴 부위를 덮고 5분 정도 편안하게 호흡하도록 하면서 호흡가스를 교정 (calibration)하였고, 대상자의 호흡이 안정된 후 약 15분간 측정을 실시하였다. 이때, 10초 간격으로 측정된 산소 소비량과 이산화탄소 생성량을 Weir 공식²¹⁾에 대입하여 휴식대사량 값을 산출하였다.

실험식사 섭취

연구대상자는 공복시 휴식대사량의 측정을 마치고 10분정도 휴식을 취한 후, 제공되는 실험식사 (Experimental diet)를 20분 동안 섭취하도록 하였다. 일상적인 1끼의 식사량을 제공하기 위하여 실험식은 한국인영양섭취기준¹⁰⁾에서 제시한 20~39세 성인 남녀의 에너지필요추정량 (남자: 2,600 kcal, 여자: 2,100 kcal)의 30%에 해당되는 에너지를 포함하도록 하였으며 (남자: 775 kcal, 여자: 627 kcal) 탄수화물, 단백질 및 지방의 에너지섭취비율은 65%, 15% 및 20%로 맞추었다 (Table 1).

실험식사의 메뉴 선정 시, 다양한 조리법과 양념류 (고춧가루, 생강, 마늘 등)가 식사성 발열효과에 영향을 미친다는 일부 연구결과^{22,23)}를 고려하여 한식 (Korean dishes)보다는 특별한 조리과정과 별도의 양념을 필요로 하지 않는 메뉴를 선택하고자 하였다. 즉, 실험식사의 메뉴는 샌드위치, 우유, 그리고 구운 고구마를 제공하였고, 샌드위치의 재료는 호밀빵, 슬라이스 햄, 가공치즈, 상추, 양파, 토마토 및 딸기잼이었다. 또한, 실험식은 성별 간에 우유를 제외하고 모든 재료를 동일하게 사용하였으며, 영양소 조성에서 식사의 에너지함량만 다를 뿐 탄수화물, 단백질 및 지방의 에너지섭취비율이 같아지도록 구성하였다. 우유의 경우 남학생에게는 일반 우유 (whole milk)를, 여학생에게는 저지방 우유 (low-fat milk)를 제공하였다.

식후 에너지소비량 측정

실험식사를 섭취하기 시작한 시점부터 20분이 경과된 때를 식사완료 시점으로 정하고, 그로부터 5시간동안 30분 간격으로 가스호흡분석기 (TrueOne2400, Parvo Medics, USA)를 이용하여 총 10회의 식후 에너지소비량 (Postprandial energy expenditure, PPEE)을 측정하였다. 각 30분 간격으로 에너지 소비량을 측정하기 위하여 측정시작 5분 전부터 대상자를 침

대에 편안히 눕힌 후 안정된 상태에서 호흡가스를 교정하였고, 정확히 매 30분이 되는 시점부터 15분간 식후 에너지소비량을 측정하였다. 각 시간대별 측정이 끝나면 대상으로 하여금 가스호흡분석기의 캐노피를 벗은 상태에서 앉은 자세로 10분간 휴식을 취하게 하거나, 화장실을 다녀오게 하였다. 또한, 장시간의 측정이 이루어지는 동안 연구대상자가 잠들지 않도록 누운 상태에서 신체적 및 심리적 자극을 주지 않는 다큐멘터리 영화를 시청하도록 하였다.

식사성 발열효과 평가

식사성 발열효과 (Thermic effect of food, TEF)는 식사 후 증가된 에너지소비량 (Postprandial energy expenditure, PPEE) 값에서 공복상태에서의 휴식대사량 (REE) 값을 뺀 차이값으로 정의하였다. 식사성 발열효과의 총량을 구하기 위하여, 5시간 (300분) 동안 30분 간격으로 식사성 발열효과의 변화량을 그래프로 그린 후 trapezoid 원리를 이용하여 곡선 아래의 면적 (ΔAUC; Area under the curve)을 계산하였고,²⁴⁾ ΔAUC의 단위는 kcal/5 hours이었다. 이때, ΔAUC값이 크다는 것은 식사성 발열효과의 총량이 크다는 것을 의미한다.

또한, 식사성 발열효과는 식사의 크기 (meal size), 즉 에너지함량과 비례하여 나타나는 것으로 보고됨에 따라,^{25,26)} 에너지섭취량이 서로 다른 남자와 여자의 식사성 발열효과를 비교하기 위하여 섭취한 에너지함량에 대한 식사성 발열효과 총량의 백분율 (TEF%)을 다음과 같이 구하였다.

$$TEF\% = [TEF \text{ (kcal/5 h)}/\text{Energy intake (kcal)}] \times 100$$

영양소 산화율 평가

탄수화물 및 지방의 산화율 (carbohydrate or fat oxidation rate)은 가스호흡분석기에서 측정된 산소 소모량 (VO₂)과 이산화탄소 배출량 (VCO₂) 값을 다음의 공식에 적용하여 각각 계산하였다.²⁷⁾

$$\begin{aligned} \text{Carbohydrate oxidation rate (g/min)} &= 4.585 \times VCO_2 \text{ (L/min)} - 3.2255 \times VO_2 \text{ (L/min)} \\ \text{Fat oxidation rate (g/min)} &= 1.6946 \times VO_2 \text{ (L/min)} - 1.7012 \times VCO_2 \text{ (L/min)} \end{aligned}$$

성별에 따른 영양소 산화율을 비교하기 위하여, 식후 5시간 동안 30분 간격으로 영양소 산화율의 변화량을 구하여 trapezoid 방법으로 총면적 (ΔAUC; Area under the curve)을 산출한 후,²⁴⁾ 각 대상자의 에너지섭취량으로 보정하였다.

또한, 공복상태와 식후 5시간 동안의 탄수화물 및 지방 산화의 상대적 백분율 (%)은 다음과 같이 호흡계수(respiratory quotient, RQ) 값을 이용하여 각각 구하였다.²⁸⁾

Table 1. Energy content and macronutrients composition of the experimental meal

	Male	Female
Energy (kcal)	775 kcal	627 kcal
Carbohydrate (% of energy)	63.1%	65.0%
Protein (% of energy)	14.7%	15.6%
Fat (% of energy)	22.2%	19.4%

Percentage of carbohydrate oxidation (%) = [(RQ - 0.71)/0.29] × 100

Percentage of fat oxidation (%) = [(1 - RQ)/0.29] × 100

자료 처리

본 연구에서 얻어진 모든 자료는 통계 프로그램인 SAS (Statistical analyses system; SAS Institute Inc, Cary, NC)를 이용하여 평균과 표준편차 (Mean ± SD)를 구하였고, 5시간 동안의 식사성 발열효과 (kcal/5 h)와 영양소 산화량 (g/5 h)의 총량을 구하기 위하여 trapezoid 원리를 이용하여 Δ AUC 면적을 산출하였다.²⁴⁾ 또한, 결과 값의 평균에 대한 성별 간의 차이 비교는 Student t-test로 유의성을 검정하였다. 성별 간의 비만도에 따른 분포는 빈도분석을 실시하였고 χ^2 -test로 유의성을 검정하였다.

결 과

연구대상자의 일반적 특성

연구대상자의 신체계측 결과는 Table 2와 같다. 대상자의 연령은 남자가 20~26세, 여자가 21~22세의 범위였다. 신장과 체중은 남자가 173.1 cm와 72.1 kg으로 여자의 162.3 cm와 52.3 kg보다 유의하게 높았고 ($p < 0.001$), 신장과 체중을 이용하여 계산한 체질량지수 (BMI)와 체표면적 (BSA)도 남자

(24.0 kg/m², 1.85 m²)가 여자 (19.8 kg/m², 1.54 m²) 보다 유의하게 높게 나타났다 ($p < 0.05$, $p < 0.001$). 체지방량은 남녀 간에 차이가 없었으나, 체지방율은 남자가 19.9%로 여자의 28.6%에 비하여 유의하게 낮았다 ($p < 0.001$). 체중에서 체지방량을 뺀 제지방량 (Fat free mass)도 남자 (57.8 kg)가 여자 (37.3 kg)보다 유의하게 높았다 ($p < 0.001$). 대상자의 비만도에 따른 구성은 남자는 정상체중이 3명, 과체중이 3명, 비만이 4명이었고, 여자는 저체중이 2명, 정상체중이 7명, 과체중이 1명이었으며, 비만도 분포에 있어서 남녀 간에 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$).

휴식대사량

공복상태에서 가스호흡분석기로 측정된 휴식대사량 (resting energy expenditure) 값은 Table 3과 같이, 남자 (1716.4 kcal/day)가 여자 (1220.0 kcal/day)보다 유의하게 높게 나타났다 ($p < 0.001$). 체중으로 보정한 휴식대사량 값은 남자와 여자가 각각 24.0 kcal/kg weight와 23.4 kcal/kg weight로 유의한 차이가 없었고, 제지방량으로 보정한 휴식대사량 값도 남자 (30.1 kcal/kg FFM)와 여자 (32.8 kcal/kg FFM) 간에 유의한 차이를 보이지 않았다.

식후 에너지소비량

식후 에너지소비량의 변화정도를 비교하기 위하여, 휴식대사량 값을 기준 (baseline)으로 하여 각 시간대별 식후 에너지

Table 2. Baseline characteristics of the subjects

Variables	Male	Female	t or χ^2 -value
Age (years)	22.8 ± 1.8 ¹⁾	21.4 ± 0.5	2.42*
Height (cm)	173.1 ± 5.0	162.3 ± 5.5	4.58***
Weight (kg)	72.1 ± 10.3	52.3 ± 7.6	4.89***
Body mass index (kg/m ²)	24.0 ± 2.8	19.8 ± 1.9	3.94*
Underweight (< 18.5 kg/m ²)	0 (0) ²⁾	2 (20)	8.60*
Normal weight (18.5–22.9 kg/m ²)	3 (30)	7 (70)	
Overweight (23.0–24.9 kg/m ²)	3 (30)	1 (10)	
Obese (> 25.0 kg/m ²)	4 (40)	0 (0)	
Body surface area (m ²)	1.85 ± 0.14	1.54 ± 0.13	5.10***
Fat mass (kg)	14.3 ± 4.2	15.0 ± 2.8	-0.43
Fat mass (%)	19.9 ± 5.8	28.6 ± 3.3	-4.13***
Fat-free mass (kg)	57.8 ± 9.5	37.3 ± 5.7	5.87***

1) Mean ± SD 2) N (%)

*: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$ by Student t-test and χ^2 -test between male and female

Table 3. Resting energy expenditure (REE) of the subjects

	Male	Female	t-value
REE (kcal/day)	1716.4 ± 188.7 ¹⁾	1220.0 ± 218.2	5.44***
REE/weight (kcal/kg body weight)	24.0 ± 2.7	23.4 ± 2.5	0.56
REE/FFM ²⁾ (kcal/kg fat-free mass)	30.1 ± 3.0	32.8 ± 3.1	-1.99

1) Mean ± SD 2) Fat-free mass

***: $p < 0.001$ by Student t-test between male and female

소비량의 변화율 (%)을 구하였다 (Fig. 1). 남자의 식후 에너지 소비량 변화율은 식후 30분 (21.1%), 60분 (21.0%)을 거쳐 상승하다가 식후 90분에 가장 높은 값 (23.4%)을 보였고 이후 감소하여 식후 210분에 10.1%가 되었으며 식후 300분에는 3.8%까지 감소하였다. 여자의 식후 에너지소비량 변화율은 식후 30분과 60분에 26.3%와 26.1%로 최고점에 이른 후 식후 300분에 10.5%까지 감소하였다. 한편, 남자의 식후 에너지소비량의 변화율은 여자와 비교하여 식후 5시간 내내 낮은 수준을 보였으나, 210분 (남자 10.1%, 여자 18.6%)에서만 유의한 차이를 나타내었다 ($p < 0.05$).

식사성 발열효과

식후 에너지소비량 값 (PPEE)과 공복시의 휴식대사량 값 (REE)의 차이를 식사성 발열효과 (TEF)로 정의하여 살펴본 결과는 Fig. 2과 같다. 식사성 발열효과는 식후 5시간 동안 증

가된 에너지소비량의 총량인 Δ AUC (Incremental area under the curve)로 산출하였고, 남자의 Δ AUC (51.5 kcal/5 h)와 여자의 Δ AUC (50.5 kcal/5 h)는 성별 간에 유의한 차이가 없었다. 또한, 섭취한 실험식사의 에너지 함량 차이를 고려하여 (Table 1) 에너지섭취량에 대한 식사성 발열효과의 비율 (TEF%)을 산출한 결과, 남녀 각각 6.6%와 8.1%로 역시 성별에 따른 차이를 보이지 않았다. 한편, 신체체중 결과에서 성별 간 유의한 차이를 보였던 체중과 제지방량으로 보정하여 TEF%를 살펴보면, 체중으로 보정한 TEF%는 남자가 0.095%로 여자의 0.152%보다 유의하게 낮았고 ($p < 0.01$), 제지방량으로 보정한 TEF%도 남자 (0.120%)가 여자 (0.213%)에 비하여 유의하게 낮은 것으로 나타났다 ($p < 0.001$).

영양소 산화율

탄수화물 및 지방의 산화율은 실험식사 섭취 후 5시간 동안 산화된 총량 (Δ AUC)을 산출한 후 성별 간에 차이를 보였던 에너지섭취량, 체중 및 제지방량으로 보정하여 살펴보았다 (Fig. 3). 에너지섭취량으로 보정한 탄수화물의 산화율은 남자 (58.6 mg/kcal energy intake/5 h)가 여자 (86.6 mg/kcal energy intake/5 h)보다 유의하게 낮았으나 ($p < 0.05$), 지방의 산화율은 남자 (32.9 mg/kcal energy intake/5 h)가 여자 (17.2 mg/kcal energy intake/5 h)보다 유의하게 높게 나타났다 ($p < 0.01$). 한편, 에너지섭취량 및 체중으로 보정한 탄수화물의 산화율은 남자가 0.82 mg/kcal/kg weight/5 h로 여자의 1.65 mg/kcal/kg weight/5 h와 비교하여 유의하게 낮았지만 ($p < 0.001$), 지방의 산화율은 남녀 간에 차이가 없었다. 에너지섭취량 및 제지방량으로 보정한 탄수화물의 산화율도 남자 (1.04 mg/kcal/kg FFM/5 h)가 여자 (2.30 mg/kcal/kg FFM/5 h)보다 유의하게 낮았으나, 지방의 산화율은 성별 간

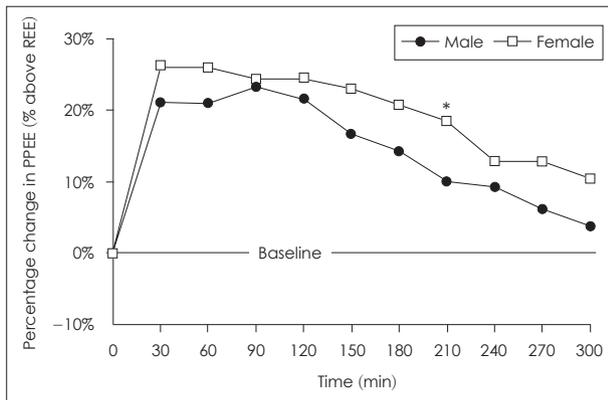


Fig. 1. Changes in incremental energy expenditure (%) from the baseline (REE) at each 30-min time point over 5-hour after the meal for male and female college students. *: $p < 0.05$ by Student t-test between male and female. PPEE: post-prandial energy expenditure, REE: resting energy expenditure.

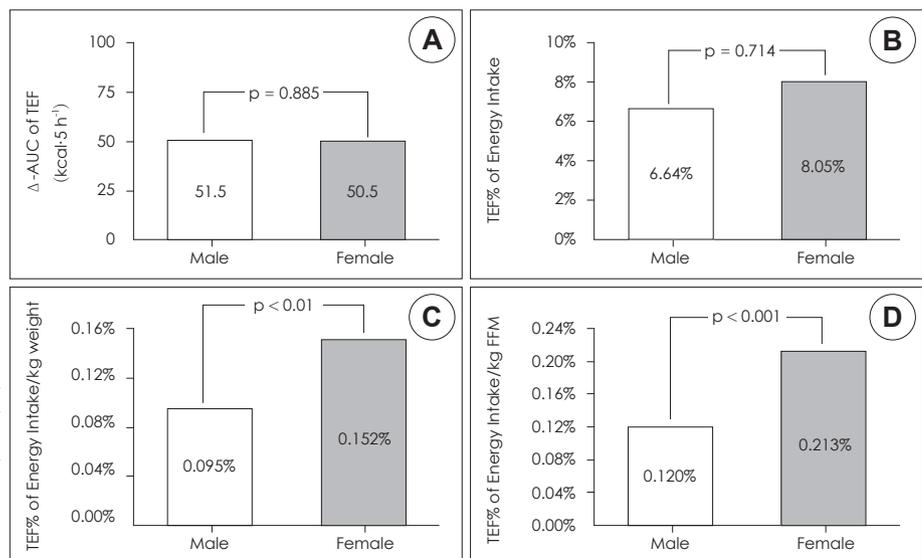


Fig. 2. Δ AUC of TEF (A), TEF% of energy intake (B), and TEF% of energy intake adjusted for body weight (C) or fat-free mass (D) over 5-hour after the meal for male and female college students. All p-values are derived by Student t-tests between male and female.

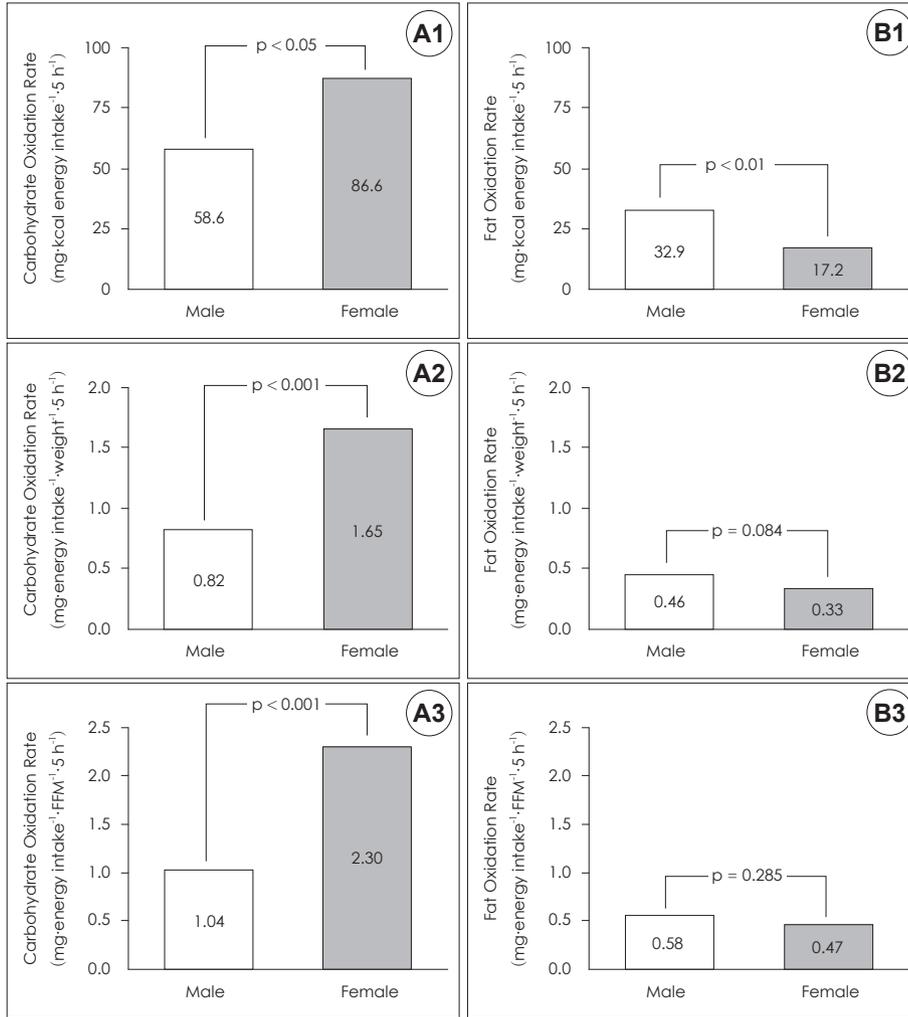


Fig. 3. The total amount of carbohydrate oxidation (A1, A2, A3) and the total amount of fat oxidation (B1, B2, B3) adjusted for energy intake, body weight, and fat-free mass over 5-hour after the meal for male and female college students. All p-values were derived by Student t-tests between male and female.

에 차이를 보이지 않았다.

탄수화물 산화 및 지방 산화의 상대적 백분율 (%)을 비교한 결과는 Fig. 4과 같다. 공복상태에서 남자의 경우 탄수화물 산화의 상대적 백분율 (29%)은 지방 산화 (71%)와 비교시 절반이하 수준 정도였으나, 여자의 경우 탄수화물 산화의 상대적 백분율은 44%로 지방 산화의 상대적 백분율인 56%보다 10% 포인트 정도 낮은 수준이었다. 실험식사를 섭취한 후에 남녀 모두에서 탄수화물 산화의 상대적 백분율이 증가하는 경향을 보였는데, 남자는 식후 60분에 47%, 여자는 식후 30분에 82%까지 상승하였다. 이후 탄수화물 산화의 상대적 백분율이 서서히 감소하여 식후 300분이 되었을 때 남자는 28%로 공복상태와 유사한 수준을 보인 반면 여자는 53%로 공복상태보다 9% 포인트 정도 높았다. 또한, 식후 5시간 동안 탄수화물 및 지방 산화의 상대적 백분율을 평균내어 살펴보았을 때 탄수화물 산화의 상대적 백분율은 남자 (38%)보다 여자 (63%)에서 유의하게 높았고 지방 산화의 상대적 백분율은 남자 (62%)보다 여자 (37%)에서 유의하게 낮게 나타났다.

고 찰

본 연구에서 간접열량법으로 측정된 휴식대사량은 남자 (1716.4 kcal/day)가 여자 (1220.0 kcal/day)보다 유의하게 높았는데 (Table 3), 이는 남자가 여자보다 체격이 크고 체중이 많이 나가며 특히 체근육량이 많기 때문에 에너지소비량이 더 높다고 보고한 Webb²⁹⁾의 연구결과로 설명될 수 있다. 연령별 휴식대사량을 체계적으로 분석하기 위하여 20~64세 한국 성인 남녀 290명의 휴식대사량을 측정하여 비교한 Park 등³⁰⁾의 연구에서 20~29세 성인 (남자 66명, 여자 61명)의 휴식대사량은 남자 (1728.2 kcal/day)가 여자 (1311.5 kcal/day)보다 높아 본 연구결과와 일치하였는데, 여자의 경우 본 연구결과보다 90 kcal/day 정도가 높은 것으로 나타났다. 또한, Lee 등³¹⁾도 한국인 대학생 (남자 30명, 여자 30명)을 대상으로 휴식대사량 추정공식의 정확도를 평가하기 위하여 간접열량법으로 휴식대사량을 측정하였는데, 남학생의 휴식대사량 (1833.4 kcal/

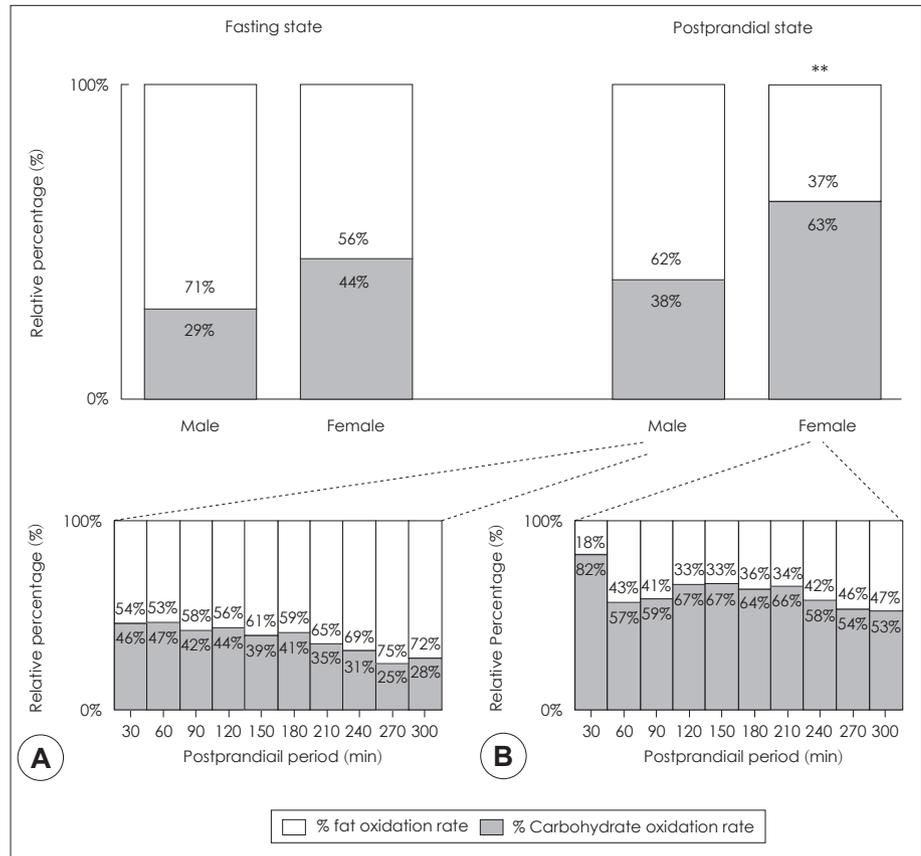


Fig. 4. Relative percentage of substrate oxidation rate over 5-hour after the meal for male (A) and female (B) college students. **: $p < 0.01$ Significantly different between male and female by Student's t-test.

day)이 여학생 (1454.3 kcal/day)보다 유의하게 높아 본 연구 결과와 동일한 경향을 보였으나, 본 연구결과보다 남자는 117 kcal, 여자는 234 kcal 정도 높은 것으로 나타났다.

본 연구에서 휴식대사량을 체중으로 보정한 결과를 살펴보면 남자 (24.0 kcal/kg weight)와 여자 (23.4 kcal/kg weight) 간에 유의한 차이가 없었으므로 성별에 따른 휴식대사량 (kcal/day)의 차이는 체중의 차이에 기인한 것임을 알 수 있었다. 한편, 제지방량으로 보정한 휴식대사량도 남자 (30.1 kcal/kg FFM)와 여자 (32.8 kcal/kg FFM)간에 유의한 차이를 보이지 않았다. 한국 성인을 대상으로 휴식대사량을 평가한 Park 등³⁰⁾ 및 대학생들을 대상으로 한 Lee 등³¹⁾의 연구 결과를 살펴보면 휴식대사량을 체중으로 보정한 결과는 남녀 간에 차이가 없었으나 제지방량으로 보정한 휴식대사량은 여자가 남자보다 유의하게 높아 본 연구와는 상이한 결과를 나타내었다. 본 연구대상자의 휴식대사량 및 제지방량을 살펴보면 여자의 경우는 휴식대사량이, 남자의 경우는 제지방량이 Park 등³⁰⁾ 및 Lee 등³¹⁾의 연구결과에 비하여 낮은 것으로 나타나 제지방량으로 보정한 휴식대사량의 성별 간의 차이가 앞의 두 연구결과보다 상대적으로 작아진 것으로 사료된다.

본 연구에서 식후 에너지소비량이 최고점에 이르는 시간 (time of peak)은 남자가 식후 90분 (에너지소비량 증가율

23.4%)으로 식후 30분인 여자 (에너지소비량 증가율 26.3%)에 비해 1시간 정도 느리게 나타났다. 식사성 발열효과에 영향을 미치는 요인을 분석한 연구에서 Reed & Hill²⁶⁾은 식후 에너지소비량이 최고점에 이르는 시간이 식사 크기 (에너지 함량)와 유의한 양의 상관성을 가진다고 보고하였다. 이와 관련하여 본 연구에서는 남자의 에너지섭취량 (775 kcal/meal)이 여자 (627 kcal)보다 많으므로 식후 에너지소비량이 최고점에 이르는 시간이 남자가 여자보다 큰 (느린) 것으로 사료된다.

본 연구대상자에게 에너지필요량의 30% (1끼니)에 해당되는 식사를 섭취시켰을 때, 식후 에너지소비량이 휴식대사량으로 회복되는 속도는 남자가 여자보다 빠른 것으로 나타났다. 즉, 식후 5시간 (300분) 후의 에너지소비량을 성별에 따라 비교해보면, 남자 (휴식대사량의 3.8%)가 여자 (휴식대사량의 10.5%)보다 낮은 수준을 보여 남자의 에너지소비량 값이 휴식대사량 값에 더 근접하였음을 알 수 있었다. 한편, 에너지소비량 평가에 대한 고찰연구에서 Levine³²⁾은 식후 에너지소비량 증가율이 휴식대사량의 5% 미만인 시점까지 측정해야 정확한 식사성 발열효과를 평가할 수 있다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 식후 300분 간의 측정으로 남자의 식사성 발열효과는 완전하게 측정된 반면 여자에 있어서는 식후 300분 이후에도 식사성 발열효과가 발생됨에 따라 정확한 식사성

발열효과의 평가를 위해 식후 5시간 이상의 측정이 필요한 것으로 나타났다. 1988년부터 1992년까지 5년간 미국의 Vanderbilt University의 에너지 대사 실험실에서 수행된 131건의 식사성 발열효과 측정결과를 분석한 Reed & Hill²⁶⁾은 650 kcal 이상의 식사를 섭취한 후 6시간 이상 에너지소비량의 변화를 측정한 결과 5시간까지 측정된 식사성 발열효과는 식사성 발열효과 총량의 91%에 해당되었다고 보고하였다. 이러한 결과는 627 kcal (여자)와 775 kcal (남자)를 섭취한 후 5시간 (300분)까지 식사성 발열효과가 잔존하는 것으로 나타난 본 연구결과와 일치하였다. 한편, 휴식대사량 및 식사성 발열효과 측정의 재현성을 평가하기 위하여 11편의 에너지대사 실험으로부터 성인 103명의 자료를 분석한 Weststrate³³⁾은 620 kcal의 식사를 섭취한 후에 3시간 (180분) 동안 식사성 발열효과를 측정하면 이의 정확한 평가를 할 수 있다고 보고하여 본 연구와는 다른 결과를 보였다.

식사성 발열효과의 총량 (kcal/measurement duration)은 식후 증가된 에너지소비량의 값을 합산하여 구할 수 있는데, 이는 섭취하는 식사의 에너지 함량에 비례하여 증가하는 것으로 밝혀졌다.^{25,26)} 이에 에너지 함량이 다른 실험식사의 식사성 발열효과를 비교할 경우 섭취하는 식사의 크기를 고려해야 하므로 에너지섭취량에 대한 식사성 발열효과 총량의 백분율 (TEF%)의 이용이 권장된다. 본 연구에서 실험식사에 대한 식사성 발열효과의 백분율은 남자 (에너지섭취량의 6.6%)와 여자 (에너지섭취량의 8.1%) 간에 차이를 보이지 않았다. 여러 편의 연구결과로부터 식사성 발열효과의 측정값 (20~45세의 남자 49명과 여자 54명)을 취합하여 분석한 Weststrate³³⁾에 따르면, 남자의 식사성 발열효과는 에너지섭취량의 7.9%이었고 여자의 경우 6.5%이었다. 또한, Visser 등³⁴⁾의 연구에서 20~33세의 성인 남자 29명과 여자 27명을 대상으로 320 kcal 정도의 액상식이 (탄수화물 : 단백질 : 지방의 섭취비율 = 52 : 14 : 34)를 섭취시킨 후 3시간 동안 측정된 식사성 발열효과는 남자의 경우 에너지섭취량의 12%로 본 연구결과보다 2배 정도 높은 수준이었고 여자의 경우는 에너지섭취량의 9%로 본 연구결과와 유사하였다. 한편, 한국인 여대생 8명을 대상으로 에너지함량이 503 kcal (탄수화물 : 단백질 : 지방의 섭취비율 = 65 : 15 : 20)인 혼합식 (빵, 생크림 및 버터, 난백 및 쇠고기 살코기)을 섭취시킨 후 3시간 동안 식사성 발열효과를 측정한 Ro 등³⁵⁾이 보고한 식사성 발열효과는 에너지섭취량의 8.7%로, 본 연구결과와 유사한 수준이었다.

또한, 본 연구에서 체중당 TEF%와 제지방량당 TEF%는 모두 여자가 남자보다 유의하게 높게 나타났다. 이와같은 결과로부터 성별 간 식사성 발열효과의 차이가 휴식대사량과는 달리 남녀의 체중 및 제지방량 차이에 의한 것이 아니라, 영양

소 대사의 성별 간 차이¹⁴⁻¹⁶⁾ 때문임을 알 수 있었다.

식사성 발열효과는 영양소 조성에 따라 달라지는데, 식사성 발열효과의 20~30%는 단백질, 5~10%는 탄수화물, 그리고 0~3%는 지방으로부터 발생하는 것으로 나타났다.³⁶⁾ 일부 연구결과^{13,33,34)}에 따르면, 단백질은 체내에 거의 저장되지 않으므로 섭취 후 산화되어 열생성을 빠르게 증가시키므로 식사성 발열효과를 가장 많이 높이는 것으로 나타났다. 또한, 다른 연구^{37,38)}에서 지방은 섭취량이 많아져도 산화되기보다는 체내에 쉽게 저장되므로 식사성 발열효과에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 밝혀졌다. 한편, Ro 등³⁵⁾은 탄수화물의 섭취가 증가되면 산화율이 높아지기도 하지만 동시에 중성지방으로 전환되어 축적될 수 있기 때문에 식사성 발열효과에 대한 탄수화물의 영향력이 단백질과 지방의 중간정도가 될 것이라고 설명하면서, 이전에 수행된 다른 연구들에서도 고당질 식사의 식사성 발열효과가 5~10% 정도를 나타내었다고 보고하였다. 이것은 고탄수화물 식사 (탄수화물의 에너지섭취분을 65%)를 섭취한 본 연구결과와 일치하는 내용이었다.

본 연구에서 에너지섭취량으로 보정한 식후 영양소 산화율을 비교했을 때 (Fig. 3), 탄수화물의 산화율 (남자 58.6 mg/kcal/5 h, 여자 86.6 mg/kcal/5 h)은 지방의 산화율 (남자 32.9 mg/kcal/5 h, 여자 17.2 mg/kcal/5 h)보다 높게 나타났는데, 이때 탄수화물 산화율의 경우 남자가 여자보다 유의하게 낮았던 ($p < 0.05$) 반면 지방 산화율의 경우에는 남자가 여자보다 유의하게 높게 나타났다 ($p < 0.01$). 또한, 식후 탄수화물 산화 및 지방 산화의 상대적 백분율 (%)을 비교했을 때 (Fig. 4), 남자의 경우 탄수화물 (평균 38%)보다 지방 산화의 상대적 백분율 (평균 62%)이 높는데 반해, 여자의 경우에는 탄수화물 산화의 상대적 백분율 (평균 63%)이 지방 산화율 (평균 37%)보다 높았다. 이와같은 결과로부터 식사 후 에너지원으로 남자는 탄수화물과 함께 지방을, 여자는 탄수화물을 상대적으로 많이 사용하고 있음을 알 수 있었다. 섭취한 지방이 대사될 때 남자는 지방을 좀더 많이 산화하는데 반해 여자는 상대적으로 지방을 많이 저장한다는 여러 연구결과¹⁴⁻¹⁶⁾들이 본 연구결과를 뒷받침한다. 이와같이 성별에 따라 영양소 대사가 차이를 보이는 것은 여성호르몬인 에스트로겐 (estrogen)이 지방조직으로의 지방산 유입을 증가시키고 다른 조직에서의 지방산 산화를 감소시켜 체내에 지방을 축적시키기 때문이라고 설명하였다.¹⁵⁾ 한편 체중 및 제지방량으로 보정한 영양소 산화율을 비교한 결과 (Table 3), 탄수화물의 산화율은 남자가 여자보다 유의하게 낮은 것으로 나타났으나, 지방의 산화율은 성별 간에 차이가 없었다. 이와같은 결과에서 지방의 산화율은 체중이나 제지방량 등 신체조성에 영향을 받지만, 탄수화물의 산화율은 신체조성보다는 성별 간의 대사적 차이에 영

향을 받는 것을 알 수 있었다.

Koutsari & Sidossis³⁹⁾는 5명의 성인 남자를 대상으로 고탄수화물 식사 (75% of energy intake as carbohydrate)와 저탄수화물 식사 (30% of energy intake as carbohydrate)를 5~6주의 간격을 두고 각각 14일씩 섭취하게 한 후 영양소 산화율을 살펴본 결과, 고탄수화물 식사가 저탄수화물 식사에 비하여 식후 탄수화물의 산화율이 증가되었고 상대적으로 지방 산화율이 억제되었다고 보고하였다. 또한, Sidossis & Wolfe⁴⁰⁾는 고탄수화물 식사가 저탄수화물 식사에 비하여 유리지방산 (non-esterified fatty acid)을 적게 함유하고 있기 때문에 식후 혈중 지방산 함량이 적고 동시에 지방 산화율이 감소된다고 설명하였다. 이와 같은 연구결과들은 고탄수화물 식사를 섭취한 남녀 모두에서 공복시보다 실험식사 후에 지방 산화의 상대적 백분율이 감소하는 것으로 나타난 본 연구결과 (공복시: 남자 71%, 여자 56%/식사후: 남자 62%, 여자 37%)와 일치하였다.

본 연구는 식사성 발열효과에 있어서 성별에 따른 차이를 설명하기에 연구대상자 수 (남녀 각각 10명)가 부족하였다는 제한점이 있으며 식후 5시간 이후의 에너지 소비량이 측정되었다면 식사성 발열효과를 완전하게 측정할 수 있었을 것이라는 아쉬움이 있다. 그러나, 성인 남녀를 대상으로 식후 5시간 동안의 에너지소비를 평가하여 시간의 경과에 따른 식사성 발열효과 및 영양소 산화율의 변화 추이를 살펴봄으로써 성별에 따른 에너지 소비 증대 전략의 마련을 위한 기초자료를 제공하였음에 의의가 있다고 할 수 있다.

또한, 휴식대사량 및 식사성 발열효과는 체중에 따라 차이를 보이는 것으로 보고되었는데, 본 연구대상자 중 남자는 과체중 이상이 7명 (70%)인 반면, 여자는 9명 (90%)이 정상 또는 저체중으로 나타나, 남녀 간에 비만도의 차이가 있었다. 이와 관련하여, Granata & Brandon¹²⁾는 비만한 사람의 식사성 발열효과가 정상체중을 가진 사람에 비하여 더 낮다고 보고하였는데, 이러한 결과는 비만에 의해 체내 인슐린의 저항성이 증가되어 교감신경의 활성을 저하시키기 때문이라고 설명하였다. 본 연구에서 대상자수가 남녀 각각 10명으로 비만도에 따른 식사성 발열효과의 차이를 통계적으로 살펴보기는 어려웠다. 따라서, 남녀 각각 비만도가 다른 대상자의 식사성 발열효과를 비교하는 연구를 통하여 비만도 및 신체조성이 영양소 대사 및 에너지 소비에 미치는 영향에 대해 분석되어야 할 것이다.

요약 및 결론

본 연구는 강원도 지역에 거주하는 대학생 총 20명 (남자

10명, 여자 10명)을 대상으로 성별에 따른 식사성 발열효과 및 식사 후 영양소 대사율을 비교하기 위하여 실시하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 연구대상자의 연령은 남자가 20~26세, 여자가 21~22세였다. 신장, 체중 및 체질량지수는 남자 (173.1 cm, 72.1 kg, 24.0 kg/m²)가 여자 (162.3 cm, 52.3 kg, 19.8 kg/m²)보다 유의하게 높았다. 남자와 여자의 체지방량은 각각 14.3 kg과 15.0 kg으로 차이가 없었으나, 제지방량은 남자 (57.8 kg)가 여자 (37.3 kg)보다 유의하게 높게 나타났다.

2) 연구대상자가 섭취한 실험식사의 에너지함량은 남자가 775 kcal/meal, 여자가 627 kcal/meal로 연구대상자의 1일 에너지필요추정량 (한국인영양섭취기준)의 30%에 해당되었다.

3) 가스호흡분석기를 이용하여 간접열량법으로 측정된 연구대상자의 휴식대사량 값은 남자 (1716.4 kcal/day)가 여자 (1220.0 kcal/day)보다 유의하게 높았으나, 체중과 제지방량으로 보정한 휴식대사량 값은 남자 (24.0 kcal/kg weight, 30.1 kcal/kg FFM)와 여자 (23.4 kcal/kg weight, 32.8 kcal/kg FFM) 간에 유의한 차이가 없었다.

4) 실험식사를 섭취한 후 에너지소비량 증가율 (% above REE)은 남자에서 식후 90분에 23.4%로, 여자에서 식후 30분에 26.3%로 최대값을 보였으며, 식후 300분에 이르러 남자에서 3.8%, 여자에서 10.5%로 감소하였다. 또한, 식후 에너지 소비량 증가율은 여자가 남자보다 높은 수준이었으나 식후 210분에서만 유의한 차이를 보였다.

5) 5시간 누적된 식사성 발열효과 (TEF)는 남자가 51.5 kcal/5 h로 여자의 50.5 kcal/5 h와 유의한 차이를 보이지 않았고, 에너지섭취량으로 보정한 식사성 발열효과인 TEF%도 남자 (6.6%)와 여자 (8.1%) 간에 유의한 차이가 없었다. 그러나, 체중으로 보정한 TEF% (남자 0.095%, 여자 0.152%)와 제지방량으로 보정한 TEF% (남자 0.120%, 여자 0.213%)는 남자가 여자보다 유의하게 낮은 수준이었다.

6) 에너지섭취량으로 보정한 탄수화물의 산화량은 남자 (58.6 mg/kcal/5 h)가 여자 (86.6 mg/kcal/5 h)보다 유의하게 낮았으나, 지방의 산화량은 남자(32.9 mg/kcal/5 h)가 여자 (17.2 mg/kcal/5 h)보다 유의하게 높았다. 한편, 식후 탄수화물 산화의 상대적 백분율 (%)은 남자가 평균 37%로 여자의 평균 61%보다 유의하게 낮았으나, 식후 지방 산화의 상대적 백분율의 평균값은 남자 (63%)가 여자 (39%)보다 유의하게 높았다.

이상의 결과를 종합해 보면, 신체조성이 다른 남녀의 에너지대사를 비교함에 있어 체중 및 제지방량을 보정했을 때 휴식대사량은 성별 간에 차이를 보이지 않았으나 식사성 발열효과는 성별 간에 유의한 차이를 보였다. 즉, 휴식대사량은 성별

에 상관없이 체중과 제지방량에 직접적인 영향을 받으나, 식사성 발열효과는 신체조성보다는 남녀의 식후 영양소 대사의 차이에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 각 영양소 대사에서 성별 간의 차이를 살펴보면 탄수화물의 산화율은 체중이나 제지방량과는 상관없이 여자가 남자보다 높은 것으로 나타난 반면, 지방의 산화율은 체중이나 제지방량으로 보정했을 때 남녀 간에 차이를 보이지 않아 이들 요인에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한, 영양소 산화의 상대적 백분율에서 식후에 남자의 경우 지방 산화의 상대적 백분율이 증가되는 반면에 여자의 경우 탄수화물 산화의 상대적 백분율이 증가되는 것으로 나타났다. 따라서, 1일 에너지필요량의 30%에 해당되는 식사를 섭취했을 때 식사성 발열효과를 발생시키는 에너지원으로 남자는 지방을, 여자는 탄수화물을 주로 사용하고 있음을 알 수 있었다. 이처럼 동일한 식사를 섭취하여도 남자보다 여자가 지방을 체내에 축적하는 경향이 크므로 체중감량 프로그램에서 식단을 계획할 때 여자에게서 지방 산화율을 높일 수 있는 식사의 구성에 대한 심도깊은 연구가 요구된다.

Literature cited

- World Health Organization. Obesity and overweight; 2011. Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/>
- Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control and Prevention. Korea Health Statistics 2009: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES IV-3); 2010
- Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control and Prevention. Korea Health Statistics 2005: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES III); 2006
- Lönnqvist F, Thörne A, Large V, Arner P. Sex differences in visceral fat lipolysis and metabolic complications of obesity. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 1997; 17(7): 1472-1480
- Wajchenberg BL. Subcutaneous and visceral adipose tissue: their relation to the metabolic syndrome. *Endocr Rev* 2000; 21(6): 697-738
- Chumlea WC, Guo SS, Kuczmarski RJ, Flegal KM, Johnson CL, Heymsfield SB, Lukaski HC, Friedl K, Hubbard VS. Body composition estimates from NHANES III bioelectrical impedance data. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2002; 26(12): 1596-1609
- Pietrobelli A, Allison DB, Heshka S, Heo M, Wang ZM, Bertkau A, Laferrère B, Rosenbaum M, Aloia JF, Pi-Sunyer FX, Heymsfield SB. Sexual dimorphism in the energy content of weight change. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2002; 26(10): 1339-1348
- Greeno CG, Wing RR. Stress-induced eating. *Psychol Bull* 1994; 115(3): 444-464
- Choi SH, Jo MW, Shin DS. Effects of the 8-week resistance exercise on body composition, serum hormone profiles and feeding patterns of obese females. *Korean J Nutr* 2004; 37(10): 888-898
- The Korean Nutrition Society. Dietary reference intakes for Koreans, 1st revision. Seoul; 2010
- Schutz Y, Bessard T, Jèquier E. Diet-induced thermogenesis measured over a whole day in obese and nonobese women. *Am J Clin Nutr* 1984; 40(3): 542-552
- Granata GP, Brandon LJ. The thermic effect of food and obesity: discrepant results and methodological variations. *Nutr Rev* 2002; 60(8): 223-233
- Tentolouris N, Pavlatos S, Kokkinos A, Perrea D, Pagoni S, Katsilambros N. Diet-induced thermogenesis and substrate oxidation are not different between lean and obese women after two different isocaloric meals, one rich in protein and one rich in fat. *Metabolism* 2008; 57(3): 313-320
- Wu BN, O'Sullivan AJ. Sex differences in energy metabolism need to be considered with lifestyle modifications in humans. *J Nutr Metab* 2011; 2011: 391809. Epub 2011 Jun 6. doi: 10.1155/2011/391809
- Jensen MD. Gender differences in regional fatty acid metabolism before and after meal ingestion. *J Clin Invest* 1995; 96(5): 2297-2303
- Uranga AP, Levine J, Jensen M. Isotope tracer measures of meal fatty acid metabolism: reproducibility and effects of the menstrual cycle. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2005; 288(3): E547-E555
- Karst H, Steiniger J, Noack R, Steglich HD. Diet-induced thermogenesis in man: thermic effects of single proteins, carbohydrates and fats depending on their energy amount. *Ann Nutr Metab* 1984; 28(4): 245-252
- Zhou BF, Stamler J, Dennis B, Moag-Stahlberg A, Okuda N, Robertson C, Zhao L, Chan Q, Elliott P; INTERMAP Research Group. Nutrient intakes of middle-aged men and women in China, Japan, United Kingdom, and United States in the late 1990s: the INTERMAP study. *J Hum Hypertens* 2003; 17(9): 623-630
- DuBois D, DuBois EF. Fifth paper the measurement of the surface area of man. *Arch Intern Med* 1915; 15: 868-881
- Compher C, Frankenfield D, Keim N, Roth-Yousey L; Evidence Analysis Working Group. Best practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: a systematic review. *J Am Diet Assoc* 2006; 106(6): 881-903
- Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* 1949; 109(1-2): 1-9
- Westerterp-Plantenga M, Diepvens K, Joosen AM, Bérubé-Parent S, Tremblay A. Metabolic effects of spices, teas, and caffeine. *Physiol Behav* 2006; 89(1): 85-91
- Oh SH, Park JJ, Choi IS, Ro HK. Effects of cellulose and pectin on diet-induced thermogenesis in young women. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2007; 36(2): 194-200
- Matthews JN, Altman DG, Campbell MJ, Royston P. Analysis of serial measurements in medical research. *BMJ* 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
- Reed GW, Hill JO. Measuring the thermic effect of food. *Am J Clin Nutr* 1996; 63(2): 164-169
- Péronnet F, Massicotte D. Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Can J Sport Sci* 1991; 16(1): 23-29
- McGilvery RW, Goldstein G. Biochemistry. A functional approach. Philadelphia: Saunders; 1983. p.810-976
- Webb P. Energy expenditure and fat-free mass in men and women. *Am J Clin Nutr* 1981; 34(9): 1816-1826
- Park JA, Kim KJ, Kim JH, Park YS, Koo J, Yoon JS. A comparison of the resting energy expenditure of Korean adults using indirect calorimetry. *Korean J Community Nutr* 2003; 8(6): 993-1000

- 31) Lee GH, Kim MH, Kim EK. Accuracy of predictive equations for resting metabolic rate in Korean college students. *Korean J Community Nutr* 2009; 14(4): 462-473
- 32) Levine JA. Measurement of energy expenditure. *Public Health Nutr* 2005; 8(7A): 1123-1132
- 33) Weststrate JA. Resting metabolic rate and diet-induced thermogenesis: a methodological reappraisal. *Am J Clin Nutr* 1993; 58(5): 592-601
- 34) Visser M, Deurenberg P, van Staveren WA, Hautvast JG. Resting metabolic rate and diet-induced thermogenesis in young and elderly subjects: relationship with body composition, fat distribution, and physical activity level. *Am J Clin Nutr* 1995; 61(4): 772-778
- 35) Ro HK, Choi IS, Oh SH. Effects of high carbohydrate, high fat and protein meal on postprandial thermogenesis in young women. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2005; 34(8): 1202-1209
- 36) Jéquier E, Acheson K, Schutz Y. Assessment of energy expenditure and fuel utilization in man. *Annu Rev Nutr* 1987; 7: 187-208
- 37) 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
- 38) Schutz Y, Flatt JP, Jéquier E. Failure of dietary fat intake to promote fat oxidation: a factor favoring the development of obesity. *Am J Clin Nutr* 1989; 50(2): 307-314
- 39) Koutsari C, Sidossis LS. Effect of isoenergetic low- and high-carbohydrate diets on substrate kinetics and oxidation in healthy men. *Br J Nutr* 2003; 90(2): 413-418
- 40) Sidossis LS, Wolfe RR. Glucose and insulin-induced inhibition of fatty acid oxidation: the glucose-fatty acid cycle reversed. *Am J Physiol* 1996; 270(4 Pt 1): E733-E738