

수용성 식이섬유소의 점도가 혈당강하에 미치는 영향

김은희 · 박산 브라디미르 · 왕 에버린

토론토 대학교 영양학과

The Relationship between Viscosity of Soluble Dietary Fiber and their Hypoglycemic Effects

Kim, Eun-Hee · Vuksan Vladimir · Wong Evelyn
Department of Nutritional Science, University of Toronto

ABSTRACT

Experiments were carried out in humans to assess the relationship between viscosity and post-prandial glucose response of soluble fibers. Eight(3 male and 5 female) healthy individuals were tested for their glucose response after taking control meals or 3 test fiber meals of different viscosities. Meal viscosity of the test food was adjusted to be between 200 and 70,000 cps. There was a significant increase in post-prandial glucose response($p=0.01$) in control meals by solely increasing the volume of water. Fiber with the highest viscosity konjac mannan demonstrated the lowest relative glucose response(70.1 ± 6.6), followed by medium viscosity xanthan(79.3 ± 8.7) and low viscosity psyllium(86.3 ± 10.5). The difference is significant at the level of $p < 0.05$. However, no significant difference in relative glucose response of the same fiber was found when the 4 levels of water were added to make different meal viscosity of each fiber($p=0.476$). This result suggested that hypoglycemic action of soluble dietary fibers is related to fiber viscosity rather than meal viscosity. (*Korean J Nutrition* 29(6) : 615~621, 1996)

KEY WORDS : soluble dietary fiber · viscosity · water volume · hypoglycemic effect.

서 론

지난 20년 동안 식이섬유소는 만성 질병치료와 예방에 중요한 성분으로 인정되었으며 높은 식이섬유소 섭취는 심장병¹⁾, 고혈압²⁾, 비만³⁾, 암⁴⁾, 장질환⁵⁾, 당뇨병⁶⁾을 예방하는 것으로 알려졌다. 이러한 질병치료 효과중 당뇨병치료 능력에 대해서는 최근 들어 많은 연구가 이루어지고 있다.

당뇨병에 대한 식이섬유소의 치료효과는 1976년 Anderson 등⁷⁾과 Jenkins 등⁸⁾에 의해 당뇨병환자에게 guar gum과 pectin을 섭취하게 하면 혈당과 insulin 분비가 낮아졌다고 발표되었다. 그후 의학적인 적용을 위해 계속 연구되고 있다. 이들 연구에 의하면 점도가 큰

수용성 식이섬유소는 음식물과 함께 섭취하면 정상인이거나 당뇨병환자의 혈액중 혈당이 강하되는 효과를 나타냈다. 이는 수용성 식이섬유소의 점성이 당류의 흡수를 방해하기 때문이며 이에 대한 기작은 여러 방향으로 연구되었다. 그 예로 음식물이 소화관에 머무는 시간과의 관계⁹⁾, 소장점막 부근의 혼합되지 않는 층의 변화에 의한 당의 확산억제¹⁰⁾ 등이 연구되었다. 그러나 최근에는 당 흡수의 저해는 수용성 식이섬유소의 점성에 의해 작은창자에서 물과 당의 전달운동(convective movement)이 어려워져 당의 흡수표면으로의 전달이 원활하지 못하므로 생기는 것으로 알려졌다¹¹⁾¹²⁾. 흡수의 저해효과는 수용성 식이섬유소인 guar gum 그리고 xylose나 glucuronidated paracetamol을 섭취한 후 흡수되어 오줌으로 배출되는 xylose¹³⁾와 glucuronidated paracetamol의 양을 측정된 실험¹⁴⁾에서 확인되었다.

Nonstarch heteropolysaccharides와 lignin의 복합물로 구성된 식이섬유소¹⁵⁾에서 수용성 식이섬유소는 pectin, β -glucans, mucilages, gums 등이며 이들은 구성성분, 결합구조, 점도, 분자량 등이 각각 다르다. 그러므로 식이섬유소 연구에서 식이섬유소 함량의 측정뿐 아니라 점도와 같은 물리적성질에 대한 연구¹⁶⁾는 생리활성을 밝히는데 중요한 부분이다. 점도에 대한 연구들은 주로 점도가 큰 guar gum을 사용하여 이루어졌으며¹⁷⁾ 최근 들어 Oat의 β -glucan 등의 다른 polysaccharides를 찾으려는 연구들도 이루어지고 있다¹⁸⁾¹⁹⁾. 점도는 수용성 식이섬유소의 종류와 농도에 따라 달라지며 이에 따라 혈당강하효과도 달라진다고 보고되었다²⁰⁾²¹⁾. 또한 섭취전 점도가 큰 것일수록 효과가 크게 나타났다고 발표되었다¹⁵⁾. 그러나 수용성 식이섬유소의 섭취량이 일정할 경우의 점도변화에 따른 혈당강하효과는 연구되지 않았다.

그러므로 본 연구에서는 점도가 가장 큰 것으로 konjac mannan, 중간 것으로 xanthan, 가장 낮은 것으로 psyllium을 선택하고 각각의 수용성 식이섬유소에 물을 첨가하여 점도를 변화시킴으로서 수용성 식이섬유소의 점도(fiber viscosity)와 물의 첨가에 의해 변화된 점도(meal viscosity)의 혈당강하효과를 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

본 실험의 점도 측정과 혈당치 측정에 사용한 gum은 konjac mannan(산지 : Japan) xanthan(sigma G-1253), psyllium(산지 : India)으로서 konjac mannan과 psyllium은 각각 일본과 인도의 현지공장에서 xanthan은 sigma에서 구입하였다. 실험에 사용한 control과 수용성 식이섬유소용액의 종류는 Table 1에 나타나 있다. 이때 Control은 75ml glucose 용액(glucodex : glucose 25mg/mL, Rougier Inc)에 0, 75, 225 또는 525ml의 물을 넣은 용액이고 각각 H0, H75, H225, H525로 표기 하였다. 또한 수용성 식이섬유소 용액은 control과 같이 75ml glucose용액에 물을 넣은 용액들에 konjac mannan, xanthan, psyllium 등의 수용성 식이섬유소를 3g 넣었다. 10분 동안 mag-

netic stirrer에서 저온후 실온에 3시간 정도 두고 가끔씩 흔들어 주며 점성용액을 만들었다. 이 점성용액은 냉장고에 보관하고 다음날 아침에 사용하였다.

2. 실험 방법

1) 점도 측정

수용성 식이섬유소의 점도는 Brookfield Synchron-lectric viscometer(model LVT, spindle F)의 12, 30 sec⁻¹의 shear rate에서 측정하였고 hardness는 Instron UTM(Model 1132)를 사용하여 측정하였다.

2) 혈당치 측정

혈당치 측정은 당뇨나 대사이상이 없는 건강한 남녀 8명(남자 : 3명, 여자 : 5명, 나이 : 28±7살, 몸무게 : 59.2±3.5kg)을 모집하여 실시하였다. 이 실험은 토론토 대학의 Ethic Committee로 부터 승인되었으며 실험대상자들에게는 실험에 대한 충분한 설명후 실험동의서를 얻었다. 이번 실험은 single-blinded, randomized, cross-over design으로 이루어 졌으며 Table 1에서의 4가지의 control과 12가지의 점성 용액을 각각 3번씩 실시하였다. 시료섭취는 아래와 같은 순서로 전날 저녁부터 10~12시간 굶은 후 하루 한 시료씩 섭취하게 하였다. 섭취 날짜는 개인 형편에 따랐고 섭취전 질문지 조사로 몸의 상태나 섭취후 상태를 조사하였다.

C₁-T₁-T₂-C₂-T₃-T₄-C₃ —— (C=Control, T =시료)

Finger-prick blood sample들은 시료를 섭취하기전 굶은 상태에서 그리고 시료 섭취 15, 30, 45, 60, 90분 후에 Auto lancets(Owen Mumford Ltd., Woodstock, Oxon)을 사용하여 채취하였다. Blood sample은 410µg sodium fluoride와 250µg potassium oxalate가 들어 있는 tube에 받아서 -20°C에서 보관하였다. 혈당치는 Automatic analyzer로 측정하였다(YSI 2300 Stat glucose/L-lactate analyzer model V115).

3) 통계 처리

Blood glucose response curves 밑에 있는 면적은 수학적으로 계산되었으며 fasting level 밑의 부분은 제

Table 1. Different combinations of control and test fiber meals

	Control (G=75ml)	Konjac (G=75ml, K=3g)	Xanthan (G=75ml, X=3g)	Psyllium (G=75ml, P=3g)
Low viscosity(H525)	H=525ml	H=525ml	H=525ml	H=525ml
Low-Medium viscosity(H225)	H=225ml	H=225ml	H=225ml	H=225ml
Medium viscosity(H75)	H=75ml	H=75ml	H=75ml	H=75ml
High viscosity(H0)	H=0ml	H=0ml	H=0ml	H=0ml

G=Glucose ; H=Water ; K=Konjac ; X=Xanthan ; P=Psyllium

외되었다²²⁾.

결과들의 분석을 위해 Student's paired t-tests, ANOVA 그리고 Neuman-keuls방법이 사용되었다.

결과 및 고찰

1. 점도 측정

혈당치 측정실험에 사용된 4가지 농도의 점도는 12 와 30 sec⁻¹ shear rate에서 측정되어 Table 2에 나타나 있다. H0(4%) konjac mannan과 xanthan용액의 점도는 점성이 커서 viscometer의 최대치인 100을 넘었고 psyllium의 H525용액(0.5%)은 최하치인 0에 미치지 못하였으므로 측정할 수 없었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 모든 범위의 hardness를 측정할 수 있는 Instron UTM을 사용하여 Table 3의 결과를 얻었다. 이때 Viscometer와 Instron UTM으로 얻은 결과의 상관관계를 보면 Fig. 1에 나타나 있는 것과 같이 99% 직선의 상관관계를 보였으므로 이 결과로부터 H0(4%) konjac mannan과 xanthan용액의 점도를 예측할 수 있었다. 이상의 결과로 나타난 Fig. 2를 보면 점도는 농도에 비례하였고 30 sec⁻¹ shear rate의 점도가 12 sec⁻¹ shear rate의 점도보다 작아진 현상이 있음을 알 수 있었다. 이는 gum의 점성용액은 Non-Newtonian 용액으로서 shear thinning 즉 shear rate이 커질수록 점도가 작아지는 현상 때문으로 설명된다²³⁾. 이와 같이 농도가 같은 용액이라도 shear rate이 다를 경우 점도가

달라지므로 장에서의 점도는 shear rate인 장운동의 세기를 알 수 없으므로 예측할 수 없었다. 다만 확실한 것은 섭취시의 점도는 장에서는 달라진다는 것이다.

2. 혈당치 측정

1) Control들의 혈당강하효과 비교

물의 양에 따른 glucose의 흡수정도를 측정한 control실험결과는 Fig. 3에 나타나 있으며 glucose response curves 밑의 면적이 H0, H75, H225, H525에서 각각 73.1±13.6, 96.5±14.7, 97.8±19.3 그리고

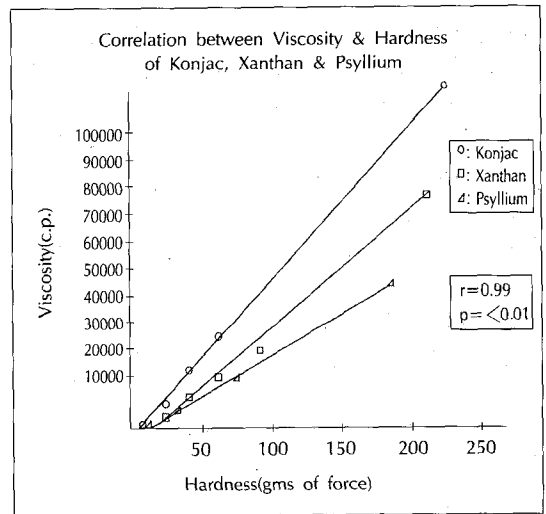


Fig. 1. Correlation of viscosity and hardness of 3 fibers.

Table 2. Viscosity measurements of konjac, xanthan and psyllium at shear 12 and 30 sec⁻¹

Sample	Viscosity(Shear 12 sec ⁻¹)		Viscosity(Shear 30 sec ⁻¹)	
	Scale	Visc.(c.p.)	Scale	Visc.(c.p.)
Standard	7.5	5100	19.0	5100
KJM+H0	>100	>68000	>100	>26800
KJM+H75	25.5	17340	44.8	12036
KJM+H225	3.0	2040	8.0	2147
KJM+H525	1.0	680	1.0	268
KJM+H0	>100	>68000	>100	>26800
KJM+H75	19.5	13260	23.5	6324
KJM+H225	10.0	6800	13.0	3490
KJM+H525	3.0	2040	5.0	1342
KJM+H0	75.0	51000	>100	>26800
KJM+H75	4.5	3060	8.4	2244
KJM+H225	1.5	1020	0.5	134
KJM+H525	0.0	<680	0.0	<268

Table 3. Hardness measurement by instron UTM

Fiber type	H=0(High Visc.)	H=75(Med. Visc.)	H=225(L-M Visc.)	H=525(Low Visc.)
Konjac	624g	63g	23g	17g
Xanthan	262g	90g	44g	25g
Psyllium	183g	30g	18g	15g

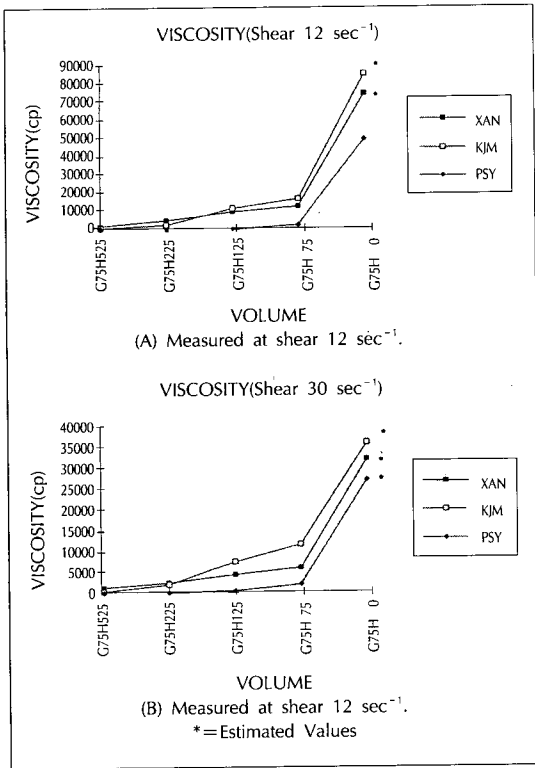


Fig. 2. Viscosity measurements of konjac, xanthan, and psyllium at shear rate 12 and 30 sec⁻¹.

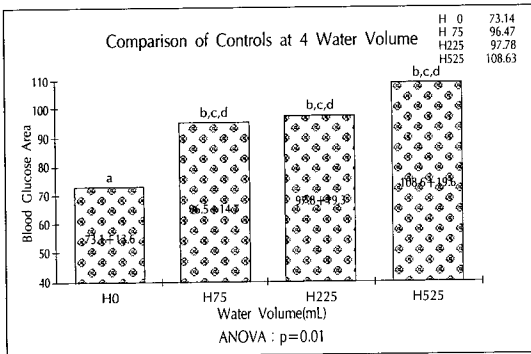


Fig. 3. Comparison of incremental areas under the glucose response curve of control tests at four different water volumes.

108.6 ± 19.6 mmol · min/L였다. 이 결과에서 H0는 H75, H225, H525보다 유의적으로(p=0.01) 적게 나왔으며 H525와 비교하여 32.7%나 적었다. 또한 Fig. 4에 나타난 섭취후 혈당의 변화에서도 H525 curve의 최고치는 H0, H75, H225의 curve보다 유의적으로 높게 나왔다. 이같은 결과는 glucose용액에 더 많은 물을 첨가하여 섭취할수록 장에서 glucose 흡수가 커져서 blood glucose가 높아짐을 나타내었다. 이상의 결과는 Gregersen²⁴⁾ 등과 Torsdottir²⁵⁾ 등의 실험결과에서 식

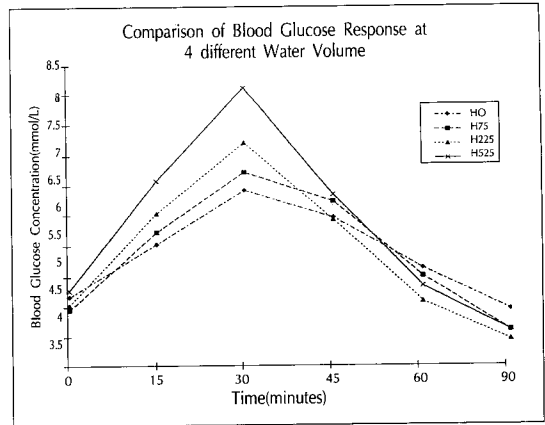


Fig. 4. Comparison of blood glucose response of control tests at four different water volumes.

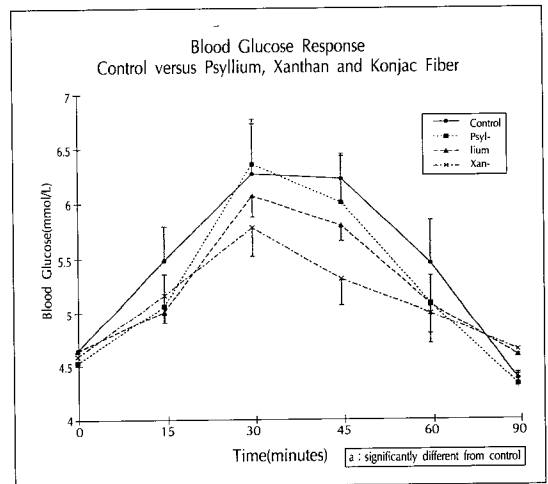


Fig. 5. Comparison of blood glucose response between control and 3 fiber tests at the H0(4% solution).

사시 물을 많이 섭취하면 혈액의 혈당치와 insulin값이 증가한다는 결과와 일치하였다.

2) Control들과 수용성 식이섬유소용액들의 혈당강하효과 비교

각 control과 수용성 식이섬유소용액들의 혈당강하효과는 Fig. 5의 점도가 가장 높은 H0용액의 혈당변화에서 보는 것과 같이 수용성 식이섬유소용액을 섭취한 경우 혈액의 혈당치는 control보다 낮았다. 그외의 H75용액, H225용액 그리고 H525용액에서도 같은 결과들을 얻었다. 이상의 결과에서 이번 실험에 사용된 수용성 식이섬유소들은 모든 경우에서 혈당강하 효과를 나타내었다.

3) 수용성 식이섬유소들의 혈당강하효과의 비교

수용성 식이섬유소들의 농도에 따른 glucose res-

ponse curve 밑의 면적은 Fig. 6에 나타난 것과 같이 농도 사이에는 유의적인 차이를 보였고($p=0.01$) 모든 농도에서 konjac mannan이 가장 낮은 혈당치를 나타냈으며 xanthan, psyllium의 순이었다. 그러나 이 glucose response curve 밑의 면적은 용액 양의 증가에 따른 혈당강하 효과가 고려되지 않았으므로 이를 고려하여 같은 용액 양에서의 control 값에 대한 각 수용성 식이섬유소값의 % 인 relative glucose response가 수용성 식이섬유소 자체의 혈당강하 효과로 생각된다. Fig. 7에 나와있는 것과 같이 이 relative glucose response의 경우도 konjac mannan 70.1 ± 6.6 , xanthan 79.3 ± 8.7 , psyllium 86.3 ± 10.5 로서 섬유소들 사이에는 유의적인 차이가 있었으며($p=0.003$) 혈압강하 효과가 konjac mannan, xanthan, psyllium의 순으로 크게 나타났다.

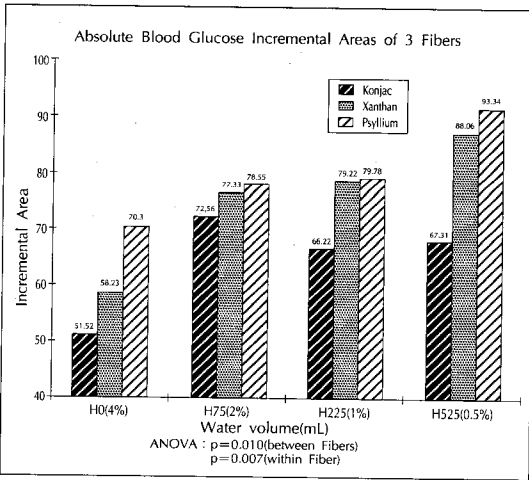


Fig. 6. Absolute blood glucose incremental areas of the 3 fibers at four different water levels.

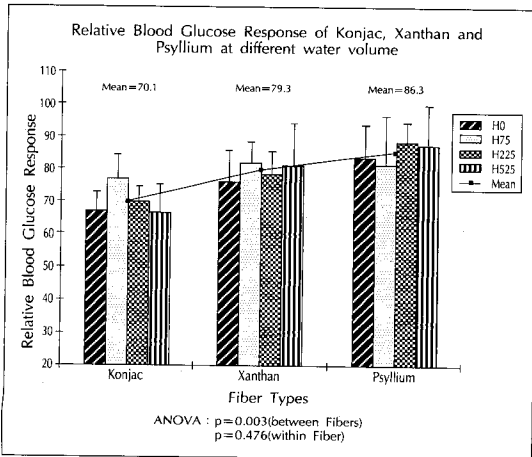


Fig. 7. Relative blood glucose response of Konjac, Xanthan, and Psyllium at different water levels.

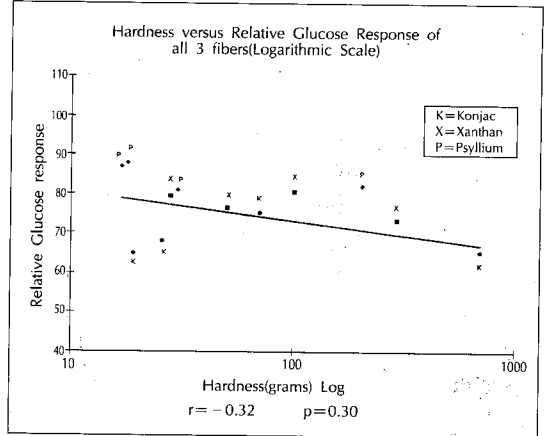


Fig. 8. Correlation of hardness and relative blood glucose response of all 3 fibers(Logarithmic scale).

그러나 같은 종류의 섬유소에서는 물을 첨가하여 점도를 변화시킨 경우 점도 변화에 따른 relative glucose response들의 유의적인 차이는 없었다($p=0.476$). 또한 Fig. 8에서 수용성 식이섬유소용액들의 점도와 비례 관계에 있는 hardness와 relative glucose response의 관계를 보면 점도가 커질수록 relative glucose response가 약간 낮아지는 경향을 보였으나 상관관계가 적었고($r=0.32$) hardness사이의 유의적 차이도 없었다($p=0.30$). 더욱 hardness가 거의 같은 15~18g의 범위에 있는 konjac mannan과 psyllium의 relative glucose response의 차이는 23%로서 크게 나타났다. 이상의 결과로부터 같은 종류의 식이섬유소 효과는 섭취량이 같을 경우 물로서 농도를 변화시켜도 같은 효과를 나타내는 것을 알 수 있었다. 이는 식이섬유소의 점도가 섭취후 소화액에 의해 희석되므로 polysaccharide 분자의 점도보다는 장에서도 분해되지 않고 있는 polysaccharide 분자의 물을 잡고 있는 능력(occupancy)이 중요한 것으로 추측된다. polysaccharide분자는 분자량이 커지면 물을 잡아당기는 능력도 커지는 성질²⁶⁾이 있으므로 점도와 혈당강하 효과뿐 아니라 분자량과 혈당강하 효과의 관계도 연구해 볼 문제이다.

결론

본 연구에서는 수용성 식이섬유소의 점도와 혈당강하 효과의 관계를 알기 위해 8명(남자: 3명, 여자: 5명)의 건강한 성인을 상대로 실험하였다. 점도의 폭을 크게하기 위해서 점도가 큰 것으로 konjac mannan, 중간 것으로 xanthan, 낮은 것으로 psyllium을 택하고 각각의 수용성 식이섬유소에 0, 75, 225, 525ml 등의 물을 첨가하여 농도를 변화시켰다.

4가지의 Control과 시료인 12가지의 수용성 식이섬유소용액 섭취로부터 얻은 결과는 control의 경우 glucose response curves 밑의 면적이 H0, H75, H225, H525에서 각각 73.1 ± 13.6 , 96.5 ± 14.7 , 97.8 ± 19.3 그리고 108.6 ± 19.6 mmol min/L였다. 그러므로 섭취한 당의 흡수는 물의 섭취가 많을수록 커지는 것을 알 수 있었다. 수용성 식이섬유소들의 relative glucose response는 점도가 가장 큰 konjac mannan은 70.1 ± 6.6 , 중간의 점도를 가진 xanthan은 79.3 ± 8.7 , 점도가 가장 작은 psyllium은 86.3 ± 10.5 로서 점도가 클수록 혈당강하효과가 컸던 반면 같은 수용성 식이섬유소에서는 물을 첨가하여 점도를 변화시켜도 점도 차이에 따른 혈당강하효과는 없었다($p=0.476$).

결론적으로 섭취량이 같은 경우 수용성 식이섬유소 점도의 혈당강하효과는 수용성 식이섬유소 자체의 점도가 클수록 커지고 섭취시 변화된 점도에는 무관하였다.

Literature cited

- 1) Anderson JW., Deakins DA., Floor TL., Smith BM., Whitis SE. Dietary fiber and coronary heart disease. *Crit Rev Food Sci Nutr* 29 : 95-147, 1990
- 2) Anderson JW. Plant fiber and blood pressure. *Ann Intern Med* 98 : 843-846, 1983
- 3) Anderson JW., Bryant CA. Dietary fiber : Diabetes and obesity. *Am J Gastroenterol* 81 : 898-906, 1986
- 4) David M. Klurfeld. Dietary Fiber-mediated Mechanisms in Carcinogenesis. *Cancer Research(suppl.)* 52 : 2055s-2059s, April 1.1992
- 5) Prakash Nair, John F. Mayberry. Vegetarianism, Dietary Fiber and Gastro-Intestinal Disease. *Dig Dis* 12 : 177-185, 1994
- 6) Frank Q. Nuttal. Dietary fiber in the Management of Diabetes. *Diabetes* 42 : 503-508, April 1993
- 7) Kiehlm TG., Anderson JM., Ward K. Beneficial effects of a high carbohydrate high fiber diet in hyperglycemic men. *Am J Clin Nutr* 29 : 895-899, 1976
- 8) Jenkin DJA., Leeds AR., Gassull MA., Wolever TMS., Goff DV., Alberti KGMM., Hockaday TDR. Unabsorbable carbohydrates and diabetes : Decreased post-prandial hyperglycemia. *Lancet* 2 : 172-174, 1976
- 9) Sandhuks EL, Samahi MM., Mena I., Dooley CP., Valenzuela JE. Effect of pectin in gastric emptying and gastroduodenal motility in normal subjects. *Gastroenterology* 92 : 486-92, 1987
- 10) Flourie B., Vidon N., Florent CH., Bernier JJ. Effect of pectin on jejunal glucose absorption and unstirred layer thickness in normal man. *Gut* 25 : 936-41, 1984
- 11) Blackburn NA., Redfern JS., Jarjis H., Holgate AM., Han-ning I., Scarpello JHB., Johnson IT., Read NW. The mechanism of action of guar gum in improving glucose tolerance in man. *Clin Sci(Lond)* 66 : 329-336, 1984
- 12) Edwards CA., Johnson IT., Read NW. Do viscous polysaccharides slow absorption by inhibiting diffusion or convection? *Eur J Clin Nutr* 42 : 307-312, 1988
- 13) Jenkins DJA., Wolever TMS., Leeds AR., Gassull MA., Haisman P., Dilawari J., Goff DV., Metz GL., Alberti KGMM. Dietary fibers, fiber analogues, and glucose tolerance : Importance of viscosity. *Br Med J* 1 : 1392-394, 1978
- 14) Holt S., Heading RC., carter DC., prescott LF., Tothill P. Effect of gel fiber on gastric emptying and absorption of glucose and paracetamol. *Lancet* 1 : 636-639, 1979
- 15) Institute of Food Technologists' Expert Panel on Food Safety & Nutrition. Dietary Fiber. *Food technology* 133-139, Oct. 1989
- 16) Morris ER. Physico-chemical properties of food polysaccharides, in "Dietary Fiber-A Component of food-Nutritional Function in Health and Disease", Schweizer T., ed., Springer-Verlag, London 41-56, 1992
- 17) Peter R. Ellis, Fathy M. Dawoud, Edwin R. Morris. Blood glucose, plasma insulin and sensory responses to guar-containing wheatbreads : Effects of molecular weight and particle size of guar gum. *Br J Nutr* 66 : 363-379, 1991
- 18) K. E. Bach Knudsen, Inge Hansen, B.Borg Jensen and Karin Ostergard. Physiological implications of wheat and oat dietary fiber. New Developments in Dietary Fiber edited by I. Furda and C. J. Brine, Plenum Press, New York 135-150, 1990
- 19) Pwter J. Wood, Jan T. Braaten, Fraser W. Scott, K. Doreen Riedel, Mark S. Wolynetz and Maurice W. Collins. Effect of dose and modification of viscous properties of oat gum on plasma glucose and insulin following and oral glucose load. *Br J Nutr* 72 : 731-743 1994
- 20) Edwards CA., Blackburn NA., Craigen L et al. Viscosity of food gums determined in vitro related to their hypoglycemic actions. *Am J Clin Nutri* 46 : 72-77, 1987
- 21) P.R. Ellis, E.R. Morris. Importance of the rate of hydration of pharmaceutical preparations of guar gum : A new in vito monitoring method. *Diabetic medicine* 8 : 378-381, 1991
- 22) Wolever TMS., Jenkins DJA. The use of the glycemic index in predicting the blood glucose response to mixed meals. *Am J Clin Nutr* 43 : 167-173, 1986
- 23) E.R. Norris, A.N. Cutler, S.B. Ross-Murphy, D.A. Rees. concentration and shear rate dependence of viscosity in random coil polysaccharide solutions. *Carbohydrate po-*

ymers 1 : 5-21, 1981

- 24) Gregersen S., Rasmussen O., Winther E. and Hermansen K. Water volume and consumption time : Influence on the glycemic and insulinemic responses in noninsulin-dependent diabetic subjects. *Am J Clin Nutr* 52 : 515-518, 1990
- 25) Torsdottir I. and Anderson H. Effect on the postprandial glycemic level of the addition of water to a meal ingested by healthy subjects and Type 2 diabetic patients. *Diabetologia* 32 : 321-335, 1989
- 26) Jaekman Hwang, Jozef L. Kokini. Structure and rheological function of side branches of carbohydrate polymers. *J. Texture Studies* 22 : 123-167, 1991