

한국인 젊은 여성에서 셀룰로오스 및 펙틴이 식이성 발열효과에 미치는 영향

오승호¹ · 박정진¹ · 최인선¹ · 노희경^{2*}

¹전남대학교 식품영양학과

²동신대학교 식품과학과

Effects of Cellulose and Pectin on Diet-induced Thermogenesis in Young Women

Seung-Ho Oh¹, Jeong-Jin Park¹, In-Seon Choi¹ and Hee-Kyong Ro^{2*}

¹Dept. of Food and Nutrition, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

²Dept. of Food Science, Dongshin University, Naju 520-714, Korea

Abstract

The purpose of this study was to observe the effects of fiber-free control diet (CD), cellulose diet (CED) and pectin diet (PTD) on diet induced thermogenesis (DIT) in healthy Korean woman for 3 hours. The three test diets were as follows: CD (carbohydrate intake: 63.4% of energy, protein intake: 14.0% of energy and fat intake: 25.8% of energy), CED (carbohydrate intake: 62.5% of energy, protein intake: 14.0% of energy and fat intake: 26.1% of energy) and PTD (carbohydrate intake: 62.7% of energy, protein intake: 14.0% of energy and fat intake: 26.2 of energy). Groups were served 10 g of cellulose for CED and 10 g of pectin for PTD, respectively. DIT was measured at fasting state and at 30, 60, 90, 120, 150 and 180 min after consuming each diet. The mean age of all subjects was 22.3 ± 1.9 years. Body weight was 52.5 ± 8.6 kg and body mass index was 20.6 ± 2.7 kg/m². Preprandial resting energy expenditure was 0.79 ± 0.02 kcal/min and postprandial DIT were $14.05 \pm 0.62\%$ for CD, $9.33 \pm 0.62\%$ for CED, $11.07 \pm 1.35\%$ for PTD as a percentage of the energy load. DIT of CD was significantly higher than those of CED and PTD. There was no significant difference in postprandial change in body temperature after consuming each test diets and the sympathetic nervous system activity measured by heart rate was significantly higher in CD than CED and PTD ($p < 0.05$). With this study, it can be concluded that CED and PTD have significantly lowered in DIT ($p < 0.05$). We didn't show the correlation of the factors that relate in DIT; thus, further experiments on that matter should be followed.

Key words: cellulose, pectin, DIT (diet-induced thermogenesis), postprandial energy expenditure

서 론

인체 내 에너지 균형은 에너지 섭취와 소비로 이루어지는 데, 에너지 섭취는 음식물로부터 탄수화물, 단백질 및 지방 등 에너지 영양소의 공급을 통하여 이루어지며, 에너지 소비는 생명유지에 가장 기본적인 대사 활동에 필요한 기초대사량, 신체 활동을 위한 활동대사량과 식품을 섭취한 후 영양소의 소화, 흡수, 대사, 이동, 저장 및 식품 섭취에 따른 자율신경 활동의 증진 등에 소모되는 식이성 발열효과(diet-induced thermogenesis, DIT)로 구성된다(1).

일반적으로 성인에 있어 기초대사량은 전체 소비에너지 중 65~70%를 차지한다고 하며(2-4), 중등 정도의 노동을 하는 성인에 있어 활동대사량은 대략 30%를 차지한다고 하나 신체활동의 강도에 따라 달라지므로 운동 유형에 따른 다양한 활동대사량이 보고되어 있다. 이들에 비하여 DIT는 보통

혼합식 섭취의 경우 하루 총 에너지 섭취량의 약 10%를 차지한다고 하여, 보통 성인 집단의 에너지 소비량을 산출할 때 이들 자료가 인용되고 있으나 기초대사량 및 활동대사량에 비하여 미지의 점이 많다.

DIT는 식사에 의해 위장관의 자극이나 후각 및 식품에 대한 느낌으로 생성되는 뇌상(cephalic phase thermogenesis) DIT(5)와 영양소의 소화, 흡수, 대사 및 저장에서 생성되는 장상(gastrointestinal phase thermogenesis) DIT(6)로 구분된다. DIT에 영향을 미치는 요인으로는 식품을 섭취한 후 영양소의 소화, 흡수, 대사, 이동, 저장 및 식품 섭취에 따른 자율신경 활동의 증진 등을 위해 필수적인 요인(6)과 당내성, 인슐린 감수성, 체지방의 분포 및 교감신경계 활성화 등을 위한 임의적인 요인(7,8) 등이 있다.

장상 DIT에 관한 연구로 고단백질식사의 DIT가 고당질 식사보다 높다(9-12)는 보고, 신체를 덥게 하는 MSG 및

*Corresponding author. E-mail: hkro@dsu.ac.kr
Phone: 82-61-330-3220, Fax: 82-61-330-3999

capsaicin 등을 첨가하였을 시 높다(13,14)는 보고, 고체 식사가 액체 식사보다 높다(15)는 보고가 있는 반면, 식이섬유는 DIT를 낮춘다(16,17)는 보고가 있으며 DIT에 영향을 미치는 요인으로서 인슐린이 교감신경계를 자극하여 열발생을 증가시키므로 DIT의 결정적 인자라고 주장하는 보고(18) 등 섭취하는 식사의 구성 성분에 따라 많은 영향이 있음을 보고하고 있다.

한편 식이섬유는 인체 내 소화기관에서 소화효소에 의해 가수분해되지 않는 식물의 세포벽 및 세포에 함유된 성분으로 정의되며 물에 대한 용해도에 따라 펙틴, 겔과 같은 수용성 식이섬유와 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 또는 리그닌과 같은 불용성 식이섬유로 나뉘어진다.

이러한 비영양성 다당류가 동물의 소화기관 내에서 중요한 생리적 기능을 가지고 있고 체내의 주요 영양소 대사에 영향을 미쳐 건강 증진 및 당뇨병, 고지혈증, 비만 등의 질병 치유 효과가 입증됨에 따라 식이섬유 섭취를 증가하도록 권장하고 있으며 최소한 하루 20~25 g의 식이섬유 섭취를 권장하고 있다(19-22).

수용성 식이섬유는 식사 후 소화될 내용물이 장내를 통과할 때 그 자체가 수분을 흡수하여 부피가 커져있기 때문에 장에서 겔을 형성하여 점도가 높아지므로 소화된 영양소인 포도당, 아미노산, 지방 등의 흡수를 지연시키는 작용을 하여 식후에 포도당의 흡수가 서서히 이루어져 혈중 혈당치의 급격한 상승을 막게 됨으로써 당뇨병 환자의 포도당 내성을 증진시키는 효과(23)를 가지며, 또한 음식물이 위에 머무르는 시간을 증가시켜 포만감을 증대시켜주고 식품섭취량을 감소시키거나 식품 섭취 속도를 늦추어 비만증 예방이나 체중감소를 더 용이하게 하는 작용을 하는 것으로 알려져 있어 비만환자에게 풍부한 복합 탄수화물과 식이섬유 섭취를 유도하여 비만을 치료하고 있다(24,25).

한편 식이섬유를 다량 포함하고 있는 음식의 섭취증가는 당과 인슐린 작용의 변화를 가져오게 되어 DIT에 영향을 미치며(26), 식이섬유 섭취증가는 DIT를 감소시켰다(27)는 보고 및 식이섬유의 양을 달리하여 제공하였을 때 고식이섬유를 섭취한 군에서 저식이섬유를 섭취한 군에 비해 DIT가 낮아졌다(16)는 보고 등이 있다.

그러나 지금까지 DIT에 관한 연구는 당질, 단백질 및 지방 등 에너지 영양소의 구성비율(28-32)과 비소화산물인 섬유질의 함유율 별 몇몇의 연구(33,34)가 있을 뿐 현저하게 물리적인 성질이 다른 수용성 섬유질에 속하는 펙틴과 불용성 섬유질에 속하는 셀룰로오스를 첨가 급식시켰을 때 DIT에 미치는 효과에 관한 연구는 없다. 더욱이 한국인 영양섭취기준(35) 설정의 기초 자료가 되는 한국인을 대상으로 한 에너지소모량에 관한 연구가 국내에서 부족하고, 특히 DIT에 관한 연구는 최근 보고된 한국인 여성을 대상으로 한 연구(36)가 있을 뿐이다.

이에 본 연구에서는 식이섬유 제한식을 대조군으로 하여

불용성 식이섬유인 셀룰로오스와 수용성 식이섬유인 펙틴을 건강한 성인 여성에게 첨가 급식시켰을 때 에너지소모량을 관찰함으로써 수용성 및 불용성 식이섬유가 각각 DIT에 미치는 영향에 대하여 비교 관찰하였다.

내용 및 방법

실험대상자

실험대상자는 외견상 특기할 만한 이상이 없는 20~23세의 건강한 여대생으로 본 연구의 취지와 내용을 충분히 이해하고 협조할 수 있는 8명을 선정하였다. 각각의 대상자들은 임상증상의 이상유무와 신장, 체중 및 신체질량지수(body mass index: BMI) 등 신체 계측치를 통하여 실험대상자의 선정여부를 결정하였으며, 각 실험기간 별 실험 첫날과 마지막 날 대상자의 신체상황을 측정하였다. 모든 실험대상자들은 실험기간 중 가급적 평상시와 유사한 자연스러운 생활환경을 유지하도록 하였다.

실험식사 및 급식 관리

본 실험에 사용한 식사는 식이섬유 제한식(control diet: CD)을 대조군으로 하여 셀룰로오스를 함유하는 셀룰로오스 식(celulose diet: CED), 펙틴을 함유하는 펙틴식(pectin diet: PTD) 등 3가지를 사용하였으며, 실험식의 구성은 Table 1과 같았다. 이들 섭취량은 식품성분표에 의하여 계산하였다. 실험에 사용한 셀룰로오스는 (주)화경물산에서 구입하였고, 펙틴은 (주)삼익유가공에서 제공받아 사용하였다.

CD는 가급적 식이섬유소 함량이 낮은 흰 밀가루만으로 만든 롤 브레드와 크림스프를 섭취하도록 하였으며, CED는 흰 밀가루에 셀룰로오스를 첨가한 롤 브레드와 크림스프, PTD는 흰 밀가루에 펙틴을 첨가한 롤 브레드와 크림스프를 아침 한 끼에 각각 1인당 10 g이 되도록 조리하였다.

본 연구는 모든 대상자들이 각각 다른 날에 실험식을 모두 섭취하도록 하였고, 실험식의 선정은 무작위로 하였으며, 실험식에 대한 정보는 제공하지 않았다. 또한 실험식은 실험일 당일 아침식사로서 1회 급식하였다. 실험식의 조리 및 급식

Table 1. Energy and macronutrient composition of the test diets

	CD ¹⁾	CED ²⁾	PTD ³⁾
Energy (kcal)	425.5	427.9	426.7
Carbohydrate (% of energy)	63.4	62.5	62.7
Fat (% of energy)	14	14	14
Protein (% of energy)	25.8	26.1	26.2
Carbohydrate (g)	67.4	66.9	66.9
Fat (g)	12.2	12.4	12.4
Protein (g)	14.9	14.9	14.9
Dietary fiber (g)	-	10	10
Cellulose (g)	-	10	-
Pectin (g)	-	-	10

¹⁾CD: Control diet. ²⁾CED: Cellulose diet. ³⁾PTD: Pectin diet.

은 영양사 및 연구원의 엄격한 관리 하에 실시하였으며 일정한 장소에서 일정한 시간(아침 08:30)에 섭취하도록 하였다.

실험대상자들은 실험식 급여 전날 오후 8시 이후부터 금식토록 하였으며, 실험식 급여일 오전 7시 30분에 가급적 신체활동을 억제하기 위하여 숙소에서 승용차를 이용하여 실험실에 도착하도록 하였고, 즉시 신장, 체중 및 체지방량을 측정된 다음 반듯하게 누운 상태에서 잠들지 않은 상태로 30분 동안 안정을 취하게 하였다.

30분간 안정을 취한 후 주어진 식단표에 의하여 만들어진 실험식을 주어진 장소에서 비교적 일정한 시간(아침 08:30)에 섭취하도록 하였으며, 15분 동안 섭취하도록 시간을 일정하게 조절하였고 약 300 mL의 물을 제공하였다.

신체 계측

신장은 실험실 도착 후 맨발의 상태로 자연스럽게 직립 자세를 취하게 하고, 발뒤꿈치와 엉덩이, 어깨, 머리 뒷부분이 수직으로 일직선이 되도록 하고, 시선은 정면을 바라보고 수평이 되도록 하여 0.1 cm 단위까지 측정하였다. 체중은 매일 측정하였으며, 맨발로 측정기기 위에 표시된 지점에 정확히 올라서도록 하여 0.1 kg 단위까지 측정하였다.

체지방량은 체성분 측정기기(BCA-1000, Medigate, Korea)로 측정하였으며, 측정 전 대상자의 연령과 신장, 성별을 입력한 뒤 금속제품을 제거하고 가벼운 옷차림 상태에서 맨발로 표시된 지점에 정확히 올라서도록 하여 측정하였다. 체지방량은 생체전기저항법(Bioelectrical impedance analysis)을 이용하였고 0.1 kg 단위까지 측정하였다.

신장과 체중 모두 소수 첫째 자리까지 측정하고 다음의 공식에 대입하여 체질량 지수(body mass index, BMI)를 구하였다. $BMI = \text{body weight (kg)} / \text{height (m)}^2$

대사량 측정

대상자들의 휴식대사량(resting energy expenditure, REE) 및 DIT는 간접 열량계(AeroSport VO2000, Medigraphics, USA)를 사용하여 측정하였다. 대상자들은 각 실험식사 급식 직전 완전 공복 상태와 급식 후 30분, 60분, 90분, 120분, 150분 및 180분에 각각 정확히 10분간 침대에 누워 수면을 취하지 않으며 충분한 안정을 취하고 있는 상태에서 심박동 센서가 장착된 장치를 착용시키고, 마스크를 착용하여 가스 호흡분석기로 호흡하는 공기 내의 산소소비량과 이산화탄소 배출량을 10분 동안 측정된 후 측정 시작 1분 동안의 값을 제외하고, 나머지 값들의 평균을 휴식대사량으로 계산하였다. 휴식대사량보다 증가된 에너지를 DIT로 계산하였다.

$$DIT = (\text{postprandial energy expenditure} - \text{preprandial energy expenditure}) \times \text{time (min)}$$

식후 시간별 각각의 실험 성적은 공복 시의 기준치를 감한 증감량이며 실험식사 급식 후 각 시간별 실험 성적의 막대그림 면적과 공복 시 성적의 막대그림 면적의 차이를 모두 합한 값(integrated area under the curves: \int -AUC)으로 각 실험식사에 대한 성적을 비교 검토하였다.

통계처리

본 연구의 실험 결과는 SPSS(Statistical Package for the Social Science) 12.0 프로그램을 이용하여 각 실험군 별로 평균과 표준오차(mean \pm SE)를 구하였고, 실험군 간의 비교는 one-way ANOVA로 유의성을 확인한 후 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 사후 검정을 시행하였다.

결과 및 고찰

대상자들의 일반사항

모든 대상자들은 실험하는 동안 환경 및 주어진 식단에 잘 적응하였으며, 대상자들의 신체 상황은 Table 2와 같았다.

대상자들의 연령은 평균 22.3 ± 1.9 세이었으며 신장은 평균 159.7 ± 4.7 cm이었고, 체중은 평균 52.5 ± 8.6 kg이었다. 신장과 체중에 의한 체질량 지수는 20.6 ± 2.7 kg/m²으로 정상 범위(Dietary Reference Intakes for Koreans, 2005)에 속하였다(35). 대상자들의 체지방량은 41.8 ± 5.0 kg이었고, 체중에 대한 체지방율은 $19.6 \pm 8.3\%$ 이었다.

휴식대사량

각 실험식을 급식하기 직전 휴식대사량은 평균 0.79 ± 0.02 kcal/min($1,132.2 \pm 63.4$ kcal/day)이었다(Table 3). 최근 Ro 등(36)이 보고한 한국인 성인 여성 휴식대사량인 0.82 kcal/min($1,185$ kcal/day)와 유사하였다. 그러나 Chang과 Lee(37)가 보고한 여대생의 휴식대사량인 0.87 kcal/min 또는 Park 등(38)이 발표한 0.91 kcal/min나 Choi 등(39)의 1.09 kcal/min보다 낮은 경향이였다. 이는 간접열량계를 이용하는 경우 RQ(respiratory quotient) 값 산정을 위한 시점(time point)을 찾는 방법 및 대기(흡기) 중의 이산화탄소와 산소, 그리고 피험자 호기 중의 이산화탄소와 산소 농도를 측정 또는 계산하는 방법 등에 차이, 호기의 불완전 수집, 호흡 속도에 따른 RQ의 심한 변동, 측정 도중 기계조작 등에 의한 차이로 생각되어 직접적인 비교는 어렵다고 본다.

Table 2. Physical characteristics of the subjects

	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Body fat (%)	BMI ¹⁾ (kg/m ²)
Mean \pm SE ²⁾	22.3 ± 1.9	159.7 ± 4.7	52.5 ± 8.6	19.6 ± 8.3	20.6 ± 2.7

¹⁾Body Mass Index = weight (kg)/height (m)².

²⁾Values are means \pm standard errors.

Table 3. Resting energy expenditure before consuming each test diet

	kcal/day	kcal/min	kcal/kg/day
REE ¹⁾	1,132.2±63.4 ²⁾	0.79±0.0	21.6±0.0

¹⁾REE: Resting energy expenditure.

²⁾Values are means±standard errors.

본 실험에서 성별에 따라 신장, 체중과 나이를 적용한 Harris-Benedict 공식으로 구한 휴식대사량은 0.92±0.03 kcal/min(1,330 kcal/day)으로 실측 휴식대사량보다 높게 나타났는데 이는 Chang과 Lee(37)의 결과와 유사하다. 또한 Owen(40)의 연구에서도 Harris-Benedict 공식으로 구한 예측 기초대사량이 실측 휴식대사량보다 높게 나왔고 Dalderup 등(41)의 연구, Daly 등(42)의 연구와 기타 몇몇 연구(43,44)들에서도 유사한 결과였다. 이와 같이 Harris-Benedict 공식으로 산출한 기초대사량이 실측 휴식대사량보다 높게 나온 이유는 첫째, Harris와 Benedict의 연구가 이루어진 시점의 생활상과 지금과는 많이 다르다. 즉 식생활 향상은 체위향상뿐 아니라 수명이 길어짐에 따라 활동의 정도도 다르게 나타나며, 특히 나이가 주요 변수로 작용하는 Harris-Benedict 공식은 젊은 사람들에게서 높게 나오고, 나이가 든 사람에게서는 낮게 평가되는 기초대사량 산출의 문제점(40) 때문이라 생각된다. 그리고 Harris-Benedict 공식이 정상 체중인 사람들의 측정 결과(45)를 바탕으로 만들어졌기 때문에, 모든 사람들에게 적용하면 실측 휴식대사량에 가까운 결과를 얻기 어렵다는 제한점 이외에도 한국인의 체위와는 다른 대상자를 기준으로 만들어진 것이므로 한국인에 적합한 휴식대사량 산출 공식에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

식이성 발열효과

각 실험식사 급식 후 시간별 DIT의 변동량은 Table 4와 같았다. DIT는 식후 30분에 모든 군에서 현저하게 상승하였고, 이후 감소하는 양상이었다. 60분 이후부터 120분까지의 DIT는 식이섬유 첨가군인 CED와 PTD가 식이섬유 무첨가

Table 4. Incremental diet induced thermogenesis (DIT) after consuming each test diet (kcal/min)

Time	CD ¹⁾	CED ²⁾	PTD ³⁾
30 min	0.40±0.02 ⁵⁾	0.36±0.04	0.30±0.04
60 min	0.35±0.02 ^{ab6)}	0.24±0.02 ^b	0.24±0.03 ^b
90 min	0.34±0.02 ^a	0.21±0.02 ^b	0.25±0.03 ^b
120 min	0.34±0.02 ^a	0.25±0.02 ^b	0.24±0.03 ^b
150 min	0.31±0.02 ^a	0.18±0.02 ^b	0.25±0.04 ^{ab}
180 min	0.26±0.02 ^a	0.16±0.02 ^b	0.29±0.03 ^a
∫-AUC ⁴⁾	59.77±2.66 ^a	39.91±2.65 ^b	47.26±5.76 ^b

¹⁾CD: Control diet. ²⁾CED: Cellulose diet. ³⁾PTD: Pectin diet.

⁴⁾∫-AUC: Integrated area under the curve.

⁵⁾Values are means±standard errors.

⁶⁾Values with the different superscript letter in the same row are significantly different among the test diets (p<0.05).

군인 CD에 비하여 유의적으로 낮은 수준을 유지하였고, 이후 측정시간 종료 시까지 CED가 가장 낮은 DIT를 보였다.

휴식대사량에 비하여 증가된 DIT의 ∫-AUC는 CD, CED 및 PTD가 각각 59.77±2.66 kcal/min, 39.91±2.65 kcal/min 및 47.26±5.7 kcal/min을 기록하여, 식이섬유를 첨가하지 않은 CD에 비하여 셀룰로오스와 펙틴을 첨가한 CED 및 PTD가 유의적으로 낮은 성적을 보였다. 이는 각 실험식으로 섭취한 열량의 14.05±0.62%(CD), 9.33±0.62%(CED), 11.07±1.35%(PTD)에 해당한다.

DIT는 음식을 섭취한 후 공복 시보다 증가한 에너지 소비로 정의되며 식품의 섭취, 소화, 흡수, 운반, 저장, 식품의 이용 등에 이용되는데, Westerterp(28)는 건강한 성인이 혼합식을 섭취하였을 때의 DIT가 10%에 해당한다고 하였다. 또한 Westerterp-Plantenga 등(46)과 Mikkelsen 등(11)은 당질의 수준을 65%로 급식시킨 후 24시간에 측정된 DIT 값이 10.7%를 나타내었다고 보고하였으나 Raben 등(47)은 65%의 당질을 급식 후 5시간에 측정된 DIT가 7.1%를, Ro 등(36)은 65%의 당질을 함유한 일반식사 섭취 후 식후 3시간 동안의 DIT가 8.9%를 기록하여 본 실험에서 식이섬유를 첨가하지 않은 65%의 당질을 함유한 CD에서 DIT가 14.05±0.62%로 위의 결과들에 비해 다소 높은 결과를 나타내었는데 이는 식이적 차이 즉, 혼합식과 정제된 식이로 인한 결과로 생각된다.

본 연구에서 셀룰로오스와 펙틴을 급여한 식이섬유 첨가식이 식이섬유 제한식에 비해 DIT가 유의적으로 낮았다. 식이섬유가 DIT를 낮추는 기전으로는 전분 소화율의 저하, 소화된 음식물의 십이지장으로의 이동 속도 감소, 소장으로 확산되는 당류의 속도 감소 등(48)을 들 수 있다. 또한 혈당 대사의 식후 조절에 관련되는 장 호르몬의 분비조절, 말초조직의 인슐린 수용체의 증가, 인슐린 민감성의 증가, 위 배출 시간의 지연 등(49,50)도 관여하리라 생각된다.

Raben 등(16)이 고식이섬유와 저식이섬유를 급식시킨 10명의 건강한 대상자에게서 고식이섬유를 급식한 군이 유의적으로 DIT가 낮아졌다고 하였으며, Rytting 등(27) 역시 펙틴을 7 g/d 제공한 군과 플라스보를 제공한 군으로 나누어 DIT를 측정된 결과, 플라스보군에 비해 펙틴을 급식시킨 군에서 DIT가 1.3±1.7% 감소하였다고 하여 식이섬유의 첨가에 의해 DIT가 감소한 본 연구와 유사한 결과를 보고하였다. 또한 Sparti와 Milon(51)도 불용성 식이섬유인 셀룰로오스와 수용성 식이섬유인 펙틴을 혼합 첨가하여 급식시켰을 때 DIT가 감소하였다고 하였는데, 이는 식이섬유가 보수력이 커서 겔 형성으로 점도를 높이며, 그로 인해 음식물이 위에 머무르는 시간이 길어져 포만감을 주고, 영양소의 소화 흡수를 지연시키기 때문이라고 설명하였다(52).

본 연구에서는 각 식이섬유 첨가식 간의 식이섬유 함량을 동일하게 조절하여, 동일한 실험대상자를 대상으로 실험한 연구로 각 실험군 간의 DIT 결과로 보아 식이섬유의 첨가로

Table 5. Incremental heart rate after consuming each test diet (beats/min)

Time	CD ¹⁾	CED ²⁾	PTD ³⁾
30 min	11.25±0.88 ^{5)a6)}	8.31±0.69 ^{b)}	8.34±0.84 ^{b)}
60 min	11.02±1.21	7.81±2.18	7.25±0.94
90 min	9.84±1.25	7.75±1.42	7.22±0.65
120 min	10.98±1.15	9.27±1.74	7.19±0.78
150 min	9.84±1.10 ^{a)}	5.22±0.62 ^{b)}	3.72±0.90 ^{b)}
180 min	7.30±1.60 ^{a)}	4.59±0.87 ^{ab)}	2.50±0.65 ^{b)}
Δ-AUC ⁴⁾	1,686.6±152.83 ^{a)}	1,130.63±81.11 ^{b)}	1,109.06±95.15 ^{b)}

¹⁾CD: Control diet. ²⁾CED: Cellulose diet. ³⁾PTD: Pectin diet.

⁴⁾Δ-AUC: Area under the curve.

⁵⁾Values are means±standard errors.

⁶⁾Values with the different superscript letter in the same row are significantly different among the test diets (p<0.05).

DIT가 유의적으로 낮아졌으나 불용성 식이섬유인 셀룰로오스식과 수용성 식이섬유인 펙틴식에 있어서는 유의적인 차이는 없었다. 그러나 불용성 식이섬유인 셀룰로오스 첨가군에 비해 수용성 식이섬유인 펙틴 첨가군에서 3시간 동안의 DIT 면적의 합이 20% 정도 높은 것으로 보아 추후 더 많은 대상자를 한 연구가 필요할 것으로 생각한다

심박수와 체온

각 실험식을 급식하기 직전의 체온은 CD, CED 및 PTD가 각각 평균 36.24±0.08°C, 36.28±0.06°C, 36.23±0.06°C이었고, 공복 시의 심박수는 각각 59.25±2.65 beat/min, 63.50±3.36 beat/min, 60.13±3.60 beat/min이었으며, 각 실험시간 유의적인 차이는 없었다. 각 실험식사 급식 후 시간별 심박수 변화값과 체온의 변화값은 Table 5 및 Table 6과 같았다. 실험식사 섭취에 따른 심박수의 공복 시에 대한 변화정도는 CD, CED 및 PTD 모두 30분에 최고치를 보였다가 비교적 감소하는 경향을 보였는데, 그 정도가 DIT의 변화 정도와 유사하였으나 유의적인 상관성은 없었다.

Schwartz 등(53)은 식후 교감신경계가 증가하게 되는데, 특히 당질의 섭취에 의해 증가하였다가 공복시에 교감신경계의 작용이 급격히 감소하였다고 하여 DIT와 교감신경계의 상관성을 보고한 바 있다. 그러나 Marques-Lopes 등(29)은 고당질식을 섭취한 경우에 공복시에 비하여 교감신경계의 지속적인 상승이 있었으나 DIT와의 상관성이 없었

Table 6. Incremental body temperature after consuming each test diet (°C)

Time	CD ¹⁾	CED ²⁾	PTD ³⁾
30 min	0.22±0.04 ⁵⁾	0.21±0.03	0.21±0.03
60 min	0.13±0.05	0.17±0.03	0.07±0.05
90 min	0.11±0.06	0.12±0.02	0.00±0.03
120 min	0.30±0.04	0.20±0.03	0.19±0.03
150 min	0.29±0.07	0.20±0.05	0.15±0.03
180 min	0.28±0.06	0.26±0.04	0.17±0.04
Δ-AUC ⁴⁾	36.19±8.99	31.03±4.78	19.03±3.94

¹⁾CD: Control diet. ²⁾CED: Cellulose diet. ³⁾PTD: Pectin diet.

⁴⁾Δ-AUC: Area under the curve.

⁵⁾Values are means±standard errors.

Values are not significantly different among experimental diets (p<0.05).

다고 하였고, Nagai 등(30)은 일본인을 대상으로 평가한 고당질식에서 심박수로 측정된 교감신경계에 미치는 영향이 없었다고 하여 DIT 결과가 심박수로 측정된 교감신경계의 변화와 유의적 상관성을 보이지 않은 본 연구결과와 같았다.

또한 본 연구에서는 실험식사 섭취에 따른 체온의 공복 시에 대한 변화정도가 CD, CED 및 PTD 모두 30분에 증가하였다가 이후 감소하여 DIT의 경향과 유사하였으나, 세 군 모두 90분 이후 뚜렷한 증가를 보여 DIT와의 상관성이 유의적이지 않았다. 그러므로 이의 결과를 보완할 추후 연구가 필요할 것으로 생각한다.

식이성 발열효과와 심박수, 체온 및 체조성과의 상관성

Table 7과 같이 실험식의 섭취에 따른 DIT의 생성과 심박수, 체온, 체중, 체지방량, 체지방률, 체지방량 및 BMI와의 상관성을 살펴본 결과는 다음과 같았다. DIT는 신체조성 및 심박수, 체온과는 상관성을 보이지 않았다.

Marques-Lopes 등(29)은 DIT가 체지방률과 음의 상관성을 보인 반면, 체지방조직과 양의 상관성을 보였다고 하였는데 본 연구에서 DIT는 체지방률, 체지방 등에 있어 상관성을 보이지 않았다. 이는 대상자들의 체중, 체지방량, 체지방률, 체지방량, BMI 등의 구성 비율이 다소 차이가 있고, 8명으로 제한된 실험 환경에 의한 결과로 생각된다. 따라서 DIT에 영향을 미치는 여러 요인과의 상관성을 밝힐 수 있는 다양한 조건에서의 추후 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Table 7. Pearson's coefficients among diet induced thermogenesis, heart rate, body temperature and body composition

	DIT ¹⁾	Heart rate	Body temperature	Body weight	Body fat	% Body fat	LBM
Heart rate (beats/min)	0.104						
Body temperature (°C)	-0.280	0.190					
Body weight (kg)	-0.367	0.043	0.096				
Body fat (kg)	-0.235	0.070	0.182	0.843**			
% Body fat	-0.145	0.035	0.204	0.697**	0.971**		
LBM ²⁾	-0.361	-0.004	-0.047	0.783**	0.326	0.108	
BMI ³⁾	-0.337	0.067	0.177	0.922**	0.956**	0.870**	0.509*

¹⁾DIT: diet induced thermogenesis (cal/min). ²⁾LBM: Lean body mass (kg). ³⁾BMI: Body mass index {weight (kg)/height (m)²}.

*p<0.05, **p<0.01.

요 약

본 연구에서는 불용성 식이섬유인 셀룰로오스와 수용성 식이섬유인 펙틴이 식사성 열생성에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 건강한 여자 대학생을 대상으로 식이섬유 제한식인 CD를 대조군으로 셀룰로오스식인 CED, 펙틴식인 PTD를 급식시켜 식후 3시간 동안의 DIT와 체온, 심박수를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 대상자들의 나이는 평균 22.3 ± 1.9 세이었고, 신장과 체중은 각각 평균 159.7 ± 4.7 cm 및 52.5 ± 8.6 kg이었다. 대상자들의 휴식대사량은 평균 0.79 ± 0.02 kcal/min이었다. 시간에 따른 DIT는 모든 실험식에서 식후 30분에 최고치를 나타내었다가 이후 감소하는 경향이였다. 실험식사 섭취 후 3시간 동안 측정된 DIT의 반응면적(Δ -AUC)은 CD, CED 및 PTD가 각각 59.77 ± 2.66 kcal, 39.91 ± 2.65 kcal 및 47.26 ± 5.76 kcal를 기록하여 섭취한 열량의 $14.05 \pm 0.62\%$, $9.33 \pm 0.62\%$ 및 $11.07 \pm 1.35\%$ 이었다. 식이섬유를 첨가한 실험군인 CED와 PTD가 CD에 비해 식후 3시간 동안의 DIT가 유의적으로 낮았으나, 식이섬유간 DIT는 유의적인 차이가 없었다. 실험식사 섭취 후 3시간 동안 측정된 체온의 반응면적(Δ -AUC)은 실험식 간에 유의한 차이가 없었으나, 심박수로 측정된 교감신경계는 CD가 CED 및 PTD에 비하여 유의적으로 높았고, 식이섬유 간의 차이는 없었다. 이상에서와 같이 동량의 종류를 달리하여 제공한 셀룰로오스식과 펙틴식이 식후 열생성을 유의적으로 낮추었다. 그러나 대상자의 심박수, 체온, 체조성과 같은 제요인과의 상관성을 밝히지 못하여, 이의 기전을 밝히기 위한 추후 연구가 필요하다.

문 헌

- Blackburn GL, Kandors BS. 1994. *Obesity pathophysiology, psychology and treatment*. Chapman & Hall, New York. p 39-79.
- Ravussin E, Bogardus C. 1989. Relationship of genetics, age, and physical fitness to daily energy expenditure and fuel utilization. *Am J Clin Nutr* 49: 968-975.
- Kiorsis DN, Durak I, Turpin G. 1999. Effects of a low calorie diet on resting metabolic rate and serum tri-iodothyronine levels in obese children. *Eur J Pediatr* 158: 446-450.
- Astrup A, Buemann B, Toubro S, Ranneries C, Raben A. 1996. Low resting metabolic rate in subjects predisposed to obesity: a role for thyroid status. *Am J Clin Nutr* 63: 879-883.
- LeBlanc J, Cabanac M, Samson P. 1984. Reduce postprandial heat production with gavage as compared with meal feeding in human subjects. *Am J Physiol* 246: 95-101.
- Acheson KJ, Ravussin E, Wahren J, Jequier E. 1984. Thermic effect of glucose in man: obligatory and facultative thermogenesis. *J Clin Invest* 74: 1572-1580.
- Astrup A, Bulow J, Christensen NJ, Madsen J, Quaade F. 1986. Facultative thermogenesis induced by carbohydrates: a skeletal muscle component mediated by epinephrine. *Am J Physiol* 250: 226-229.
- Schwarz RS, Jaeger LF, Veith RC. 1988. Effect of clonidine on the thermic effect of feeding in humans. *Am J Physiol* 254: 90-94.
- Westertep KR, Wilson SAJ, Rolland V. 1999. Diet induced thermogenesis measured over 24 h in a respiration chamber: effect of diet composition. *Int J Obes* 23: 287-292.
- Luscombe ND, Clifton PM, Noakes M, Parker B, Wittert G. 2002. Effects of energy-restricted diets containing increased protein on weight loss, resting energy expenditure, and the thermic effect of feeding in type 2 diabetes. *Diabetes Care* 25: 652-657.
- Mikkelsen PB, Toubro S, Astrup A. 2000. Effect of fat-reduced diets on 24-h energy expenditure: comparisons between animal protein, vegetable protein, and carbohydrate. *Am J Clin Nutr* 72: 1135-1141.
- Crovetti R, Porrini M, Santangelo A, Testolin G. 1998. The influence of thermic effect of food on satiety. *Eur J Clin Nutr* 52: 482-488.
- Naim M, Ohara I, Kare MR, Levinson M. 1991. Interaction of MSG taste with nutrition: perspectives in consummatory behavior and digestion. *Physiol Behav* 49: 1019-1024.
- Ohnuki K, Niwa S, Maeda S, Inoue N, Yazawa S, Fushiki T. 2001. CH-19 sweet, a non-pungent cultivar of red pepper, increased body temperature and oxygen consumption in humans. *Biosci Biotechnol Biochem* 65: 2033-2036.
- Peracchi M, Santangelo A, Conte D, Fraquelli M, Tagliabue R, Gebbia C, Porrini M. 2000. The physical state of a meal affects hormone release and postprandial thermogenesis. *Br J Nutr* 83: 623-628.
- Raben A, Christensen NJ, Madsen J, Holst JJ, Astrup A. 1994. Decreased postprandial thermogenesis and fat oxidation but increased fullness after a high-fiber meal compared with a low-fiber meal. *Am J Clin Nutr* 59: 1386-1394.
- Le Goff G, Le Groumellet L, van Milgen J, Dubois S, Noblet J. 2002. Digestibility and metabolic utilization of dietary energy in adult sow: influence of addition and origin of dietary fibre. *Br J Nutr* 87: 325-335.
- Vollenweider P, Tappy L, Randin D, Schneiter P, Jequier E, Nicod P, Scherrer U. 1993. Differential effects of hyperinsulinemia and carbohydrate metabolism on sympathetic nerve activity and blood flow in humans. *J Clin Invest* 92: 147-154.
- Salmeron J, Manson JE, Stampfer MJ, Colditz G, Wing AL, Willett WC. 1997. Dietary fiber, glycemic load, and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women. *JAMA* 277: 472-476.
- Trowell H. 1974. Definitions of fiber. *Lancet* 303: 503.
- Marlett JA. 1990. *Dietary fiber, definition and determination*. Center for Academic Publication, Tokyo, Japan. p 4-14.
- Helena GML, Anna KEF, Inger MEB. 1999. Effects of the glycemic index and content of indigestible carbohydrate of cereal-based breakfast meals on glucose tolerance at lunch in healthy subjects. *Am J Clin Nutr* 69: 647-655.
- Torsdottir J, Alpsten M, Holm G, Sandberg AS, Tolli J. 1991. A small dose of soluble alginate fiber affects postprandial glycemia and gastric emptying in humans with diabetes. *J Nutr* 121: 795-799.
- Dabai FD, Walker AF, Sambrook IE, Welch VA, Owen RW, Abeyasekera S. 1996. Comparative effects on blood lipids and faecal steroids of five legume species incorporated into a semi-purified hypercholesterolaemic rat diet. *Br J Nutr* 75: 557-571.
- Xu H, Tan SM, Li SQ. 2001. Effects of soybean fibers on blood sugar, lipid levels and hepatic-nephritic histomorphology in mice with diabetes mellitus. *Biomed Environ*

- Sci* 14: 256-261.
26. Scalfi L, Coltorti A, D'Arrigo E. 1987. Effect of dietary fibre on postprandial thermogenesis. *Int J Obes* 11(suppl 1): 95-99.
 27. Rytting KR, Lammert O, Nielsen E, Poulsen K. 1990. The effect of a soluble dietary fibre supplement on 24-hour energy expenditure during a standardized physical activity programme. *Int J Obes* 14: 451-455.
 28. Westerterp KR. 2004. Diet induced thermogenesis. *Nutrition and Metabolism* 1: 1-5.
 29. Marques-Lopes I, Forga L, Martinez JA. 2003. Thermogenesis induced by a high-carbohydrate meal in fasted lean and overweight young men: insulin, body fat, and sympathetic nervous system involvement. *Nutrition* 19: 25-29.
 30. Nagai N, Sakane N, Hamada T. 2005. The effect of a high-carbohydrate meal on postprandial thermogenesis and sympathetic nervous system activity in boys with a recent onset of obesity. *Metab Clin Exp* 54: 430-438.
 31. Luscombe ND, Parker B, Clifton PM, Witter G, Noakes M. 2002. Effects of energy-restricted diets containing increased protein on weight loss, resting energy expenditure, and the thermic effect of feeding in type 2 diabetes. *Diabetes Care* 25: 652-657.
 32. Soucy J, Leblanc J. 1999. Protein meals and postprandial thermogenesis. *Physiol Behav* 65: 705-709.
 33. Goff GL, Dubois S, Noblet J. 2002. Digestibility and metabolic utilisation of dietary energy in adult sows: influence of addition and origin of dietary fibre. *Br J Nutr* 87: 325-335.
 34. Roben A, Tagliabue A, Madsen J. 1994. Resistant starch: the effect on postprandial glycemia, hormonal response, and satiety. *Am J Clin Nutr* 60: 544-551.
 35. The Korean Nutrition Society. 2005. *Dietary Reference Intakes for Koreans*. The Korean Nutrition Society, Seoul.
 36. Ro H-K, Choi I-S, Oh S-H. 2005. Effects of high carbohydrate, high fat and protein meal on postprandial thermogenesis in young women. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 1202-1209.
 37. Chang U-J, Lee K-R. 2005. Correlation between measured resting energy expenditure and predicted basal energy expenditure in female college students. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 196-201.
 38. Park JA, Kim KJ, Kim JH, Park YS, Koo JO, Yoon JS. 2003. A comparison of resting energy expenditure of Korean adults using indirect calorimetry. *Korean J Community Nutrition* 8: 993-1000.
 39. Choi HJ, Song JM, Kim EK. 2005. Assessment of daily steps, activity coefficient, body composition, resting energy expenditure and daily energy expenditure in female university students. *J Kor Diet Assoc* 11: 159-169.
 40. Owen OE. 1988. Resting metabolic requirements of men and women. *Mayo Clin Proc* 63: 503-510.
 41. Dalderup LM, Opdam-Stockman VA, Rechsteiner-de Vos H. 1996. Basal metabolic rate, anthropometric, electrocardiographic, and dietary data relating to elderly persons. *J Gerontol* 21: 22-26.
 42. Daly JM, Heymsfield SB, Head CA, Harvey LP, Nixon DW. 1995. Human energy requirements: overestimation by widely used prediction equation. *Am J Clin Nutr* 42: 1170-1174.
 43. Pavlou KN, Hoefler MA, Blackburn GL. 1986. Resting energy expenditure in moderate obesity: predicting velocity of weight loss. *Ann Surg* 203: 136-141.
 44. Mifflin MD, Hill LA, Scott BJ, Daugherty SA, Koh YO. 1990. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am J Clin Nutr* 51: 241-247.
 45. Cunningham JJ. 1991. Body composition as a determinant of energy expenditure: a synthetic review and a proposed general prediction equation. *Am J Clin Nutr* 54: 963-969.
 46. Westerterp-Plantenga MS, Rolland V, Wilson SAJ, Westerterp KR. 1999. Satiety related to 24 h diet-induced thermogenesis during high protein/carbohydrate vs high fat diets measured in a respiration chamber. *Eur J Clin Nutr* 53: 495-502.
 49. Raben A, Agerholm-Larsen L, Flint A, Holst JJ, Astrup A. 2003. Meals with similar energy densities but rich in protein, fat, carbohydrate, or alcohol have different effects on energy expenditure and substrate metabolism but not on appetite and energy intake. *Am J Clin Nutr* 77: 91-100.
 48. Rosado JL, Diaz M. 1995. Physicochemical properties related to gastrointestinal function of 6 sources of dietary fiber. *Rev Invest Clin* 47: 283-289.
 49. Spiller RC. 1994. Pharmacology of dietary fiber. *Pharmacol Ther* 62: 407-427.
 50. Braaten JT, Scott FW, Wood PJ, Riedel KD, Wolynetz MS, Brule D, Collins MW. 1994. High beta-glucan oat bran and oat gum reduce postprandial blood glucose and insulin in subjects with and without type 2 diabetes. *Diabet Med* 11: 312-318.
 51. Sparti A, Milon H. 2000. Effect of diets high or low in unavailable and slowly digestible carbohydrates on the pattern of 24-h substrate oxidation and feelings of hunger in human. *Am J Clin Nutr* 72: 1461-1468.
 52. Torsdottir J, Alpsten M, Holm G, Sandberg AS, Tolli J. 1991. A small dose of soluble alginate fiber affects postprandial glycemia and gastric emptying in humans with diabetes. *J Nutr* 121: 795-799.
 53. Schwartz MW, Baskin DG, Kaiyala KJ, Woods SC. 1999. Model for the regulation of energy balance and adiposity by the central nervous system. *Am J Clin Nutr* 69: 584-596.

(2006년 11월 8일 접수; 2007년 1월 6일 채택)