

식품 및 음식의 다량영양소 구성 성분에 따른 혈당 반응 연구*

박미현¹ · 정상진^{1†} · 심재은² · 장성희³ · 남기선³

¹국민대학교 식품영양학과, ²대전대학교 식품영양학과, ³(주)풀무원 풀무원기술원

Effects of macronutrients in mixed meals on postprandial glycemc response*

Park, Mi-Hyeon¹ · Chung, Sang-Jin^{1†} · Shim, Jae Eun² · Jang, Sung-Hee³ · Nam, Ki-Sun³

¹Department of Foods and Nutrition, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

²Department of Food and Nutrition, Daejeon University, Daejeon 34520, Korea

³Corporate Technology Office, Pulmuone Co., Ltd. Seoul 06367, Korea

ABSTRACT

Purpose: The aim of study was to determine the effects of carbohydrate, fat, protein, and fiber contents on glycemc responses in a single food item or meal. **Methods:** Glycemc responses were measured in 30 healthy young adults (17 males and 13 females) with various test foods, including rice, egg whites, bean sprouts, olive oil, noodles, prune, broccoli, Korean dishes, Western dishes, and salad dishes, etc. Test foods were designed to contain various carbohydrate, fat, protein, and fiber contents in single or mixed foods or dishes. After 12 hours of fasting, participants consumed test foods, and the glycemc response was measured for a subsequent 120 min (0, 15, 30, 60, 90, and 120 min). Three hundred and fifty three glycemc responses from 62 foods were collected. The incremental area under the curve (AUC) was calculated for each test food for each subject to examine glycemc responses. Statistical analysis was conducted to identify which macronutrient (carbohydrate, fat, protein and fiber) affected the AUC using a mixed model. **Results:** Carbohydrates ($\beta = 37.18$, $p < 0.0001$) significantly increased while fat ($\beta = -32.70$, $p = 0.0054$) and fiber ($\beta = -32.01$, $p = 0.0486$) significantly reduced the glycemc response. **Conclusion:** It can be concluded that the glycemc response of a meal can be modified depending on the fat and fiber contents of ingredient foods, even though carbohydrate content is maintained.

KEY WORDS: glucose response, area under the curve (AUC), mixed foods, glycemc index

서 론

최근 우리나라 국민들의 당뇨병, 심혈관질환 등 생활습관병이 지속적으로 증가하고 있는 추세이다.¹ 이는 지방 함량이 높은 서구식 식사의 도입이 주요 원인으로 알려져 왔으나 최근에는 고탄수화물 식사 특히 쌀밥 같은 정제된 곡물 식사에 의해서도 당뇨병, 심혈관질환, 비만 등 생활습관병의 위험이 높아진다는 연구 보고들이 제기되고 있다.^{1,2} 한국인들은 밥을 주식으로 하는 식습관뿐만 아니라 탄수화물이 주성분인 부식과 간식으로 인해 서양인들에 비해 섭취하고 있는 탄수화물 섭취량이 많은 특징을 가지고 있어 섭취하는 탄수화물로부터 유래된 에너지가 총 섭취 에너지의 약 64% (2013년 기준)로 알려져 있고, 특히 혈당

지수가 높은 탄수화물 식품을 많이 섭취하고 있는 것으로 보고되고 있다.^{3,4}

혈당지수 (glycemc index, GI)는 Jenkins 등에 의해 제안된 것으로 기준 식품 (포도당, 흰빵 등)과 동량의 탄수화물을 함유한 특정 식품의 혈당 반응 정도를 기준이 되는 식품의 혈당 반응 정도를 비교한 값이다.^{5,6} 이에 비해 혈당부하지수 (glycemc load, GL)는 혈당지수에 더하여 식품의 일반적인 1회 섭취량 즉, 당질의 양을 고려하여 섭취 후의 혈당 반응을 예측하는 값 (혈당지수 × 탄수화물 함량/1회 섭취량 ÷ 100)이다.⁷ 혈당지수와 혈당부하지수는 탄수화물이 포함된 식사나 식품이 혈당에 미치는 영향력을 알려주는 지표로 사용되고 있다. 혈당지수와 혈당부하지수가 체중 조절 및 당뇨병, 심혈관질환 등 생활습관병과 관련이 있다

Received: February 21, 2017 / Revised: April 5, 2017 / Accepted: January 24, 2018

* This research was supported by a grant from Pulmuone Co.

† To whom correspondence should be addressed.

tel: +82-2-910-4777, e-mail: chung@kookmin.ac.kr

© 2018 The Korean Nutrition Society

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

는 결과를 여러 연구가 보고하고 있어 최근 이에 대한 관심이 높아지고 있다.^{8,9} Liu 등은 혈당지수와 심혈관질환 사이에 유의적인 양의 상관관계가 있음을 보고하였고, Denova-Gutierrez 등은 혈당지수 또는 혈당부하지수가 낮은 식이를 한 경우보다 높은 식이를 한 경우 심혈관질환 위험이 각각 1.56배, 2.64배 높다고 보고하였다.^{10,11} 또한 Schulze 등의 연구에서는 식이 혈당지수 수준이 당뇨병 발생을 증가시키는 식이요인으로 밝혀졌으나 식이 혈당지수 수준이 높을지라도 곡류를 통한 식이섬유소 섭취량이 많을 경우 당뇨병 발병 위험을 낮추는 것으로 보고하였고, Barclay 등은 혈당지수가 높은 식이는 인슐린 저항성 증가와 인슐린 수요를 증가시켜 만성질환의 발생을 증가시키지만 혈당지수가 낮은 식이는 만성질환 위험을 줄이는데 효과적이라고 보고하고 있어 이에 혈당지수를 고려한 식사에 대한 관심이 매우 높다.^{12,13}

혈당 반응은 식품에 포함된 당질의 양에 가장 많은 영향을 받으나 같은 양의 탄수화물 식품을 섭취하더라도 대상자의 인종, 성별 및 신체적 특성, 식품의 품종 또는 조리법 등에 따라 다르게 나타나고 또한 탄수화물 종류, 다른 영양소 함량 등에 따라서도 혈당 반응이 달라진다고 보고되고 있다.^{2,6} 인체 내 혈당 반응은 또한 지방·단백질 등의 다량영양소 함량, 이용 가능한 탄수화물, 식이섬유소 등의 영향을 받아 서로 다른 속도로 소화, 흡수되기 때문에 식품에 따라 다르게 나타나며 특히 단일 식품이 아닌 다양한 식품을 함께 섭취한 혼합 식사의 영향은 더 크다.^{1,3} 그러나 지금까지는 이러한 여러 요인의 혈당 반응에 미치는 영향에 관한 연구가 많이 이루어지지 않았고, 특히 혼합 식사 후의 혈당 반응에 대한 자료가 많지 않은 실정이다. 대부분의 혈당 반응 연구는 탄수화물을 주성분으로 하는 단일 식품을 중심으로 이루어져 일반 혼합 식사의 혈당 반응을 알기 위해서는 일일이 측정해야 하나 이는 쉽지 않아 일반적으로 혼합식사의 혈당 반응은 이를 구성하는 각 식품의 혈당지수와 탄수화물 함량으로 대략적으로 예측하는 방법이 종종 사용되어져 왔다.^{14,15}

국내외의 연구들로부터 구축한 혈당지수 값을 이용하여 성인을 대상으로 국민건강영양조사의 24시간 회상법을 통해 개인별 혈당지수와 혈당부하지수를 계산한 결과의 평균은 각각 60.0, 182.5로 보고된 바 미국인의 58, 128.3에 비해 월등히 높다.¹ 그러나 Hätönen 등은 각 혼합식사를 할 때마다 일일이 식사의 혈당반응을 측정하기에 어렵다고 하여 혼합 식사의 혈당 반응을 예측하기 위해 이렇게 각 식품의 혈당지수와 탄수화물 양과 비율을 사용하여 계산하는 경우 실제 혈당지수와 잘 맞지 않는다고 보고하고 있으며 다른 영양소들이 혈당에 미치는 영향을 고려하지 않는

것도 그 이유가 될 수 있다고 제시하고 있다.¹⁶

단일식품이 아닌 혼합식사의 혈당반응에 대한 관심은 높아지고 있는데 기존의 혈당 반응 연구는 식사 중심보다는 탄수화물 급원식품에 치중되어 있어 실제 섭취 시 나타나는 혼합식사의 혈당반응 자료가 미비한데 이러한 연구조차 한국인을 대상으로 한 연구는 거의 없어 그에 대한 심도 깊은 연구가 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 한국 사람들을 대상으로 단일 식품 또는 다양한 식품으로 구성된 혼합 식사 섭취 후 이를 구성하는 탄수화물, 지방, 단백질, 식이섬유소가 혈당 반응에 미치는 영향을 알아보고 이를 통해 식사의 혈당반응을 예측하고 조절하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

연구방법

연구대상 및 기간

본 연구는 2014년 3월부터 12월까지 총 4차에 걸쳐 대상자를 모집하여 실험을 진행하였다. 대학교 내의 각 건물의 게시판 공고를 통하여 혈당 조절에 이상이 없고, 당뇨병 등 관련 질환이 없는 건강한 20대 성인을 모집하여 남자 17명, 여자 13명이 연구에 참여하였다.

대상자로 연구에 참여하기 전 대상자는 실험실을 방문하여 연구의 전반적인 설명을 듣고 자발적으로 연구 참여에 동의하였고, 대상자의 기초 정보 및 혈당 조절 관련 정보를 위해 당뇨병 가족력 여부, 현재 약물 복용여부, 식품 알레르기 여부, 실험 가능한 시간, 그 밖에 기타사항 등이 포함 되어 있는 사전조사에 참여하였다. 또한 혈당 조절 능력 장애 여부 (내당력 장애, 공복 시 포도당 장애)를 확인하기 위하여 포도당 50 g과 상온의 물 200 ml을 혼합하여 만든 포도당 용액으로 경구 당부하 검사 (oral glucose tolerance test, OGTT)를 실시하였다. 공복혈당 (정상기준: < 110 mg/dL)과 식후 2시간 후 혈당 (정상기준: < 140 mg/dL)이 기준을 벗어난 경우는 혈당 조절에 이상이 있다고 판단하였다. 신체 정보, 설문 조사, 혈당 조절 이상 여부 등을 바탕으로 비정상공복혈당수치, 내당불내증이나 당뇨병 진단력 등 혈당 조절에 문제가 있는 자, 식품 알레르기가 있는 자, 특이식사를 섭취하거나 약물을 복용하고 있는 자, 기타 담당 연구자가 대상자로 부적합하다고 판단되는 경우 연구 대상자에서 제외하였다.^{3,17} 본 연구는 국민대학교 생명윤리심의위원회 (IRB)의 승인 (승인번호 : KMU-201401-BR-007-01)을 받아 진행되었다.

연구식품 및 음식

연구식품 및 음식은 매일 1가지씩 섭취하였고 4차에 걸쳐

Table 1. Macronutrient component of test foods and dishes

Test foods and dishes (n) ¹⁾	AUC	Amounts of nutrients				
		Calorie (kcal)	Carbo- hydrate (g) (%kcal)	Fiber (g)	Fat (g) (%kcal)	Protein (g) (%kcal)
1 Clam chowder soup (4)	830	170	13 (30)	0	11 (58)	5 (12)
2 Fish cake (4)	788	115	14 (51)	3	2 (16)	9 (33)
3 Black rice cake (4)	1,468	80	18 (90)	0	0 (0)	2 (10)
4 Pineapple pizza (4)	1,739	150	22 (59)	1	4 (24)	6 (16)
5 Shrimp oatmeal risotto & pickle (3)	1,468	194	22 (37)	5	13 (49)	8 (14)
6 Hot dog (4)	1,415	195	25 (51)	1	8 (37)	6 (12)
7 Chocolate cookie (4)	1,609	200	25 (50)	1	10 (45)	3 (6)
8 Mediterranean diet salad (3)	1,754	214	28 (45)	11	9 (33)	14 (22)
9 Couscous green salad (3)	1,029	295	30 (34)	6	18 (46)	17 (19)
10 Acorn jelly salad cold soup (4)	3,176	135	31 (91)	6	0 (0)	3 (9)
11 Cheese & sweet potato burrito (4)	1,911	255	33 (51)	1	9 (32)	11 (17)
12 Mushroom cream soup (4)	1,910	250	34 (53)	2	10 (35)	8 (12)
13 Ratatouille pasta (3)	1,059	274	37 (48)	7	11 (32)	16 (21)
14 Shrimp shiitake mushroom pasta (3)	1,864	308	38 (51)	2	9 (27)	16 (22)
15 Madeleine (4)	2,777	270	40 (60)	0	10 (34)	4 (6)
16 Chicken wrap, vegetable stick, coleslaw, potato & broccoli roast (3)	2,355	316	40 (44)	4	15 (37)	17 (19)
17 Eggplant cashew nut pilaf (3)	3,095	257	43 (61)	1	9 (29)	7 (10)
18 Cooked rice (8)	2,543	194	43 (89)	3	1 (5)	3 (6)
19 Cooked rice, sesame oil, olive oil (6)	2,216	284	43 (61)	3	11 (35)	3 (4)
20 Cooked rice, spicy grilled spanish mackerel, boiled burdock & garlic, walnut salad, heugimja dressing (3)	2,738	368	43 (38)	11	22 (44)	20 (18)
21 Cooked rice, water kimchi, spicy grilled sole, salad & garlic, mustard (3)	2,690	313	44 (49)	3	14 (35)	15 (17)
22 Cooked rice, egg (3)	2,810	281	45 (64)	3	1 (3)	23 (33)
23 Chicken boiled in spiced sauce & cooked rice (3)	2,868	297	45 (54)	3	8 (22)	20 (24)
24 Dried pollack rice soup (4)	4,538	250	47 (74)	1	3 (11)	10 (16)
25 Cookred rice, boiled tofu (3)	2,353	355	47 (46)	4	17 (37)	18 (17)
26 Chicken rice soup (4)	4,793	240	48 (79)	1	2 (7)	8 (13)
27 Chicken deluxe rice, vegetable stick, stir-fried garlic & shrimp, shives sauce (12)	2,161	307	49 (64)	5	4 (12)	18 (24)
28 Prune (12)	1,506	315	50 (64)	0	10 (29)	6 (8)
29 Black noodles (22)	3,218	200	50 (96)	5	0 (0)	2 (4)
30 Cooked rice (22)	3,637	231	51 (89)	4	1 (4)	4 (7)
31 Cooked rice, vegetables tick, sweet & sour tofu, stir-fried chicken breast in hot sauce, tofu ssamjang (3)	2,544	333	52 (56)	6	9 (22)	20 (22)
32 Cooked rice, egg, sesame oil, olive oil, bean sprouts (10)	1,813	394	52 (50)	10	11 (24)	27 (26)
33 Noodles (12)	3,593	375	53 (57)	0	15 (36)	7 (7)
34 Red bean porridge (4)	4,214	275	55 (81)	15	1 (3)	11 (16)
35 Dumpling (4)	3,053	443	57 (50)	1	20 (40)	11 (10)
36 Cooked rice, grilled short rib patties, cucumber kimchi, tofu ssamjang (12)	2,464	356	57 (61)	5	8 (19)	18 (19)
37 Cooked rice, chicken black bean sauce, sweet and sour tofu, cold jellyfish salad, mustard sauce (3)	3,395	372	57 (57)	6	7 (16)	27 (27)
38 Hot dog 2 piece (4)	2,955	520	58 (45)	2	24 (42)	18 (14)
39 Cooked rice, marinated grilled beef slices, cucumber kimchi, tofu ssamjang (3)	3,875	384	58 (55)	5	13 (28)	19 (18)

1) n = subjects' number

Table 1. Macronutrient component of test foods and dishes (continued)

Test foods and dishes (n) ¹⁾	AUC	Amounts of nutrients				
		Calorie (kcal)	Carbo- hydrate (g) (%kcal)	Fiber (g)	Fat (g) (%kcal)	Protein (g) (%kcal)
40 Cooked rice, baked cherry tomato, stir-fried shirmp & broccoli, salad (3)	3,318	356	59 (57)	7	15 (33)	10 (10)
41 Bibimbap, soybean paste stew, white kimchi, red chili paste (3)	4,278	347	61 (67)	4	6 (15)	17 (19)
42 Black noodles, bean sprouts (12)	3,707	350	61 (63)	10	10 (23)	13 (13)
43 Kastuobushi udon (4)	4,519	340	62 (85)	0	1 (3)	9 (12)
44 Black noodles, broccoli (10)	3,595	392	62 (60)	11	11 (24)	16 (16)
45 Cooked rice, bean sprouts (10)	3,571	252	62 (82)	14	1 (3)	11 (15)
46 Cooked rice, broccoli (10)	4,065	306	63 (77)	14	2 (6)	14 (17)
47 Cirsium setidens cooked rice (4)	4,101	350	66 (75)	2	6 (15)	8 (9)
48 Deep-fried shrimp udon (4)	4,457	360	68 (76)	2	5 (13)	10 (11)
49 Cooked rice (12)	3,456	310	69 (87)	5	2 (6)	6 (8)
50 Cooked rice, sesame oil, olive oil (12)	3,603	404	69 (69)	5	11 (25)	6 (6)
51 Spaghetti (4)	3,401	415	70 (68)	2	10 (22)	11 (11)
52 Cooked rice, egg (12)	3,784	385	71 (73)	1	8 (19)	8 (8)
53 Chwinamul cooked rice (4)	6,589	401	71 (71)	5	2 (4)	25 (25)
54 Tteok-bokki (4)	4,778	330	75 (90)	2	1 (3)	6 (7)
55 Cooked rice, bean sprouts (12)	3,388	337	76 (84)	12	2 (5)	10 (11)
56 Cooked rice, sesame oil, olive oil, bean sprouts (2)	3,603	427	76 (69)	12	11 (22)	10 (9)
57 Cooked rice, egg, sesame oil, olive oil, bean sprouts (12)	2,351	514	78 (59)	12	11 (19)	30 (23)
58 Cooked rice, fiber (12)	4,033	316	80 (88)	15	2 (5)	6 (7)
59 Cooked rice, prune, black noodles (12)	3,983	530	100 (73)	4	12 (20)	9 (7)
60 Cooked rice, black noodles (12)	4,641	544	100 (71)	4	14 (22)	10 (7)
61 Prune, black noodles (12)	3,499	515	100 (77)	5	10 (17)	8 (6)
62 Cooked rice, prune (12)	2,576	430	100 (87)	8	4 (8)	6 (5)

1) n = subjects' number

총 62가지를 제공하였다. 같은 식품 및 음식을 먹은 경우의 대상자수는 2 ~ 22명으로 구성하였다. 연구식품 및 음식은 흰쌀밥, 계란흰자, 숙주나물, 참기름 + 올리브오일, 짜장라면, 라면, 푸른, 브로콜리, 분식류, 간식류, 면류, 비빔밥, 국밥, 한식, 양식, 샐러드 등으로 단독 또는 혼합으로 섭취하여 다양한 탄수화물 (13 ~ 100g), 단백질 (2 ~ 30g), 지방 (0 ~ 24g), 식이섬유소 (0 ~ 15g)를 함유한 식사구성이 되도록 계획하였다. 제공한 식품 및 음식의 구성성분은 Table 1과 같다. 연구식품 및 음식명은 우선 탄수화물 함량에 따라 오름차순으로 정렬하였고, 동일 탄수화물일 경우에는 식이 섬유, 지방, 단백질 함량 순서로 정렬한 후 번호를 부여하였다. 단일 식품을 섭취하였을 경우 대표적인 분류명으로 표시하였고, 혼합 식품의 경우는 혼합 식사로 표시하였다.

연구방법

실험에 참여하기 전 신체 계측과 바이오 임피던스를 이

용하여 체성분 분석 (Inbody720 · Biospace Co · Seoul · Korea)을 수행하여 신장과 체중, 체지방을 측정하였다. 모든 대상자는 실험 전날 12시간 동안 공복 후 실험실에 오전 08:00과 08:30 사이에 도착하여 5분 정도 안정된 상태로 휴식을 취한 뒤 공복혈당을 측정하였다. 공복혈당 측정 후 바로 식품 및 음식을 제공하여 섭취하도록 하였다. 식품 및 음식은 매일 1가지씩 제공하였고, 식사시간에 따른 오차를 줄이기 위하여 15분 이내로 섭취하도록 하였다. 식사 섭취 후 15분, 30분, 45분, 90분, 120분에 자가혈당측정기로 Fingertip capillary blood 방법을 사용하여 손가락 끝에서 미량의 혈액을 채혈하여 혈당검사를 시행하였다. 연구에 참여하는 2시간 동안 섭취하는 물은 연구에 영향을 줄 수 있다고 판단되어 100 ml 미만 섭취하는 것으로 제한하였고, 화장실 이외에 자리에서 움직이는 것 또한 제한하였다.

혈당 측정 실험 절차는 Brouns 등에 서술하고 있는 방법

을 적용하였다.¹⁷ 혈당 반응은 120분 동안의 혈당 증가 면적을 측정하였으며 혈당의 증가 면적은 FAO (Food and Agriculture Organization)에서 제시한 방법을 참고하였고,¹⁷ Wolever & Jenkins의 혈당곡선하면적 (area under the curve, AUC) 계산하는 방법을 사용하여 공복혈당을 기준으로 하여 증가한 면적을 계산하였다.¹⁸ 또한 혈당을 측정하기 전 자가혈당측정기와 검사지의 정확성을 높이기 위해 바로젠의 포도당대조용액을 사용하여 정상적으로 작동하는지 확인하였다.

통계처리

연구를 통하여 수집한 자료의 통계처리는 SPSS 21.0과 SAS 9.3을 이용하여 분석하였다. 모든 검정 결과의 유의수준은 양측검정 $p < 0.05$ 으로 설정하여 통계적으로 유의하다고 간주하였다. 대상자의 특성 분포를 알기 위하여 SPSS 프로그램을 이용하여 빈도분석 및 집단별 평균분석을 실시하였다. 각 차수별로 측정된 대상자들의 혈당 반응인 AUC를 종속변수로 하고 이에 영향을 미치는 영양성분인자를 살펴보기 위해 식품의 탄수화물, 지방, 단백질, 식이섬유소 함량을 독립변수로 하여 자료를 분석하였다. 식품들의 혈당반응이 모두 다른 대상자에게서 측정된 것이 아니라 동일인에서 반복 측정된 경우도 있고 또한 다른 대상자에게서 측정된 것이 있어 자료가 서로 독립이 아니라는 사실을 고려하여 SAS 프로그램의 Proc mixed를 사용하여 Repeated measure mixed model로 분석하였다.

Table 2. Characteristics of subjects

	Total (n = 30) ¹⁾	Male (n = 17) ¹⁾	Female (n = 13) ¹⁾
Age (year)	24.15 ± 2.44 ²⁾	25.08 ± 2.21	23.14 ± 2.32
Height (cm)	168.40 ± 7.37	173.40 ± 3.76	162.95 ± 6.42
Weight (kg)	63.34 ± 11.54	71.99 ± 7.81	53.91 ± 6.33
Body mass index (kg/m ²)	22.20 ± 2.87	23.93 ± 2.41	20.32 ± 2.05

1) n = number 2) mean ± SD

Table 3. Multivariate regression analysis of area under the curve (AUC) of serum glucose with energy and macronutrients (carbohydrate, protein, fat, fiber)

Effect	Model 1			Model 2		
	Unstandardized coefficients (β)	T value	P value	Unstandardized coefficients (β)	T value	P value
Intercept	1,350.96	5.77	< 0.0001 ^{***}	1,268.99	5.32	< 0.0001 ^{***}
Energy				8.21	1.77	0.0769
Carbohydrate (g)	37.18	11.67	< 0.0001 ^{***}	3.92	0.21	0.8373
Fat (g)	-32.70	-2.80	0.0054 ^{**}	-95.36	-2.57	0.0106 [*]
Protein (g)	-12.93	-1.39	0.1657	-47.30	-2.20	0.0283 [*]
Fiber (g)	-32.01	-1.98	0.0486 [*]	-5.28	-1.98	0.8111

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Model 1: model with macronutrients only

Model 2: model with energy + macronutrients

결 과

대상자 특성

본 연구에 참여한 대상자의 특성은 Table 2와 같다. 참여한 대상자는 총 30 명으로 남자는 17명 (56.7%), 여자는 13명 (43.3%)으로 남녀의 성비율이 비슷하였다. 나이의 평균과 표준편차는 24.15 ± 2.44 세, 신장 168.40 ± 7.37 cm, 체중 63.34 ± 11.54 kg, BMI 22.20 ± 2.87 kg/m²이었다.

식품 및 음식 섭취 후 혈당곡선하면적 비교

각 식품 및 음식 섭취 후 측정된 혈당 검사를 바탕으로 혈당곡선하면적 (AUC)을 계산한 결과는 Fig. 1과 같다. 식품 및 음식에 함유된 탄수화물함량이 증가함에 따라 대체로 혈당곡선하면적도 증가하였다. 그러나 동량의 탄수화물임에도 불구하고 식품 및 음식의 구성성분 등에 따라 혈당곡선하면적에 차이가 있었다.

식이섬유소 함량이 0 g, 지방 함량이 10 g인 29번 (짜장라면) 식품보다 지방 함량이 0 g, 식이섬유소 함량이 5 g인 28번 (푸른) 식품이 탄수화물의 함량이 같음에도 혈당곡선하면적이 더 낮았다. 32번 (밥, 흰자, 기름, 숙주나물) 음식, 31번 (밥, 야채스틱, 두부탕수, 닭가슴살라조기, 두부쌈장) 음식의 경우 식이섬유소, 지방, 단백질 함량이 높은 32번 (밥, 흰자, 기름, 숙주나물) 음식에서 동량의 탄수화물임에도 불구하고 혈당곡선하면적이 낮았고, 52번 (밥, 계란) 음식, 53번 (취나물밥) 식품의 경우에는 지방이

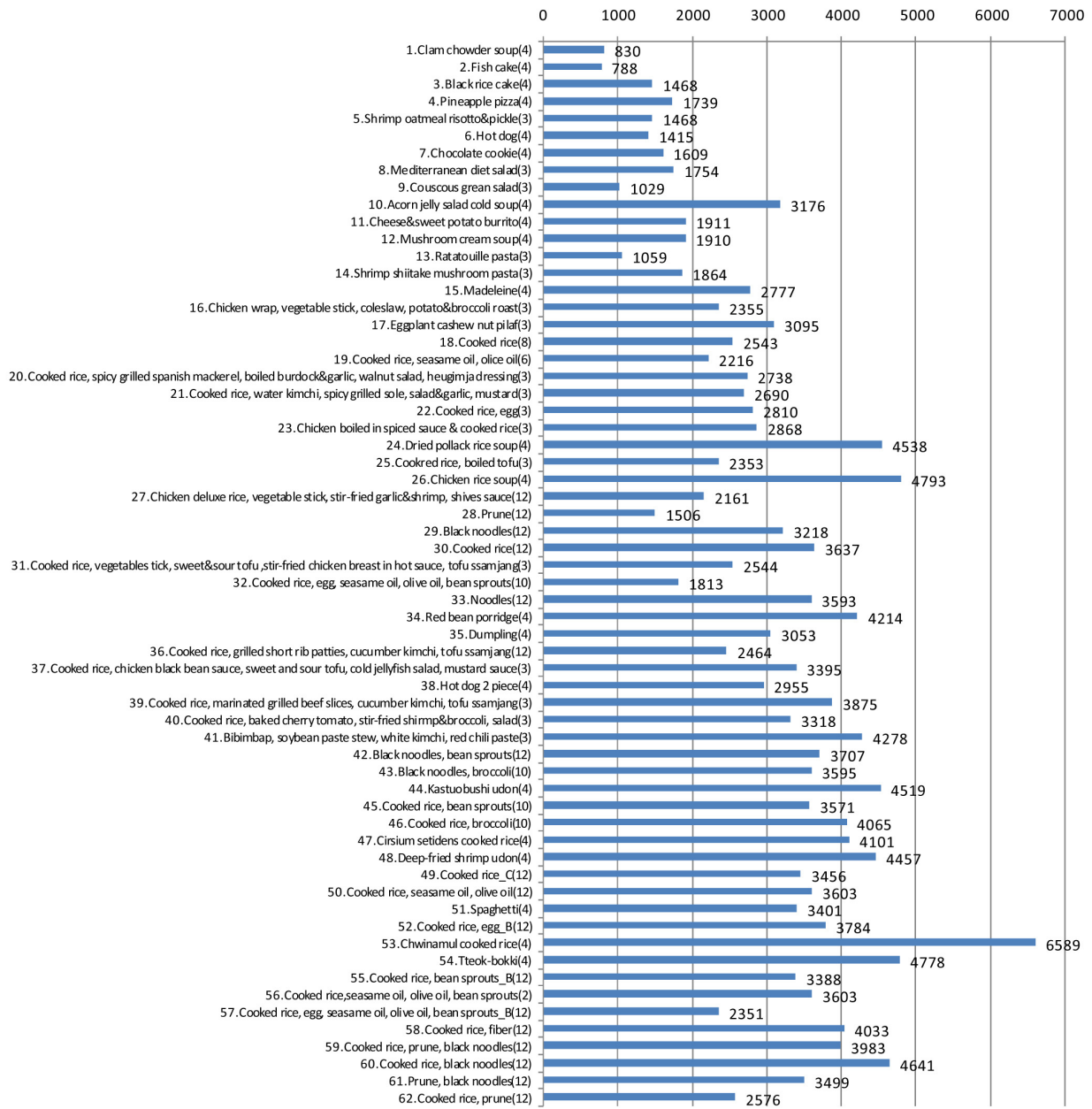


Fig 1. Increment of area under the curve (AUC) of serum glucose after a test meal (sorted by carbohydrate, fiber, fat and protein content (g), respectively)

높은 52번 (밥, 계란) 음식에서 혈당곡선하면적이 낮았다. 59번 (밥, 푸른, 짜장라면) 음식, 60번 (밥, 짜장라면) 음식, 61번 (푸른, 짜장라면) 음식, 62번 (밥, 푸른) 음식의 경우 모두 동량의 탄수화물임에도 불구하고 혈당곡선하면적이 각각 달랐다.

탄수화물 외 식이섬유소, 지방, 단백질 등의 함량이 혈당에 영향을 미쳐 혈당곡선하면적이 다양하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이는 식품 및 음식이 함유하고 있는 영

양성분과 혈당곡선하면적이 관련 있음을 의미한다.

혈당곡선하면적과 영양성분과의 관련성

각 식품의 영양성분 (탄수화물, 지방, 단백질, 식이섬유소)이 혈당반응곡선의 혈당곡선하면적 (AUC)에 미치는 영향에 대한 분석한 결과는 Table 3과 같다. 영양성분에 따른 회귀분석 결과, 단백질을 제외한 탄수화물, 지방, 식이섬유소가 혈당곡선하면적에 유의적으로 영향을 주는 성

분으로 확인되었다. 탄수화물 ($\beta = 37.18, p < 0.0001$)의 함량은 혈당곡선하면적을 유의적으로 증가시켰고, 지방 ($\beta = -32.70, p = 0.0054$), 식이섬유소 ($\beta = -32.01, p = 0.0486$)의 함량은 유의적으로 혈당곡선하면적을 감소시켰고 단백질 ($\beta = -12.93, p = 0.1657$)은 크게 영향을 주지 않았다. 같은 영양소들을 포함하여 섭취 열량을 추가로 보정한 모델의 경우 탄수화물의 영향은 사라지고 지방 ($\beta = -95.36, p = 0.0106$)과 단백질 ($\beta = -47.30, p = 0.0283$)만 혈당반응에 영향을 보이는 것으로 나타났다.

고 찰

본 연구에서는 20대 건강한 성인남녀를 대상으로 각 식품의 탄수화물, 지방, 단백질, 식이섬유소가 혈당 반응에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 다량 영양소와 식이섬유소를 다양하게 함유하고 있는 단일 또는 혼합 식품을 섭취한 결과 탄수화물 함량이 증가함에 따라 혈당곡선하면적도 함께 증가하는 것으로 나타났다. 이는 혼합 식사에서 혈당 반응의 90%는 탄수화물에 의해 설명이 된다는 Wolever 등의 연구와 일치하였고 탄수화물이 포도당으로 분해, 흡수되어 혈액 내에 일정한 수준의 혈당으로 유지되므로 예측할 수 있는 결과였다.¹⁹ 그러나 동량 또는 비슷한 함량의 탄수화물에도 불구하고 탄수화물 외 식사에 포함된 다른 영양성분(단백질, 지방, 식이섬유소 등)에 따라 혈당곡선하면적에 차이가 있어 혈당 반응이 다른 다량 영양소와 식이섬유소에 의해 달라진다는 것을 확인할 수 있었다.

Sun 등은 건강한 성인을 대상으로 흰쌀밥과 기름, 단백질, 채소를 단일 또는 혼합하여 섭취 시킨 후 혈액 내 당과 인슐린을 비교하였는데, 흰쌀밥과 함께 기름, 단백질, 채소를 단일 또는 혼합으로 섭취한 경우가 흰쌀밥만 섭취한 것에 비해 혈당 반응이 감소한 것으로 보고하였다.² 또한 Hätönen 등은 건강한 성인을 대상으로 으깬 감자와 고지방, 고단백질(닭가슴살), 샐러드를 단독 또는 혼합하여 섭취한 후 혈액 내 당과 인슐린의 변화를 조사한 결과 혼합하여 섭취한 경우가 으깬 감자만 섭취한 경우보다 유의적으로 혈당 반응이 감소하였고, 혈당지수 값이 낮게 나타났다고 보고하고 있다.¹⁶ 이는 지방성분이 혈당 반응에 영향을 미쳐 혈당곡선하면적이 감소된 본 연구 결과와 유사하였다. 탄수화물 단독 또는 지방과 함께 섭취한 경우를 비교한 다른 선행 연구에서도 탄수화물과 지방을 함께 섭취한 경우 혈당 반응이 감소되었다고 보고하고 있으며 그 기작으로 지방을 탄수화물과 함께 섭취했을 때 위 배출이 느려지고, 크레아틴 분비가 증가되어 혈당 반응이 낮아진다

고 보고하였다.^{2,20,21} 이 연구에서는 단백질 또한 인슐린분비를 증가시켜 혈당곡선하면적을 감소시키는 것으로 나타났다. Quек 등의 연구에서도 탄수화물, 고단백질을 단독 또는 혼합하여 섭취한 식사의 혈당 반응을 비교한 결과 단백질과 탄수화물을 함께 섭취한 식사에서 식후 혈당 반응이 유의적으로 감소되었다고 보고되어 있어 본 연구에서도 그 관계를 살펴본 바 단백질은 혈당 반응을 감소시키는 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지 않았다.²⁴ Hätönen는 탄수화물 음식, 단백질 음식과 더불어 지방을 섭취하였을 때 단백질의 인슐린분비 증가 효과가 감소된다고 보고하고 있다. Wolever 등의 연구에서는 탄수화물과 단백질이 모두 혈당반응에 영향을 주지 않는 것으로 나타났는데 이는 실험식이 14가지 정도밖에 없어 이를 분석하기 위한 충분한 데이터가 되지 못해 발생한 것이 아닌가 생각된다. 또한 지방과 단백질이 혈당반응에 미치는 영향은 대상자가 내당장애가 있는 사람의 경우 약화될 수 있고 평생시 지방식사를 많이 하는 경우 또한 영향을 받을 수 있다.^{20,25} 또한 영양성분외에 식품의 물리적 특성이나 다른 성분 등이 영향을 미쳐 그런 결과가 나오지 않을 수 있다. 본 연구에서 단백질이 영향을 미치지 않은 이유는 음식에 지방이 같이 있는 경우 단백질의 혈당반응이 감소될 수 있으며 이것이 우리 탄수화물, 지방, 단백질을 모두 포함한 모델에서 단백질 영향이 없어지는데 기여했을 가능성이 있다. 지방을 많이 함유하는 음식은 단백질을 함유하고 있을 가능성이 높아 그것이 모델에서 수학적으로 지방만 남고 단백질은 효과가 없어지는 결과를 보였을 가능성을 야기 했으리라 생각한다. 이는 섭취 열량을 보정했을 때 탄수화물의 혈당반응에 대한 영향이 없어진 이유와 유사하다고 생각한다. 본 연구에서 열량보정을 위해 탄수화물과 열량을 같은 모델에 넣어 분석한 결과 혈당에 가장 영향을 미친다고 알려져 있는 탄수화물의 영향이 사라짐을 확인할 수 있었다. 본 연구결과에서는 단백질을 제외한 탄수화물, 지방, 식이섬유소가 혈당곡선하면적에 유의적으로 영향을 주었다. 탄수화물은 혈당곡선하면적을 증가시켰고, 지방과 식이섬유소는 혈당곡선하면적을 유의적으로 감소시키는 것으로 나타났다. 탄수화물을 단독 또는 식이섬유소와 함께 섭취한 후 혈당 농도를 비교한 연구에서도 식이섬유소 없이 섭취한 경우보다 같은 식사에 식이섬유소를 추가하였을 때 식후 혈당 농도가 유의적으로 낮았다고 보고되고 있다.²² 식이섬유소 중 수용성 식이섬유소는 지방과 마찬가지로 위 배출 속도를 느리게 하고 소화효소와 탄수화물 사이에 장벽을 만들면서 혈당지수를 낮추는 기작이 있다고 알려져 있다.^{2,23}

Hätönen 등은 각 식품의 혈당지수와 탄수화물 비를 이

용하여 예측한 혈당지수 값과 실제 측정된 혈당지수 값을 비교한 연구에서 추가된 지방과 단백질 함유 식품에 의해 혈당지수 값이 눈에 띄게 감소하여 예측한 값과 실제 측정된 값이 다르게 나타났다고 보고하고 있고, Flint 등은 혼합 식사의 혈당지수 값은 탄수화물 함량의 한 성분이 아닌 지방, 단백질, 에너지 함량과 밀접한 연관성이 있다고 보고하고 있다.^{16,26} 본 연구결과와 함께 종합해 볼 때 혈당 반응을 예측 시 탄수화물 함량과 혈당지수만을 고려하기 보다는 전체 식사의 지방, 단백질 등을 고려하여 혈당 반응을 예측하는 방법이 좀 더 실제 혈당 반응과 비슷할 것이라 생각된다.

대부분의 다른 연구에서는 동량의 탄수화물에 지방, 단백질을 추가하여 몇 가지 제한된 수의 식품을 비교하였으나, 본 연구에서는 탄수화물뿐만 아니라 단백질, 지방, 식이섬유소의 함량이 다양한 총 62가지의 식품의 영양성분과 혈당 반응과의 관련성 분석하기 위해 회귀식을 가지고 관계를 파악하려는 시도했다는 장점이 있다. 그러나 좀 더 많은 식품의 혈당 반응 결과를 얻고자 대상자 숫자를 적게, 또한 동시에 같은 날이 아닌 여러 날에 실험을 진행하며 각 식품마다 같은 대상자 인원으로 실험하지 못하고 각 식품마다 최소 2명, 최대 22명의 혈당 반응을 통해 결과를 얻게 되었다. 이에 각 식품의 혈당반응들이 같은 대상자 반응끼리는 관계가 있고 다른 대상자의 반응과는 독립이라는 것을 고려하여 반복측정 혼합모형을 이용하여 이를 고려하여 분석하였으나 이로 인한 오차가 있을 것으로 생각된다. 혈당부하량과 달리 본 연구의 혈액 반응은 각 개인의 포도당에 의한 상대적 반응을 고려하지 않아 개개인의 혈당반응이 그대로 보여지는 것이므로 추후에는 혈당지수와 혈당부하량을 이용한 연구도 필요할 것으로 생각된다.

건강한 사람과 혈당 조절에 이상이 있는 사람 간 식품의 혈당 반응은 다르더라도 유의적인 차이는 없다고 보고되고 있어¹⁷ 본 연구는 건강한 성인만을 대상으로 실험을 진행하였으나 당뇨병과 같이 내당장애를 가진 사람에서도 동일한 영향을 갖는지는 추후 연구로 확인이 이루어져야 할 것이다. 또한 혈당 반응은 영양성분 이외에 식품의 가공방법, 조리방법, 함께 먹는 음식, 익은 정도, 저장기간, 탄수화물 구조, 조리 방법, 기타 영양 성분 등 다양한 요인에 의해서 영향을 받는다고 알려져 있어^{3,5} 단순히 식품에 포함된 영양성분만으로 혈당 반응을 예측하는데는 한계가 있을 것이다. 그러나 본 연구는 일일이 식품별로 혈당지수를 측정하고 탄수화물량을 고려하여 혈당부하량을 계산하여 혼합식사의 혈당반응을 예측하는 방법에서 나아가 섭취한 식사의 영양성분과 혈당 반응과의 관련성을 보여

주는 연구를 수행함으로써 식품의 영양성분 중 탄수화물 함량만이 아니라 지방, 식이섬유소 등이 직접 혈당 반응에 영향을 미치는 것을 확인하였다는데 의의가 있다. 단일식품의 혈당지수는 혈당반응의 조절이 필요한 사람들에게 식품선택 시 중요한 정보를 제공하지만, 복합식품과 혼합 식사 섭취가 주를 이루는 현대사회에서 이를 일상생활에서 용이하게 활용하기 위해서는 식사를 구성하는 다른 성분의 영향에 대한 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 추후에는 식사를 구성하는 성분외의 다른 요인들이 혈당에 미치는 영향에 관해서도 지속적인 연구가 필요하다고 생각된다.

요 약

본 연구에서는 동일한 끼니에 섭취한 각 식품 및 음식의 영양성분 중 에너지에 기여하는 다량영양소인 탄수화물, 지방, 단백질과 식이섬유소가 혈당 반응에 어떠한 영향을 주는지를 알아보려고 하였다. 20대 성인 남녀를 대상으로 총 62가지의 단일 또는 여러 가지 단일 식품으로 구성된 혼합 식사 섭취 후 2시간 동안의 혈당을 측정하여 혈당곡선하면적을 계산하였다. 그 결과 일반적으로 탄수화물 함량이 증가하면 혈당곡선하면적이 증가하였다. 그러나 탄수화물 이외에 식품 및 음식에 함유된 지방, 식이섬유소 등의 함량도 혈당곡선하면적에 영향을 준 것을 확인할 수 있었다. 탄수화물, 단백질, 지방, 식이섬유소의 영양성분이 혈당곡선하면적에 미치는 영향을 분석한 결과 탄수화물 ($\beta = 37.18, p < 0.0001$)은 혈당곡선하면적을 유의적으로 증가시켰고, 지방 ($\beta = -32.70, p = 0.0054$), 식이섬유소 ($\beta = -32.01, p = 0.0486$)는 유의적으로 감소시켰으며, 단백질 ($\beta = -12.93, p = 0.1657$)은 혈당 반응에 유의적인 영향을 미치지 않았다. 본 연구는 식품 및 음식의 영양성분 중 탄수화물 함량만이 아닌 지방, 식이섬유소가 서로 상호작용하여 혈당 반응에 영향을 미치는 것을 확인하여 의미가 크다.

References

1. Song S, Choi H, Lee S, Park JM, Kim BR, Paik HY, Song Y. Establishing a table of glycemic index values for common Korean foods and an evaluation of the dietary glycemic index among the Korean adult population. *Korean J Nutr* 2012; 45(1): 80-93.
2. Sun L, Ranawana DV, Leow MK, Henry CJ. Effect of chicken, fat and vegetable on glycaemia and insulinaemia to a white rice-based meal in healthy adults. *Eur J Nutr* 2014; 53(8): 1719-1726.

3. Kim DY, Lee H, Choi EY, Lim H. Analysis and evaluation of glycemic indices and glycemic loads of frequently consumed carbohydrate-rich snacks according to variety and cooking method. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2015; 44(1): 14-23.
4. Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control and Prevention. Korea Health Statistics 2014: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES VI-2). Cheongju: Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2015.
5. Jenkins DJ, Wolever TM, Jenkins AL. Starchy foods and glycemic index. *Diabetes Care* 1988; 11(2): 149-159.
6. Riccardi G, Rivellese AA, Giacco R. Role of glycemic index and glycemic load in the healthy state, in prediabetes, and in diabetes. *Am J Clin Nutr* 2008; 87(1): 269S-274S.
7. Kim IJ. Glycemic index revisited. *Korean Diabetes J* 2009; 33(4): 261-266.
8. Gaesser GA. Carbohydrate quantity and quality in relation to body mass index. *J Am Diet Assoc* 2007; 107(10): 1768-1780.
9. McKeown NM, Meigs JB, Liu S, Rogers G, Yoshida M, Saltzman E, Jacques PF. Dietary carbohydrates and cardiovascular disease risk factors in the Framingham offspring cohort. *J Am Coll Nutr* 2009; 28(2): 150-158.
10. Liu S, Willett WC, Stampfer MJ, Hu FB, Franz M, Sampson L, Hennekens CH, Manson JE. A prospective study of dietary glycemic load, carbohydrate intake, and risk of coronary heart disease in US women. *Am J Clin Nutr* 2000; 71(6): 1455-1461.
11. Denafo-Gutiérrez E, Huitrón-Bravo G, Talavera JO, Castañón S, Gallegos-Carrillo K, Flores Y, Salmerón J. Dietary glycemic index, dietary glycemic load, blood lipids, and coronary heart disease. *J Nutr Metab* 2010; 2010: 170680.
12. Schulze MB, Liu S, Rimm EB, Manson JE, Willett WC, Hu FB. Glycemic index, glycemic load, and dietary fiber intake and incidence of type 2 diabetes in younger and middle-aged women. *Am J Clin Nutr* 2004; 80(2): 348-356.
13. Barclay AW, Petocz P, McMillan-Price J, Flood VM, Prvan T, Mitchell P, Brand-Miller JC. Glycemic index, glycemic load, and chronic disease risk--a meta-analysis of observational studies. *Am J Clin Nutr* 2008; 87(3): 627-637.
14. Du H, van der A DL, van Bakel MM, van der Kallen CJ, Blaak EE, van Greevenbroek MM, Jansen EH, Nijpels G, Stehouwer CD, Dekker JM, Feskens EJ. Glycemic index and glycemic load in relation to food and nutrient intake and metabolic risk factors in a Dutch population. *Am J Clin Nutr* 2008; 87(3): 655-661.
15. Murakami K, Sasaki S, Takahashi Y, Okubo H, Hirota N, Notsu A, Fukui M, Date C. Reproducibility and relative validity of dietary glycaemic index and load assessed with a self-administered diet-history questionnaire in Japanese adults. *Br J Nutr* 2008; 99(3): 639-648.
16. Hätönen KA, Virtamo J, Eriksson JG, Sinkko HK, Sundvall JE, Valsta LM. Protein and fat modify the glycaemic and insulinaemic responses to a mashed potato-based meal. *Br J Nutr* 2011; 106(2): 248-253.
17. Brouns F, Bjorck I, Frayn KN, Gibbs AL, Lang V, Slama G, Wolever TM. Glycaemic index methodology. *Nutr Res Rev* 2005; 18(1): 145-171.
18. Wolever TM, Jenkins DJ. The use of the glycemic index in predicting the blood glucose response to mixed meals. *Am J Clin Nutr* 1986; 43(1): 167-172.
19. Wolever TM, Yang M, Zeng XY, Atkinson F, Brand-Miller JC. Food glycemic index, as given in glycemic index tables, is a significant determinant of glycemic responses elicited by composite breakfast meals. *Am J Clin Nutr* 2006; 83(6): 1306-1312.
20. Gannon MC, Nuttall FQ, Westphal SA, Seaquist ER. The effect of fat and carbohydrate on plasma glucose, insulin, C-peptide, and triglycerides in normal male subjects. *J Am Coll Nutr* 1993; 12(1): 36-41.
21. Ercan N, Gannon MC, Nuttall FQ. Effect of added fat on the plasma glucose and insulin response to ingested potato given in various combinations as two meals in normal individuals. *Diabetes Care* 1994; 17(12): 1453-1459.
22. Munoz JM, Sandstead HH, Jacob RA, Johnson L, Mako ME. Effects of dietary fiber on glucose tolerance of normal men. *Diabetes* 1979; 28(5): 496-502.
23. Gatenby SJ, Ellis PR, Morgan LM, Judd PA. Effect of partially depolymerized guar gum on acute metabolic variables in patients with non-insulin-dependent diabetes. *Diabet Med* 1996; 13(4): 358-364.
24. Quek R, Bi X, Henry CJ. Impact of protein-rich meals on glycaemic response of rice. *Br J Nutr* 2016; 115(7): 1194-1201.
25. Cunningham KM, Daly J, Horowitz M, Read NW. Gastrointestinal adaptation to diets of differing fat composition in human volunteers. *Gut* 1991; 32(5): 483-486.
26. Flint A, Møller BK, Raben A, Pedersen D, Tetens I, Holst JJ, Astrup A. The use of glycaemic index tables to predict glycaemic index of composite breakfast meals. *Br J Nutr* 2004; 91(6): 979-989.