

식이섬유 첨가식이 Streptozotocin-유도 당뇨쥐의 장기능과 지질 및 당질대사에 미치는 영향

박수현 · 이연경 · 이해성
경북대학교 생활과학대학 식품영양학과

The Effect of Dietary Fiber Feeding on Gastrointestinal Functions and Lipid and Glucose Metabolism in Streptozotocin-induced Diabetic Rats

Park, Soo-Hyun · Lee, Yeun-Kyung · Lee, Hye-Sung
Department of Food Science & Nutrition, Kyungpook National University, Taegu, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to compare the effects of four types of dietary fiber supplementations (cellulose, pectin, guar gum, and polydextrose) on gastrointestinal function, diabetic symptom amelioration and lipid & glucose metabolism in streptozotocin-induced diabetic rats. Six groups of male rats were fed ad libitum dietary fiber-free control diet or one of experimental diets containing 5% dietary fiber for four weeks. All types of dietary fiber supplementation seemed to protect the diabetic animals from the loss of body weight.

The primary diabetic symptoms such as polydipsia, polyphasia, polyuria and urinary glucose excretion were ameliorated by cellulose, pectin, and guar gum, but not by polydextrose.

Gastrointestinal transit time was significantly shortened and fecal dry weight was significantly increased in all the dietary fiber-supplemented groups except the polydextrose group. Large intestine was significantly lengthened by dietary fiber feeding. The fecal crude fat excretion was considerably increased only by pectin and guar gum. The serum triglyceride and total cholesterol levels were effectively lowered by pectin, guar gum and polydextrose. Regardless of their types, the fiber supplementation had no effect on serum HDL-cholesterol. Whereas fasting blood glucose level was significantly lowered by all types of fiber supplementations, glucose tolerance was more effectively improved by pectin and guar gum.

KEY WORDS : dietary fiber · diabetic rat · GI function · glucose tolerance · serum lipids.

서 론

우리나라에서는 1960년대에 약 1% 미만으로 추정되던 당뇨병 이환율이 1980년대에 보고된 여러
채택일 : 1994년 4월 20일

역학적인 자료에 따르면 보고자에 따라, 또는 지역에 따라 차이가 있지만 전 인구의 약 3%에 달하는 것으로 추정¹⁾되고 있고 국민 식생활의 향상과 더불어 계속 증가 추세를 나타내고 있을 것으로 예측되므로 당뇨병 환자의 영양관리의 중요성이

대두되고 있다.

당뇨병 환자의 대사적 특징은 혈당 농도의 상승과 지질대사의 비정상성²⁾이다. 당뇨병 환자의 약 90% 이상을 차지하는 인슐린 비의존형 당뇨병(noninsulin-dependent diabetes mellitus, 이하 NIDDM) 환자에서 가장 많은 지질대사의 비정상성은 중성지방의 증가 및 HDL-콜레스테롤의 감소이며^{3,4)} 이와 같은 고중성지방혈증과 혈장 HDL-콜레스테롤 농도의 감소는 주요 합병증인 관상동맥 질환의 위험을 높이는 요인으로 확인되었다⁵⁾. 따라서 당뇨병의 치료에서 가장 중요한 식사요법의 2가지 주요 목표는 혈당조절의 개선과 정상적인 혈중 지질 및 지단백 농도를 유지함으로써 관상동맥질환 합병증의 위험을 감소시키는 것이다⁶⁾. 이와 같은 목표 달성을 위해 NIDDM 환자의 영양관리에서의 초점은 복합탄수화물과 식이섬유(dietary fiber)의 함량이 높고 지질과 콜레스테롤 함량이 낮은 식사의 권장이라⁷⁻⁹⁾는데 현재 의견의 일치를 보이고 있다.

식이섬유는 당뇨병의 영양관리와 심혈관계질환의 예방을 위해 지난 10여년 동안 주목을 받아 온 주요 식이성분으로서 최근 당뇨병의 영양관리에서 그 중요성은 점점 더 강조되어지고 있으며 우리나라 및 미국의 당뇨병학회에서는 당뇨병 환자의 1일 식이섬유 섭취량을 30~40g 이상 또는 15~25g/1000 kcal로 권장하고 있다⁷⁾. 당뇨병 환자의 식이섬유 섭취량을 증가시키기 위한 방법의 하나로써 정제 식이섬유 첨가물을 이용한 임상실험들이 시도되어 왔으며 그 결과 guar gum, pectin과 같은 수용성 식이섬유가 NIDDM 환자의 내당능 개선과 혈청지질 수준의 감소에 미치는 긍정적 결과가 보고된 바 있다¹⁰⁻¹⁴⁾. 최근 가공식품 및 음료에 식이섬유 첨가소재로서 그 이용이 급격히 늘어나고 있는 산소화성 합성 다당류인 polydextrose도 정상쥐의 혈장 중성지방 수준의 저하와 HDL-콜레스테롤의 상승 효과 및 식이섬유로서의 역할¹⁵⁾이 최근 보고된 바 있어 당뇨동물에 있어서의 유의한 생리 효과의 가능성이 제시되고 있다. 그러나 식이섬유 투여에 의한 당뇨병의 대사 개선효과가 개개 식이섬유별로 평가 보고 되고 있어 식이섬유의 종류에 따른 효과를 상호 비교하기가 어려운 점이 있다.

이에 본 연구에서는 천연 정제 식이섬유인 cellulose, pectin, guar gum과 합성 식이섬유 소재인 polydextrose가 streptozotocin-유도 당뇨쥐의 장기능과 당뇨병증세의 호전도, 지질 및 당질대사에 미치는 영향을 동시 비교 검토하고자 시도하였으며 또한 향후 고식이섬유 식품들의 당뇨병 대사 개선효과를 평가하기 위한 기초자료를 얻고자 본 실험을 행하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험동물 및 식이

생후 21일된 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐 60마리를 체중 200g 정도의 성숙쥐로 성장할 때까지 pellet형 고형사료로 사육한 다음 control diet(dietary fiber free)로 1주간 적응시킨 후 평균 체중이 유사하도록 group당 10마리씩 6군으로 나누었다. 즉 실험군의 분류는 (1) 정상군, control diet (2) 당뇨군, control diet (3) 당뇨군, cellulose diet (4) 당뇨군, pectin diet (5) 당뇨군, guar gum diet (6) 당뇨군, polydextrose diet로 하였다.

본 실험에 사용한 식이의 구성 성분은 Table 1과 같이 대조식은 식이섬유 무첨가이고, 실험식은 cellulose, guar gum, pectin, polydextrose를 각각 5% 수준으로 포함하였다. 당뇨군은 실험식이 직전 실험적으로 당뇨상태를 유도한 후 급식실험에 사용하였다. 실험식이 급여기간은 4주였고 실험 전기간 동안 식이와 물은 제한 없이 섭취하도록 하였다 (Table 1).

2. 실험방법

1) 당뇨병의 유도와 체중변화의 측정

실험식이 급여 시작 전날 당뇨군의 동물에 streptozotocin(50mg/kg BW)을 대퇴부 근육에 1회 주사함으로써 실험적으로 당뇨병을 유도하였다. Streptozotocin은 0.1M citric acid buffer(pH 4.5) 용액에 용해시켜 사용하였고 정상군은 동량의 citric acid(0.1M, pH 4.5)용액을 주사하였다. 당뇨병의 확인은 streptozotocin 주사 24시간 후 공복상태에서 꼬리 정맥으로부터 채혈하여 공복 시 혈당 수준이 180

Table 1. Composition of experimental diets

Ingredients	Control diet (%)	Experimental diets (%)			
		Cellulose	Pectin	Guar gum	Polydextrose
Corn starch	20	15	15	15	15
Casein	20	20	20	20	20
Corn oil	8	8	8	8	8
Sucrose	47	47	47	47	47
Vitamin mix ¹⁾	1	1	1	1	1
Mineral mix ²⁾	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Choline chloride	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
DL-Methionine	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Cellulose		5			
Pectin			5		
Guar gum				5	
Polydextrose					5

1) AIN-76 Vitamin mix(g/kg mix) : thiamin · HCl 0.6, riboflavin 0.6, pyridoxine · HCl 0.7, nicotinic acid 3, D-calcium pantothenate 1.6, folic acid 0.2, D-biotin 0.02, cyanocobalamin 0.001, retinyl palmitate 0.8(500,000IU/g), dl- α -tocopheryl acetate 20(250IU/g), cholecalciferol 0.00025, menaquinone 0.005

2) AIN-76 Mineral mix(g/kg mix) : CaHPO₄ 500, NaCl 74, K citrate monohydrate 220, K₂SO₄ 52, MgO 24, Mn carbonylate 3.5, Fe citrate 6.0, Zn carbonate 1.6, Cu carbonate 0.3, KIO₃ 0.01, Na₂SeO₃ · 5H₂O 0.01, CrK(SO₄)₂ · 12H₂O, 0.55, sucrose 118

mg/dl 이상일때 당뇨병이 유발된 것으로 간주하였다. 혈당의 측정은 Dextrometer(AMES, Kyoto dachii kaguko Co. Japan)를 사용하였다.

실험식 개시일을 0 day로 하여 1주마다 동물 체중계로 체중을 달아 급식실험 종료일까지의 동물의 체중 변화상태를 비교하였다.

2) 장 통과시간(Gastrointestinal transit time)의 측정

Marker로 사용한 carmine red(Aldrich Chem. Co. USA)를 0.5%의 농도로 각 실험식에 첨가하여 실험 10일째에 급여하고 매시간 marker의 변중 배설을 48시간 동안 체크하였다. 실험식 급여 시작시간과 marker가 변 중에 처음 나타나기까지의 시간 간격을 장 통과시간으로 하였다.

3) 당뇨병세의 측정

실험식이 3주째에 동물을 48시간동안 한마리씩 대사 cage에 수용하여 충분한 양의 식이와 물을 ad libitum으로 급여하였다. 식이 및 수분의 급여량과 잔여량의 차이로 부터 1일 평균 식이섭취량, 수분

섭취량을 측정하였다. 노배설량은 대사 cage로 부터 수집된 노의 총량을 1일 체중 100g당 배설량으로 계산하고 1일 노중 당의 배설량은 Glucose Analyzer (YSI, 2300 STAT, U.S.A)를 이용하여 정량하였다.

4) 분변수집 및 분변 중 수분함량과 조지방의 측정

실험식이 3주째에 대사 cage에서 48시간동안 배설되는 대변을 하루 2회씩 수집하여 즉시 wet weight를 칭량한 후 -5°C에서 항량에 달할 때까지 냉동 건조시킨 뒤 dry weight를 칭량하고 wet weight와의 차이를 수분함량으로 하였다. 분변 중 조지방량은 냉동 건조시킨 분변 1g을 시료로 하여 soxhlet 추출법¹⁶⁾에 의해 16시간 이상 추출하여 정량하였다.

5) 경구 당부하 검사(Oral glucose tolerance test, OGTT)

실험식 급여 4주째에 20시간 절식시킨 후 꼬리 정맥에서 채혈하여 공복 시 혈당 수준을 측정한 후 50% 포도당 용액(0.1g glucose/ 100g BW)을 intubation tube를 사용하여 경구 투여하고 30, 60, 120,

180분에 꼬리정맥으로부터 채혈하여 혈당농도를 Dextrometer로 측정하였다.

결과 및 고찰

6) 채혈 및 장길이 측정

실험식이 급여 4주 후 실험동물을 18시간 절식 시킨 후 1% ketamin hydrochloride를 체중 100g당 0.2ml량으로 복강내 주사하여 마취시킨 후 heparin (1000 units/ml)처리가 된 주사기로 복부 대동맥에서 혈액을 채취하여 이를 10℃에서 1시간 방치한 후 3000rpm에서 20분간 원심분리하여 혈장을 분리하여 분석시까지 냉동보관 하였다. 장은 소장과 대장으로 구분하여 채취한 후 길이를 측정하였다.

7) 혈청의 지질 분석

혈청 총 콜레스테롤은 효소법¹⁷⁾에 의한 kit(아산제약)를 사용하여 500nm에서 흡광도를 측정하여 혈청 총 콜레스테롤 농도를 계산하였고 혈청 중성지방은 Bucolo 방법¹⁸⁾에 준한 효소 kit(아산제약)를 사용하여 550nm에서 흡광도를 측정하여 혈청 중성지방 농도를 계산하였다.

HDL-콜레스테롤은 효소법¹⁹⁾에 의한 kit(Cetron Lab. Japan)를 사용하여 혈청 총 콜레스테롤과 같은 방법으로 580nm에서 그 흡광도를 측정하였다.

3. 자료의 통계처리

당뇨쥐의 생리대사에 미치는 식이섬유의 종류에 따른 영향의 차이는 one way ANOVA와 Duncan's multiple comparison test²⁰⁾에 의해 P<0.05 수준에서 유의성을 검증하였다.

1. 체중변화에 미치는 식이섬유의 영향

각 군의 실험식이 급여 개시일과 종료 후 평균 체중과 체중의 변화폭은 Table 2 와 같다. 대조군들과 polydextrose 군의 경우 OGTT 실험동안 2~3 마리씩 희생되었다. 정상 대조군이 실험기간 중 평균 155g의 체중 증가를 보인 반면 당뇨대조군은 평균 1.8g의 체중 감소를 보였고, 당뇨 cellulose군과 당뇨 pectin군이 각각 평균 30g, 40g의 체중 증가를, 당뇨 guar gum군과 polydextrose군이 각각 1.6g, 4.6g의 체중 증가를 보였다. 모든 당뇨군들은 정상군에 비해 유의적으로 낮은 체중 증가율을 나타냈으며 (P<0.05) 이는 Preston²¹⁾, Odaka 등²²⁾, Furuse 등²³⁾의 실험에서 streptozotocin-유도 당뇨쥐의 성장이 급격히 감소하여 체중 감소가 일어난다고 보고한 결과와 일치한다. 식이섬유의 종류가 체중 변화에 미치는 영향은 유의적인 차이를 인정할 수 없었으나, 식이섬유를 투여하지 않은 당뇨대조군은 실험기간 동안 평균 체중의 감소를 보인 반면 식이섬유 첨가군들에서는 guar gum과 polydextrose 투여군이 실험식이 투여기간 동안 체중의 변화가 거의 없었고 cellulose와 pectin 투여군은 체중 증가를 보였다는 점에서 이들 식이섬유의 첨가가 당뇨동물의 체중 손실을 어느정도 방지하는 효과를 가진다고 볼 수 있다(Table 2).

Table 2. Body weight and body weight gain in normal and diabetic rats

Groups	Initial body weight (g)	Final body weight (g)	Body weight gain (g/28day)
Normal control(n=8)	242.40± 10.34 ^a	397.50± 10.98 ^a	155.38± 18.80 ^a
Diabetic control(n=7)	238.20± 7.43	230.00± 27.45 ^b	-1.80± 25.26 ^b
Diabetic cellulose(n=10)	242.10± 5.69	268.75± 23.94 ^b	30.13± 24.48 ^b
Diabetic pectin(n=10)	238.80± 6.86	279.00± 16.56 ^b	40.20± 13.68 ^b
Diabetic guar gum(n=10)	236.40± 6.64	238.00± 13.81 ^b	1.60± 17.14 ^b
Diabetic polydextrose(n=8)	242.00± 6.46	252.50± 14.11 ^b	4.63± 10.38 ^b

^aMean± S.E.

Different superscripts in the same column indicate significant differences(p<0.05) between groups by Duncan's multiple comparison test.

2. 당뇨병의 증세에 미치는 식이섬유의 영향

실험식이 3주째에 측정된 실험동물의 식이섭취량, 수분섭취량, 뇨배설량 및 뇨당 배설량은 Table 3과 같다. 식이 섭취량은 당뇨 대조군(30.6g/day)과 당뇨 polydextrose군(32.1g/day)이 유의적으로 높았으며 정상 대조군이 가장 낮은 섭취량(18.8g/day)을 보였으나 당뇨 cellulose(23.0g/day), 당뇨 pectin(27.1g/day), 당뇨 guar gum군(26.8g/day)과 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 수분의 섭취량은 정상 대조군에 비해 모든 당뇨군들이 유의적으로 높았으며 당뇨군들 중에서는 식이섬유가 투여되지 않은 대조군과 polydextrose 투여군이 200g/day 이상으로서 다른 식이섬유 투여군에 비해 유의적으로 높았다. 뇨배설량은 수분섭취량과 비례하여 같은 경향을 보였다. 뇨당 배설은 정상대조군에서는 뇨중 당이 검출되지 않았으며 당뇨군에서는 무식이섬유 대조군과 polydextrose 투여군이 1일 체중 100g당 뇨당 배설량이 각각 9.3g, 7.8g으로서 다른 식이섬유 투여군에 비해 유의적으로 높았다. 본 실험의 결과는 당뇨쥐가 정상쥐에 비해 수분섭취량, 소변배설량, 뇨중 당 배설량이 유의적으로 높다고 보고한 바 있는 Odaka²²⁾의 연구 결과와 일치하였다. 당뇨병의 주요 증세²⁴⁾ polydipsia, polyphagia, polyuria, urinary glucose excretion이라는 점에서 본 연구 결과는 cellulose와 pectin, guar gum의 식이섬유를 당뇨동물에 급여함으로써 식이섬유를 급여하지 않은 동물에 비해 당뇨병의 증세가 어느 정도 호전될 수

있음을 보여주며 합성 식이섬유 polydextrose는 거의 무식이섬유군과 차이를 보이지 않음으로써 증세 개선효과가 인정되지 않았다(Table 3).

3. 장 기능에 미치는 식이섬유의 영향

식이섬유의 첨가가 실험동물의 장 내용물의 장 통과시간(GI transit time), 장의 길이, 분변 배설량, 분변의 수분 함량 및 조지방 배설량에 미치는 효과는 Table 4와 같다. 장 통과시간은 무식이섬유군인 정상대조군(23.1시간)과 당뇨대조군(22.2시간)에 비해 cellulose(11.2시간), pectin(14.4시간), guar gum(15.4시간) 등 식이섬유 첨가군에서 유의적으로 단축되었으며($P<0.05$) polydextrose 투여의 경우(18.4시간)는 단축효과가 나타나지 않았다. 소장 길이는 guar gum 투여군이 다른 모든 군에 비해 유의적으로 길었으나, 식이섬유의 첨가가 소장길이에 어떤 일관성을 가지고 영향을 미친다고 언급하기는 어렵다. 그러나 대장의 길이는 식이섬유 첨가군들이 22~24cm로서 무첨가 대조군들에 비해 유의적으로 길게 나타났다. 분변의 건조 고형물량은 cellulose 투여군의 경우(3.9g/2days) 유의적으로 가장 높았고, pectin과 guar gum 투여군도 각각 2.3g/2 days, 2.1g/2days로서 식이섬유 무첨가 대조군들에 비해 유의적으로 높았으나 polydextrose 투여의 경우는 무첨가군과 차이가 없었다. 분변 중 수분함량은 모든 당뇨군들이 정상대조군에 비해 많았으나 그 차이가 유의적인 것은 pectin과 guar gum 투여군이였다. 조지방의 1일 배설량은 pectin군과 guar

Table 3. Food intake, water intake, urine volume and urinary glucose excretion in normal and diabetic rats

Groups	Food intake (g/day)	Water intake (g/day)	Urine volume (ml/day)	Urinary glucose (g/day/100gBW)
Normal control(n=8)	18.87± 3.23 ^{a*}	25.03± 1.94 ^a	11.32± 1.89 ^a	0 ^a
Diabetic control(n=7)	30.64± 2.22 ^b	214.77± 34.59 ^c	192.50± 32.96 ^c	9.38± 2.10 ^c
Diabetic cellulose(n=10)	23.09± 4.90 ^{ab}	141.73± 35.13 ^b	120.16± 29.62 ^b	4.97± 1.41 ^b
Diabetic pectin(n=10)	27.14± 2.24 ^{ab}	104.57± 62.11 ^b	93.49± 17.68 ^b	3.93± 0.86 ^b
Diabetic guar gum(n=10)	26.84± 1.60 ^{ab}	113.56± 11.09 ^b	98.98± 11.58 ^b	4.75± 0.68 ^b
Diabetic polydextrose(n=8)	32.14± 2.73 ^b	216.01± 27.25 ^c	174.21± 25.77 ^c	7.88± 1.26 ^c

*Mean± S.E.

Different superscripts in the same column indicate significant differences($p<0.05$) between groups by Duncan's multiple comparison test.

Table 4. Effects of dietary fibers on gastrointestinal parameters in normal and diabetic rats

Groups	Gastrointestinal		Small intestine		Large intestine		Total fecal dry wt(g/2day)	Fecal water contents(%)	Fecal crude fat excretion(mg/day)
	transit time(hr)	length(cm)	length(cm)	length(cm)					
Normal control(n=8)	23.11±0.68**	138.13±1.81 ^a	21.23±0.48 ^a	0.88±0.12 ^a	24.00±5.10 ^a	51.68±9.51 ^a			
Diabetic control(n=7)	22.25±0.88 ^a	152.14±2.10 ^b	20.66±0.57 ^a	1.68±0.19 ^a	34.71±4.59 ^{ab}	16.51±6.16 ^a			
Diabetic cellulose(n=10)	11.20±0.65 ^b	144.17±4.35 ^a	22.06±0.57 ^{ab}	3.910.65 ^c	32.40±3.74 ^{ab}	81.44±21.47 ^{ab}			
Diabetic pectin(n=10)	14.40±2.06 ^b	160.90±3.09 ^b	24.80±1.05 ^b	2.34±0.35 ^b	36.70±3.07 ^b	220.21±46.59 ^c			
Diabetic guar gum(n=10)	15.40±2.67 ^b	171.20±3.39 ^c	24.25±0.65 ^b	2.11±0.15 ^b	39.00±2.70 ^b	198.23±16.57 ^b			
Diabetic polydextrose(n=8)	18.44±1.18 ^a	145.31±4.27 ^a	23.63±0.70 ^b	1.58±0.17 ^a	30.33±2.15 ^a	18.80±2.97 ^a			

*Mean±S.E.

Different superscripts in the same column indicate significant differences(p<0.05) between groups by Duncan's multiple comparison test.

gum군이 각각 220mg, 138mg로서 무식이섬유 대조군들에 비해 유의적으로 높았으며 cellulose, polydextrose 투여군은 대조군과 차이가 인정되지 않았다.

이상의 결과에서 장 통과시간과 분변 고형물의 양 간에는 역(逆)의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 즉 합성식이섬유 polydextrose를 제외한 천연 식이섬유의 투여는 분변 고형물의 양을 유의적으로 증가시켰고 이들 군의 장 통과시간은 유의적으로 짧게 나타났다. 식이섬유의 투여가 분변의 양을 증가시키며 그 정도는 식이섬유의 종류에 따라 차이가 있음이 알려져 있고²⁵⁻²⁸⁾ 특히 cellulose의 경우는 위 비우는 속도를 증가시켜 위장관 내의 통과시간이 단축된다고 보고한 Vahouney²⁹⁾의 결과와도 일치하였다. 장 통과시간은 영양소의 흡수에 영향을 미칠 수 있으므로 식이섬유 첨가에 의한 당뇨동물의 당질 및 지질대사에도 영향을 미칠 것으로 사료된다. 대변의 수분 보유량은 정상대조군에 비해 모든 당뇨군이 전반적으로 높은 결과를 보인 것은 식이섬유 자체의 수분 흡수성 이외에도 당뇨쥐들의 수분 섭취량이 정상군에 비해 유의적으로 높은 것(Table 3)과 관계가 있는 것으로 보인다. 분변 중 조지방 배설량은 pectin과 guar gum 투여군에서 가장 높았으며 이는 수용성 식이섬유들에 대해 보고되고 있는 혈청 지질 강하작용의³⁰⁻³²⁾ 원인이 되는 것으로 보인다. 합성 식이섬유 polydextrose의 경우 장 통과시간, 변고형물의 양, 수분함량, 조지방 배설량 등 모든 장 기능면에서 식이섬유 무첨가군인 대조군과 유의적인 차이를 보이지 않았으며 따라서 천연 식이섬유들의 장기능에 미치는 유의한 생리효과가 인정되지 않았다(Table 4).

4. 지질대사에 미치는 식이섬유의 영향

식이섬유의 첨가가 당뇨동물의 혈청 내 지질수준에 미치는 효과는 Table 5에 나타난 바와 같다. 혈청 중성지방의 수준은 무식이섬유군인 정상대조군과 당뇨대조군에 비해 pectin, guar gum, polydextrose 등 식이섬유 첨가군에서 유의적인 저하를 보였으며(p<0.05), cellulose 투여의 경우는 감소

Table 5. Concentrations of serum triglyceride, total cholesterol and HDL-cholesterol in normal and diabetic rats

Groups	Triglyceride (mg/dl)	Total cholesterol (mg/dl)	HDL-cholesterol (mg/dl)
Normal control(n=8)	150.00± 15.63 ^{3a*}	123.29± 12.42 ^a	50.66± 5.44 ^a
Diabetic control(n=7)	169.92± 30.84 ^a	109.46± 12.88 ^{3b}	60.24± 4.59 ^a
Diabetic cellulose(n=9)	121.71± 19.36 ^{3c}	119.09± 15.00 ^{3b}	51.02± 10.45 ^a
Diabetic pectin(n=10)	79.80± 15.65 ^{3c}	81.27± 9.89 ^b	44.04± 3.97 ^a
Diabetic guar gum(n=10)	72.52± 9.90 ^b	89.25± 10.90 ^{3b}	41.70± 5.61 ^a
Diabetic polydextrose(n=8)	54.46± 6.20 ^b	82.78± 16.42 ^{3b}	40.26± 7.36 ^a

*Mean± S.E.

Different superscripts in the same column indicate significant differences($p < 0.05$) between groups by Duncan's multiple comparison test.

효과가 나타나지 않았다. 총콜레스테롤은 정상대조군에 비해 모든 당뇨병군들에서 낮은 수준을 보였으나 유의적인 차이를 보인 것은 pectin 첨가군이었으며 당뇨병군에 있어서는 대조군과 cellulose군에 비해 수용성 식이섬유 첨가군이 전반적으로 낮은 콜레스테롤 수준을 보였다. HDL-콜레스테롤은 무식이섬유 대조군들과 cellulose군에 비해 수용성 식이섬유 첨가군들에서 낮은 수준을 보였으나 각군사이에 유의적인 차이는 없었다.

Mardar³³⁾는 당뇨병이 유발된 쥐들은 정상쥐보다 혈중 중성지방의 수준이 높아지고 총 콜레스테롤 수준이 낮아진다고 보고한 바 있으며 본 실험에서도 당뇨병대조군이 정상대조군에 비해 중성지방수준이 높고 총 콜레스테롤 수준이 낮았으나 그 차이가 유의적이지는 않았다. 당뇨병군에서 cellulose 이외 다른 수용성 식이섬유들의 투여에 의해 중성지방의 양이 감소하는 경향을 보였는데 이와 같은 현상은 서정숙 등³²⁾이 정상쥐에 대해서 보고한 결과와 유사하다. 식이섬유 첨가군 중 guar gum과 polydextrose군에서는 대조군에 비해 중성지방의 유의적 감소를 보였는데 김유리 등³⁴⁾이 당뇨병 환자에게 guar gum을 3주간 먹인 후 혈액내 중성지방의 양이 뚜렷한 감소를 보인 것과 최민 등¹⁵⁾이 정상쥐에서 polydextrose가 혈액내 중성지방의 양을 낮추는데 효과적이라고 보고 한 것과 일치한다. Cellulose가 혈청 콜레스테롤 수준을 낮추는데는 별다른 효과를 나타내지 않는다는 Tsai³⁵⁾ 등의 보고는 본 연구에서도 관찰되었다. 식이섬유 중 수용성 식이섬유들은

콜레스테롤 저하효과가 있는 것으로 알려져 있는데 그것은 수용성 식이섬유가 장내에서 콜레스테롤 또는 담즙산염과 결합하여 담즙산의 장간순환을 억제함으로써 콜레스테롤의 재흡수가 방해되기 때문인 것으로 해석되며 본 실험에서도 당뇨병동물의 경우에 수용성 식이섬유가 투여되었을 때 혈중 콜레스테롤이 어느정도 저하되는 효과가 인정되었다. HDL-콜레스테롤은 Jenkins 등³⁶⁾이 당뇨병 환자를 대상으로 한 연구와 Simons 등³⁷⁾과 Wirth 등³⁸⁾이 고지혈증 환자를 대상으로 한 guar의 영향에 관한 연구에서 HDL-콜레스테롤이 약간 증가되긴 하였으나 유의적인 차이를 보이지 않았다고 보고 했는데 본 실험에서도 유의적인 차이를 볼 수 없었다.

본 실험에서 pectin, guar gum, polydextrose의 수용성 섬유 첨가군들은 대조군 및 cellulose군에 비해 비록 유의적인 차이를 보이지는 않았으나 당뇨병동물의 혈중 중성지방과 총 콜레스테롤 수준에서 낮은 수치를 나타냈다는 점은 이러한 식이섬유들이 보다 장기간 투여될 때 당뇨병 상태에서의 지질대사를 유의적으로 개선시킬 수도 있는 가능성을 시사한다고 볼 수 있다(Table 5).

5. 당질대사에 미치는 식이섬유의 영향

식이섬유의 첨가가 당뇨병쥐의 내당능(glucose tolerance)에 미치는 영향을 경구 당부하 검사(OGTT)에 의해 관찰한 결과는 Table 6 및 Fig. 1과 같다. 공복시 혈당수준은 정상군의 99mg/dl에 비해 모든

Table 6. Blood glucose levels during oral glucose tolerance test in normal and diabetic rats fed a diet with or without dietary fiber supplementation

Groups	Fasting (mg/dl)	30min (mg/dl)	60min (mg/dl)	120min (mg/dl)	180min (mg/dl)
Normal control(n=8)	99.78 ± 6.41 ^{Aa*}	216.13 ± 9.61 ^{Ad}	171.63 ± 9.24 ^{Ac}	134.63 ± 5.32 ^{Ab}	127.13 ± 6.36 ^{Ab}
Diabetic control(n=7)	289.00 ± 33.95 ^{Ca}	389.14 ± 10.86 ^{Bb}	374.71 ± 25.29 ^{Bab}	369.71 ± 30.29 ^{Bab}	358.14 ± 35.78 ^{Bab}
Diabetic cellulose(n=10)	159.00 ± 19.32 ^{ACa}	323.50 ± 38.38 ^{Bb}	307.60 ± 41.79 ^{Bb}	289.50 ± 45.80 ^{Bb}	262.10 ± 41.41 ^{Bab}
Diabetic pectin(n=10)	127.90 ± 23.69 ^{Aa}	334.80 ± 18.87 ^{Bb}	301.80 ± 26.16 ^{Bb}	233.20 ± 31.56 ^{Ac}	184.40 ± 31.32 ^{Aa}
Diabetic guar gum(n=10)	144.33 ± 17.15 ^{ACa}	338.40 ± 21.89 ^{Bb}	329.10 ± 24.53 ^{Bb}	278.20 ± 37.43 ^{Bb}	192.30 ± 34.74 ^{Ba}
Diabetic polydextrose(n=9)	210.33 ± 35.64 ^{Ba}	334.89 ± 28.43 ^{Bb}	338.56 ± 26.87 ^{Bb}	286.89 ± 45.55 ^{Bab}	270.78 ± 50.41 ^{Bab}

*Mean ± S.E.

Different capital superscripts in the same column indicate significant differences(p<0.05) between groups by Duncan's multiple comparison test.

Different small superscripts in the same row indicate significant differences(p<0.05) between times by Duncan's multiple comparison test.

당뇨군에서 127~289mg/dl에 이르는 고혈당치를 보였다. 무식이섬유 투여군인 당뇨대조군(289mg/dl)과 polydextrose군(210mg/dl)은 특히 유의적으로 높은 혈당치를 나타냈으며 cellulose, pectin, guar gum의 투여는 공복시 혈당수준을 유의적으로 낮추는 효과를 보였다. 포도당 섭취 후 30분에는 모든 군들에서 혈당 수준이 최고치를 보였고 모든 당뇨군들은 여전히 정상군에 비해 유의적으로 높은 혈당 수준을 보였으며 식이섬유 종류에 따른 차이는 인정할 수 없었으나 식이섬유 투여군들은 무식이섬유군인 대조군에 비해 다소 낮은 혈당 수준을 나타냈다. 60분에서는 모든 군의 혈당 수준이 감소되기 시작하였고 군간의 비교는 30분의 경우와 거의 같았다. 120분에는 정상 대조군에 비해 당뇨대조군이 여전히 유의적으로 높은 수준이었고 당뇨군에서는 pectin첨가군만이 유의적으로 낮은 수준을 나타내었다. 180분에는 무식이섬유군인 대조군에서 정상군이 당뇨군보다 유의적으로 낮은 수준이었고 당뇨군에서는 pectin과 guar gum 첨가군이 유의적으로 낮은 수준으로 감소를 보였다.

OGTT의 결과에서 cellulose, pectin, guar gum의 투여는 당뇨병동물의 공복시 혈당 수준을 유의적으로 낮추는데 효과적임을 알 수 있고 이러한 결과는 고탄수화물, 고섬유식이 당뇨병 환자의 혈당을 낮추어 준다는 Kiehm 등³⁹⁾, Anderson 등⁴⁰⁾의 보고를 뒷받침하고 있다. 경구 당부하 검사 곡선(Fig. 1)에서 식이섬유를 투여한 모든 당뇨군들에서 각 시간대(30, 60, 120, 180분)의 평균 혈당치가 무섬유투여군인 당뇨대조군에 비해 낮은 값을 보였고 특히 pectin과 guar gum은 3시간 후 공복시 혈당 수준과 유의적인 차이가 없는 수준으로 떨어졌다. 이와 같은 결과는 수용성 식이섬유인 pectin과 guar gum을 실험식에 첨가함으로써 건강인과 당뇨병 환자의 내당능을 개선시킬 수 있다고 한 보고들⁴¹⁻⁴⁴⁾과 일치하였다. 수용성 식이섬유의 내당능 개선 효과는 이들이 젤을 형성하는 특성으로 인해 위의 배출속도와 소장에서의 당의 소화를 늦춤으로써 혈당 상승효과를 억제하기 때문인 것으로 알려져 있다. Yamasita 등⁴⁵⁾은 polydextrose가 혈당저하와 내당능의 개선에 효과적이라고 보고하였으나 본

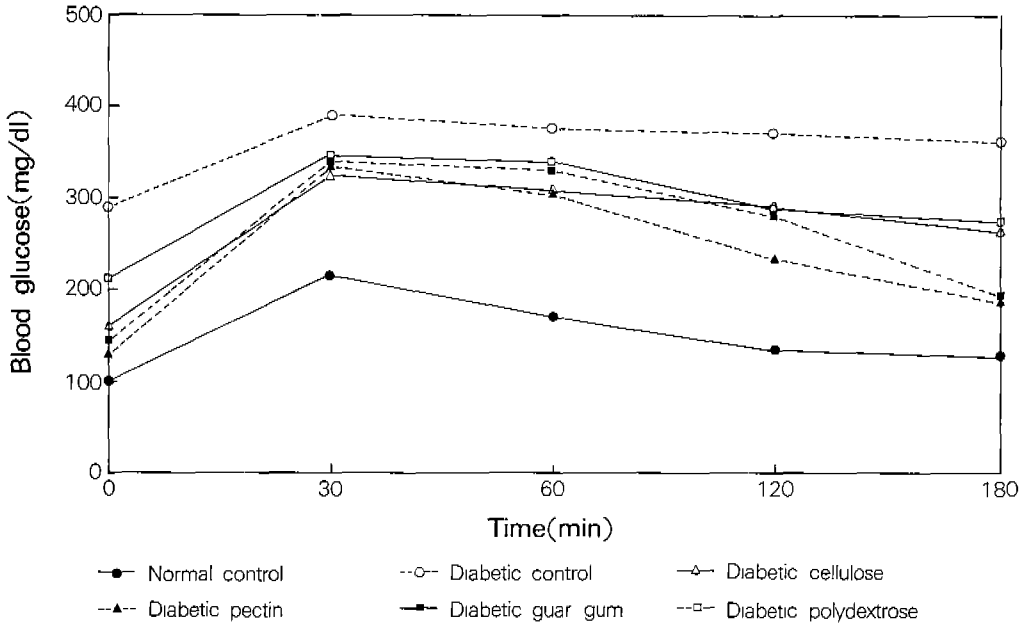


Fig. 1. Standard oral glucose tolerance test curves in normal and diabetic rats fed a diet with or without dietary fiber supplementation.

실험에서는 polydextrose가 당뇨쥐의 혈당저하와 내당능의 개선에 긍정적인 효과를 나타내지 못한 것으로 밝혀졌다(Table 6, Fig. 1).

요 약

몇 가지 정제 식이섬유의 첨가가 당뇨쥐의 장 기능과 지질 및 당질대사에 미치는 효과를 상호 비교하기 위해 수컷 SD계 성숙 흰쥐를 실험동물로 하여 streptozotocin의 1회 주사에 의해 실험적으로 당뇨병을 유도한 후 대조식(식이섬유 무첨가)과 실험식(cellulose, pectin, guar gum, polydextrose을 각각 5% 수준으로 포함)으로 4주간 사육한 후 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 무식이섬유군인 당뇨대조군은 실험기간 동안 평균 체중의 감소를 보인 반면 식이섬유 첨가군들 중에는 guar gum과 polydextrose투여군이 실험식이 급여기간 동안 평균 체중의 변화가 없었고 cellulose와 pectin 투여군은 어느 정도의 체중 증가를 보였다.

2) Cellulose, pectin, guar gum 등의 식이섬유 투여는 당뇨동물의 수분섭취량, 노배설량, 노당배설을 유의적으로 감소시킴으로서 당뇨병의 주요 증세를 호전시키는 효과를 보였다. 그러나 polydextrose는 증세 호전에 영향을 미치지 않았다.

3) 장 통과시간은 polydextrose를 제외한 식이섬유군들에서 유의적으로 단축되었으며 식이섬유 첨가군들에서 대장의 길이가 무첨가 대조군에 비해 유의적으로 길었다. Cellulose 투여는 분변의 고형 물량을 유의적으로 증가시켰으며 분변중 수분함량은 pectin군에서 가장 높았다.

Pectin과 guar gum의 투여는 조지방 배설량을 유의적으로 증가시켰다.

4) 혈청지질 중 중성지방의 수준은 pectin, guar gum, polydextrose 투여에 의해 유의적으로 감소하였으며 총 콜레스테롤 수준은 pectin군에서만 유의적으로 낮았다. HDL-콜레스테롤 수준에 미치는 식이섬유의 효과는 관찰되지 않았다.

5) 경구 당부하 검사에서 식이섬유 투여군들은 모두 무식이섬유군인 대조군에 비해 낮은 공복 혈당

수준을 보였으며 특히 pectin과 guar gum의 투여는 당뇨동물에서 뚜렷한 내당능의 개선효과를 보였다.

이상의 결과로부터 당뇨동물에 있어서 pectin, guar gum 등의 천연 식이섬유 첨가는 분변 중 조지방의 배설을 증가시키는 유익한 효과를 보인 반면 합성 식이섬유인 polydextrose의 경우는 장기능면에 영향을 미치지 않았다. Pectin, guar gum, polydextrose의 수용성 식이섬유 첨가는 혈청의 중성지방 저하작용이 있었고 pectin은 당뇨동물의 혈중 콜레스테롤을 감소시키는 효과를 보였다. 당뇨동물의 내당능의 개선에는 pectin이 가장 효과적이었고 다음이 guar gum, cellulose 순이었으며 polydextrose는 내당능의 개선 효과가 인정되지 않았다.

Literature cited

- 1) 이광우 · 손병호 · 강성구 · 박병기 · 박두호 · 민병석 · 송혜양. 한국인 18201명에서 당뇨병과 관련된 질환에 관한 역학적 연구. *당뇨병* 8 : 5-14, 1984
- 2) Coulston AM, Hollenbeck CB. Source and amount of dietary carbohydrate in patients with noninsulin-dependent diabetes mellitus. *Top Clin Nutr* 3 : 17-24, 1988
- 3) Goldberg RB. Lipid disorders in diabetes. *Diabetes Care* 4 : 561-572, 1981
- 4) West KM, Ahuja MMS, Bennett PH, et al. The role of circulating glucose and triglyceride concentrations and their interaction with other "risk factors" as determinants of arterial disease in nine diabetic population samples from the WHO multinational study. *Diabetes Care* 6 : 361-369, 1983
- 5) Reaven GM. Abnormal lipoprotein metabolism in noninsulin dependent diabetes mellitus. *Am J Med* 83 : 31-40, 1987
- 6) Anderson JW. Dietary fiber and nutrition management of diabetes mellitus In : Chen SC, ed. Proceedings of Kellogg International Symposium on Dietary Fiber. pp59-68, Center for Academic Publications, Japan, 1990
- 7) American Diabetes Association Nutritional recommendations and principles for individuals with diabetes mellitus. 1986, *Diabetes Care* 10 : 126-132, 1987
- 8) Arky R, Wylie-Rosett J, El-Beheri B. Examination of current dietary recommendations for individuals with diabetes mellitus. *Diabetes Care* 5 : 59-63, 1982
- 9) 당뇨병의 식품교환지침. 대한당뇨병학회, 대한영양사회, 한국영양학회편. 1988
- 10) Aro A, Uusitupa M, Voutilainen E, Hersio K, Korhonen T, Siitonen O. Improved diabetic control and hypocholesterolemic effect induced by long term dietary supplementation with guar gum in Type 2(insulin-independent) diabetes. *Diabetologia* 21 : 29-33, 1981
- 11) Jenkins DJA, Wolever TMS, Hockaday TDR. et al. Treatment of diabetes with guar gum. *Lancet* 2 : 779-780, 1977
- 12) Uusitupa M, Siitonen O, Savolainen K, Silvasti M, Penttila I, Parviainen M. Metabolic and nutritional effects of long-term of guar gum in the treatment of noninsulin-dependent diabetes of poor metabolic control. *Am J Clin Nutr* 49 : 345-351, 1989
- 13) Jenkins DJA, Leeds AR, Gassull MA, Cochet B, Alberti GMA. Decrease in postprandial insulin and glucose concentration by guar and pectin. *Ann Intern Med* 86 : 20-23, 1977
- 14) Peterson DB, Ellis PR, Baylis JM, Fielden P, Ajodhia J, Leeds AR, Jepson EM. Low dose guar in a novel food product : improved metabolic control in noninsulin-dependent diabetes. *Diabetic Medicine* 4 : 111-115, 1987
- 15) 최 면 · 김중대 · 주진순. 지방량을 달리한 식이 내에서 폴리텍스트로스화 가수분해 구아검의 보충이 정상 백서의 지질대사에 미치는 영향. *식품산업* 8 : 103-108, 1991
- 16) 손태화 · 심기환 · 최종욱. 식품분석학, 공학사, pp 141-142, 1983
- 17) Allain CC, Poon LS, Chen CS, Richmond W. Enzymatic determination of total serum cholesterol. *Clin Chem* 20 : 470-475, 1974
- 18) Bucolo G, Gavid H. Quantitative determination of serum triglyceride by use of enzymes. *Clin Chem* 19 : 476-482, 1973
- 19) Finley PR, Schiffman RB, Williams RJ, Luchti DA. Cholesterol in high-density lipoprotein : Use of Mg²⁺/dextran sulfate in its measurement. *Clin*

- Chem* 24 : 931-933, 1978
- 20) Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedures of statistics. M c Grow-Hill Book company NY. pp 481, 1960
- 21) Preston AM, et al. Diabetic parameters 58 weeks after injection with streptozotocin in rats fed basal diets or diets supplemented with fiber, minerals and vitamins. *Nutr Res* 11 : 895-906, 1991
- 22) Odaka H, Matsuo T. Ameliorating effects of an intestinal disaccharidase inhibitor, AO-128, in streptozotocin-diabetic rats. *日本栄養食糧學會誌* 45 : 33-38, 1992
- 23) Furuse M, Kimura RT, et al. Dietary sorbose prevents and improves hyperglycemia in genetically diabetic mice. *J Nur* 123 : 59-65, 1993
- 24) 小坂樹徳他. 糖尿病の診断に関する委員会報告. *糖尿病* 25 : 859, 1982
- 25) Story JA, Kritchevsky D. Nutrients with special functions-dietary fiber In : Slater RBA, Kritchevsky D, eds. Human Nutrition A Comprehensive Treatise, Nutrition and the Adult-Macronutrients. Vol 3A. Plenum, New York pp259-279, 1980
- 26) Anderson JW, Chen WJL. Plant fiber carbohydrate and lipid metabolism. *Am J Clin Nutr* 32 : 346-363, 1979
- 27) Anderson JW, Story L, Sieling B, Chen WJL, Petro MS, Story J. Hypocholesterolemic effects of oat-bran or bean intakes for hypercholesterolemic men. *Am J Clin Nutr* 40 : 1146-1155, 1984
- 28) Kelsay JL. A review of research on effects of fiber intakes on man. *Am J Clin Nutr* 31 : 145-159, 1976
- 29) Vahouny GV, Roy T, Gallo LL, Story JA. et al. Dietary fibers, III. Effects of chronic intake on cholesterol absorption and metabolism in the rat. *Am J Clin Nutr* 33 : 2182-2191, 1986
- 30) Hillman LC, Peter SG, Fisher CA, Pomare EW. The effects of the fiber components of pectin, cellulose and lignin on serum cholesterol levels. *Am J Clin Nutr* 42 : 207-213, 1985
- 31) 서정숙 · 한인규. 식이중에 첨가한 섬유소의 종류와 수준이 흰쥐의 체내 지질함량에 미치는 영향. *한국영양학회지* 21 : 164-172, 1988
- 32) 윤홍재 · 장유경. 식이 중 지방수준과 Fiber의 종류가 흰쥐의 지방대사에 미치는 영향. *대한가정학회지* 23 : 45-53, 1985
- 33) Madar Z. Effect of brown rice and soybean dietary fiber on the control of glucose and lipid metabolism in diabetic rats. *Am J Clin Nutr* 38 : 388-393, 1983
- 34) 김유리 · 이현철 · 조병연 · 허갑범. 인슐린 비의존형 당뇨병의 치료에 있어서 식이섬유(Guar gum)의 효과. *당뇨병* 14 : 73-78, 1990
- 35) Tsai AC, Elias J, Kelly JJ, Lin RSC, Robson JRK. Influence of certain dietary fibers on serum and tissue cholesterol levels in rats. *J Nutr* 106 : 118-123, 1976
- 36) Jenkins DJA, Wolever TMS, Taylor RH, Reynolds D, Nineham R, Hokaday TR. Diabetic glucose control, lipids and trace elements on long term supplementation with guar. *Br Med J* 7 : 1353-1354, 1980
- 37) Simons LA, Gayst S, Balasubramaniam S, Ruys J. Long-term treatment of hypercholesterolemia with a new palatable formation of guar gum. *Atherosclerosis* 45 : 101-108, 1982
- 38) Wirth A, Middelhoff G, Braeuning C, Schlierf G. Treatment of familial hypercholesterolemia with a combination of bezafibrate and guar. *Atherosclerosis* 45 : 291-297, 1982
- 39) Kiehlm TG, Anderson JW. Beneficial effects of a high carbohydrate, high fiber diet on hyperglycemic diabetic men. *Am J Clin Nutr* 29 : 895-899, 1976
- 40) Anderson JW, Ward K. High-carbohydrate, high fiber diet on hyperglycemic diabetic men. *Am J Clin Nutr* 32 : 2312-2321, 1979
- 41) Jenkins DJA, Wolver TMS, Nineham R et al. Improved glucose tolerance four hours after taking guar gum with glucose. *Diabetologia* 19 : 21-24, 1980
- 42) Levitt NS, Vinik AI, Sive AA, Child PT, Jackson WPU. The effect of dietary fiber on glucose and hormone responses to a mixed meal in normal subjects with and without autonomic neuropathy. *Diabets Care* 3 : 515-519, 1980
- 43) Aro A, Uuisitupa M, Voutilainen E, Hersio K, Korhonen T, Siitonene O. Improved diabetic and hypocholesterolemic effect induced by long term

식이섬유 첨가와 당뇨병의 대사

- dietary supplementation with guar gum in Type 2 (insulin-independent) diabetes. *Diabetologia* 21 : 29-33, 1981
- 44) Makoto N, Yasuka N, Hiroshi ABE. Effects of long-term administration of indigestible dextrin as soluble dietary fiber on lipid and glucose metabolism. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 45 : 21-25, 1992
- 45) Yamashita K, Sugawara S, Konoma I. Effect of polydextrose in the control of diabetes mellitus. 第 39 回 日本栄養食糧學會總會 講演要旨集 p178, 1985