

콜레스테롤 투여 흰쥐에 있어서 식이섬유가 콜레스테롤 대사에 미치는 영향

양정례 · 서명자 · 송영선^{*†}

부산대학교 식품영양학과

*인제대학교 식품영양학과

Effects of Dietary Fibers on Cholesterol Metabolism in Cholesterol-Fed Rats

Jeong-Lye Yang, Myung-Ja Suh and Young-Sun Song^{*†}

Dept. of Food Science and Nutrition, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

*Dept. of Food Science and Nutrition, Inje University, Kimhae 621-749, Korea

Abstract

This study was carried out to determine the effects of sodium alginate and cellulose on the cholesterol metabolism in cholesterol-fed rats. Thirty male Sprague-Dawley rats were randomly assigned to three dietary treatments. Rats were fed, ad libitum, diets containing 10% dietary fibers as sodium alginate, cellulose or fiber-free with 1% cholesterol for 4 weeks. The results obtained were as follows: the feeding of sodium alginate with 1% cholesterol induced a significant decrease in plasma cholesterol and TG. The feeding of sodium alginate significantly decreased hepatic total lipids and TG levels, whereas the feeding of sodium alginate significantly increased hepatic HMG-CoA reductase activity. The feeding of sodium alginate and cellulose significantly increased fecal cholesterol and bile acid excretion. The excretion of TG in sodium alginate group, however, was two-fold and four-fold increased compared to cellulose and fiber-free group, respectively. As a result of this study, the ingestion of sodium alginate decreased plasma cholesterol and TG concentrations and liver TG concentration. This may be explained by the facts that fecal cholesterol, bile acid and TG level were increased significantly in sodium alginate group. The increased hepatic HMG-CoA reductase activity by sodium alginate feeding appears to be corresponded to whole-body cholesterol homeostasis.

Key words: dietary fiber, cholesterol, rats, HMG-CoA reductase

서 론

최근 우리나라의 식생활이 서구화되면서 관상심장계질환(Coronary Heart Disease : CHD)의 발생이 증가추세에 있는 가운데(1), 고섬유식이 비만증을 포함한 당뇨병, 고혈압, 동맥경화증 및 악성종양 등 각종 만성 퇴행성 질환(성인병)의 예방과 치료에 도움이 된다고 발표되고 있다(2). 특히, CHD는 관상동맥에 혈중 지질이 침착하여 심장조직의 죽상경화화 사멸을 야기하여 일어나는 급성 질환인데, 병인에 흡연, 비만, 고혈압, 당뇨, stress 같은 많은 요인이 작용하지만 혈중 콜레스테롤 상승이 주요 위험인자로 인식되고 있다(3).

식이섬유 특히 수용성 식이섬유는 콜레스테롤 수준을 낮추는데 효과적이라고 보고되어 왔다(4-7). 수용

성 식이섬유가 콜레스테롤 농도를 낮추는 가능한 기작으로는 첫째, 식이섬유가 장내용물의 점성을 증가시켜 지질흡수를 저해하여 혈장과 간 콜레스테롤 농도를 낮춘다는 것과(8,9) 둘째, 소장에서의 담즙산의 재흡수를 방해하여 변으로의 sterol 배설 증가에 따른 체내 콜레스테롤 pool 크기 감소에 따른 것이라는 것과(10-14) 셋째, 대장에서의 식이섬유 발효 부산물인 short chain fatty acids가 콜레스테롤 합성능을 감소시키는 것으로 알려져 있다(15). 해조류에는 수용성 식이섬유가 다량 함유되어 있는데 그 중 alginate는 미역, 다시마, 툫 같은 갈조류에 20~30%나 함유되어 있으므로 우리민족이 용이하게 섭취할 수 있는 식이섬유의 한 형태이다(16). Alginate의 주요 구성분은 uronic acid(β -D-mannuronic acid와 α -L-glucuronic acid가 β -1,4 결

[†] To whom all correspondence should be addressed

합을 하고 있는 직쇄상의 복합체)로 galacturonic acid 로 구성된 pectin과 유사한 특성을 가질 것으로 사료되어진다(17). 최근 강(18)은 무콜레스테롤 식이에 첨가한 sodium alginate가 흰쥐의 혈장 콜레스테롤 농도에는 영향을 미치지 않았으나 혈장 중성지방, LDL-콜레스테롤, 간 콜레스테롤 농도를 유의적으로 낮추었으며, 그 가능한 기작으로 sodium alginate가 분변으로의 중성지방, 콜레스테롤과 담즙산의 배설을 증가시켰기 때문이라고 보고하였다. 본 실험에서는 콜레스테롤을 투여한 흰쥐에서 sodium alginate와 cellulose가 지질 조성에 미치는 영향과 그 기작에 대해 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

실험동물의 사육 및 식이

체중 $100 \pm 20g$ 의 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐 30마리를 서울 대종기에서 구입하여 처음 1주일간은 plastic cage속에 두 마리씩 넣어 고형사료로 예비 사육하였다. 적응기간 후, 한마리씩 사육철망상자 속에 넣고 난괴법에 의해 각 10마리씩을 무섬유 식이(fiber-free)군, cellulose군, sodium alginate군으로 나누어 자유급식법으로 4주간 사육하였다. 각 군의 식이 조성은 Table 1과 같이 조제하여 사용하였으며 콜레스테롤은 1% 농도로 첨가하였다. 전 사육기간 동안 실험식이와 물은 자유로이 섭취하게 하고, 사육실의 온도는 20~25°C의 실온을 유지하였고, 12시간 간격으로 점등 및 소등하였다. 식이 섭취량은 주 2회, 체중 증가량은 매 주 1회 측정하였다.

혈액, 장기와 분변의 수집 및 처리

실험기간 종료 후 사육한 흰쥐를 14시간 동안 절식시켜 dry ice로 회생시켜 개복하였다. 개복 후 EDTA 10mg씩을 넣은 10cc용 주사기로 심장에서 채혈하였

고, 간은 적출하여 0.9% 생리식염수로 씻은 다음 여과지로 물기를 제거하고 중량을 측정한 후 -70°C에서 냉동보관하였다. 각 식이군별로 실험식이에 적응이 되었다고 생각되는 사육 21일째 부터 흰쥐를 48시간 동안 대사 cage에 한마리씩 넣어 소변과 대변을 분리 수집하였으며, 분변은 동결건조하여 마쇄한 것을 -20°C로 냉동건조하여 분석시에 사용하였다.

혈장 분리, 지질 및 단백질 함량

채취한 혈액은 4,000rpm으로 10분간 원심분리하여 혈장을 얻었으며, 냉동보관(-20°C)하면서 분석시에 사용하였다. 혈장의 총 콜레스테롤(Sigma Kit, No. 352-50) (21), 중성지질(Sigma Kit, No. 339-20) 및 인지질(영연화학주식회사, PL-사이름-600 '영연')정량은 각각 효소법을 이용하여 측정하였다. 혈장의 단백질 함량은 Lowry법으로 측정하였으며(19), 표준물질로는 bovine serum albumin을 사용하였다. 상기의 모든 분석은 각 시료에서 2번 측정하였다.

간의 지질 및 단백질 함량

간지질 추출은 Folch 등(20)의 방법을 수정하여 지질을 추출하고 chloroform으로 25ml이 되도록 정용하여 실험에 사용하였다. 간지질 추출액 중의 콜레스테롤, 중성지방 및 인지질 함량은 혈장 중의 분석과 동일한 효소법을 이용하되 탁도에 의한 오차를 줄이기 위해 Sale의 방법(21)을 도입하였다. 각 시료 중의 단백질 함량은 Lowry법(19)으로 측정하였다.

Microsomal HMG-CoA reductase 활성의 측정

간세포는 teflon pestle이 달린 Potter-Elvehjem homogenizer를 이용하여 균질화하고 microsome은 차별 원심분리법으로 분리하였다. 간으로부터 조제한 microsome은 효소활성 측정 직전 가용화하여 기질로서 1mM

Table 1. The composition of the experimental diet

Constituents	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate	(%)
Corn starch	64.8	54.8	54.8	
Casein	20.0	20.0	20.0	
Corn oil	10.0	10.0	10.0	
AIN-Mineral mixture	3.0	3.0	3.0	
AIN-Vitamin mixture	1.0	1.0	1.0	
Cholesterol	1.0	1.0	1.0	
Choline bitartarate	0.2	0.2	0.2	
Cellulose	-	10.0	-	
Sodium alginate	-	-	10.0	

HMG-CoA와 2mM NADPH를 혼합하여 350nm에서 시간에 따른 흡광도의 감소를 측정하고 효소의 활성을 nmole/min/mg microsomal protein으로 표시하였다(22).

분변중의 지질 조성과 담즙산 함량 측정

동결건조하여 분말화한 변에서 Soxhlet법으로 지질을 추출한 후 총 지방 함량은 비중법, 콜레스테롤(Sigma kit, No. 352-50) 및 중성지질(Sigma kit, No. 339-20)은 효소법을 이용한 kit로 측정하였다. 분변 중의 담즙산 함량은 최 등의 방법(23)을 이용하여 추출하고 효소법으로 측정하였다(Sigma kit No. 450).

통계처리

실험결과는 평균과 표준오차로 표시하였으며, 각 식이군간의 유의성은 one-way ANOVA(analysis of variance)로 조사하여 유의성이 있는 군에 대해서는 $p < 0.05$ 수준에서 Fisher's Least Significant Difference test로 검정하였다.

결과 및 고찰

식이 섭취량, 체중 증가량, 식이효율 및 간 무게

각 실험식이로 4주간 사육한 흰쥐의 실험식이 섭취량, 체중 증가량, 식이 효율 및 간 무게는 Table 2와 같다. 1일 평균 식이 섭취량은 무섬유 식이군과 sodium alginate군에 비해 cellulose군이 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 이 결과는 흰쥐의 식이에 첨가한 sodium alginate 10%는 식미에 영향을 미치지 않음을 보여준다. 식이섭취에 따른 1일 평균 체중 증가량과 간 무게는 무섬유 식이군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군이 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 또한 식이 효율은 sodium alginate 첨가군이 다른 식이군에 비해 유의적으로

낮은 식이 효율을 보였다($p < 0.05$). 이와 같이 식이 섭취량은 cellulose군이 가장 낮았던 반면 sodium alginate군에서 체중 증가량과 식이 효율이 가장 낮았는데($p < 0.05$) 이는 alginic acid와 sodium alginate 급여가 체중 증가량과 사료효율을 유의적으로 감소시켰다는 최 등(24)의 보고와 일치하였다. 따라서 수용성 식이섬유 sodium alginate는 식이에 첨가시 충분한 acceptability를 주면서 효과적으로 체중 증가를 억제할 것으로 사료된다.

혈장의 지질 및 단백질 함량

혈장내의 콜레스테롤, 중성지방, 인지질 및 단백질 함량을 측정한 결과는 Table 3과 같다. 혈장 콜레스테롤 함량은 fiber-free군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 식이섬유, 특히 수용성 식이섬유가 콜레스테롤을 저하시킨다는 보고는 많으며 Tsai 등(25)은 0.2~0.5% 콜레스테롤 투여 흰쥐에 있어서 5~7% pectin과 gum arabic 섭취는 혈장과 간의 콜레스테롤 농도를 저하시켰고, Shinnick 등(26)은 1% 콜레스테롤과 0.2% cholic acid로 흰쥐에서 지방간을 유도한 후 0~10% high fiber oat flour를 투여했을 때 투여량에 의존적으로 혈청과 간의 콜레스테롤 농도를 저하시켰다고 보고하였다. 식이섬유에 의한 이러한 콜레스테롤 농도 저하 효과는 소장 goblet cell에서 분비되는 점액성 물질이 unstirred water layer를 형성하여 지질의 흡수를 방해하기 때문으로 알려져 있다(27).

콜레스테롤은 생명체에 있어서 필수적인 생리물질로서, 세포막의 구성성분이 되는 동시에 vitamin D₃, 담즙산과 스테로이드 호르몬의 전구체이기도 하지만 혈중 콜레스테롤 상승은 관상심장 질환의 중요한 위험인자로 알려져 있다. 체내 총 콜레스테롤 함량의 약 2/3는 체내에서 만들어지는 내인성이고, 1/3 가량이 식이

Table 2. Feed intake, body weight gain, feeding efficiency, liver weight in rats fed a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate with 1% cholesterol¹⁾

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Feed intake(g/day) ²⁾	30.58±0.50 ^b	22.71±0.28 ^a	27.67±0.46 ^b
Body weight gain(g/day) ³⁾	3.12±0.11 ^b	3.54±0.16 ^b	1.88±0.11 ^a
Feeding efficiency ⁴⁾	10.74±0.47 ^b	15.21±0.63 ^c	6.51±0.37 ^a
Liver weight(g)	12.66±0.21 ^b	13.65±0.24 ^b	9.75±0.16 ^a

¹⁾ Values are mean±SEM(n=10). All groups were sacrificed after 14hrs of fasting. Data were analyzed by one-way ANOVA and Fisher's least significant difference test whether mean values were different between groups. Values in rows without common superscripts are significantly different($p < 0.05$)

²⁾ Feed intake(g/day)=total food intake g/28days

³⁾ Weight gain(g/day)=increased body weight g/28days

⁴⁾ Feeding efficiency=(weight gain g/food intake g)×100

Table 3. Plasma cholesterol, TG, phospholipid and protein concentrations in rats fed a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate with 1% cholesterol¹⁾

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Total cholesterol(mg/dl)	70.98 ± 0.39 ^b	73.07 ± 3.10 ^b	53.04 ± 1.26 ^a
Triglyceride(mg/dl)	35.81 ± 1.45 ^b	30.86 ± 1.01 ^b	24.14 ± 0.60 ^a
Phospholipid(mg/dl)	214.63 ± 21.54 ^a	387.96 ± 15.64 ^b	251.36 ± 12.50 ^a
Protein(g/dl)	1.13 ± 0.007	1.16 ± 0.006	1.24 ± 0.018

¹⁾Values are means ± SEM(n=10). All groups were sacrificed after 14hrs of fasting. Data were analyzed by one-way ANOVA and Fisher's least significant difference test whether mean values were different between groups. Values in rows without common superscripts are significantly different(p<0.05)

Table 4. Liver total lipid, cholesterol, TG, phospholipid and protein concentrations in rats fed a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate with 1% cholesterol¹⁾

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Total lipids(mg/g)	124.00 ± 2.87 ^b	168.00 ± 3.72 ^c	90.40 ± 1.73 ^a
Total cholesterol(mg/g)	10.86 ± 0.21	11.55 ± 0.27	9.87 ± 0.16
Triglyceride(mg/g)	79.24 ± 3.90 ^b	104.93 ± 3.71 ^b	34.81 ± 2.28 ^a
Phospholipid(mg/g)	5.96 ± 0.23 ^a	8.28 ± 0.07 ^b	5.92 ± 0.18 ^a
Protein(mg/g)	7.27 ± 0.08	6.75 ± 0.06	7.26 ± 0.04

¹⁾Values are means ± SEM(n=10). All groups were sacrificed after 14hrs of fasting. Data were analyzed by one-way ANOVA and Fisher's least significant difference test whether mean values were different between groups. Values in rows without common superscripts are significantly different(p<0.05)

에서 기원하는 외인성(28,29)이므로, 외인성 콜레스테롤의 섭취를 적절히 통제하는 것이 중요한데, 이를 배제하기 힘든 식생활에서 sodium alginate의 섭취는 혈장의 콜레스테롤 농도를 저하하므로 심장순환계 질환의 예방과 치료에 효과적인 것으로 사료된다.

혈장의 중성지방 농도는 fiber-free군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 감소하였으며(p<0.05), 이러한 결과는 Shinnick 등(30)과 한과고(31)의 보고에서도 확인되었다. 강(18)도 무콜레스테롤 식이에 첨가한 sodium alginate와 cellulose 급여가 흰쥐의 혈장 중성지방 농도를 현저히 낮추었으며, 간에서 분비되는 VLDL-중성지방은 sodium alginate군에서 현저한 저하를 보였다고 보고하였다. 혈장의 인지질 농도는 fiber-free군과 sodium alginate군에 비해 cellulose군에서 유의적으로 증가하였다(p<0.05). 혈장의 단백질 함량은 세 군간에 유의적인 차이가 없었다.

간의 지질 및 단백질 함량

간장 중의 콜레스테롤, 중성지방, 인지질 및 단백질 함량을 측정한 결과는 Table 4와 같다. 총 지방 함량은 fiber-free군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 낮았고(p<0.05), cellulose군은 가장 높은 수치를 나타내었다. 간 콜레스테롤 농도에 있어서는 세 군간에 유의적인 차이는 없었으나 sodium alginate군에서 가장 낮았으며 cellulose군에서 가장 높게

나타났다. 간장 중의 중성지방 함량은 fiber-free군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 낮은 수치를 나타내었다(p<0.05). 간장 중의 인지질 함량은 혈장에서의 경우와 유사하게 cellulose군이 fiber-free군과 sodium alginate군에 비해 유의적으로 높았다(p<0.05). 간장 중의 단백질 함량은 세 군간에 유의적인 차이가 없었으나 cellulose군에서 다소 낮은 경향을 보였다.

불용성 식이섬유인 cellulose의 섭취는 혈장과 조직 중의 중성지방과 콜레스테롤 농도에 영향을 미치지 않거나 오히려 증가시킨다는 여러 보고가 있다(32,33). 본 연구에서도 cellulose는 간 콜레스테롤 농도에는 영향을 미치지 않았으나 간의 중성지방과 총 지방 함량은 유의적으로 증가하였다. 그러나 수용성 식이섬유인 sodium alginate는 중성지방과 총 지방 함량을 현저하게 저하하였으며 콜레스테롤 농도도 다소 저하하였다. Fernandez 등(34)은 고콜레스테롤 식이에 첨가한 pectin이 간의 콜레스테롤 농도를 현저히 저하하였다고 하였고, Nishina와 Freedland(35)도 고콜레스테롤 식이에 첨가한 pectin이 간의 중성지방 농도를 저하하였다고 보고하여 수용성 식이섬유는 간 콜레스테롤과 중성지방 농도 저하에 효과적임을 입증하였다.

Microsomal HMG-CoA reductase 활성

콜레스테롤 투여 흰쥐에 있어서 식이섬유가 콜레스

Table 5. Activity of HMG-CoA reductase in rats fed a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate with 1% cholesterol¹⁾

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
HMG-CoA reductase activity (nmole/min/mg protein) ²⁾	85.70±1.17 ^a	114.40±9.27 ^b	122.07±4.48 ^b

¹⁾Values are mean±SEM(n=10). All groups were sacrificed after 14hrs of fasting. Data were analyzed by one-way ANOVA and Fisher's least significant test whether mean values were different between groups if diet were significant. Values in rows without common superscripts are significantly different(p<0.05)

²⁾Units are in terms of milligrams of microsomal protein

Table 6. Fecal cholesterol, TG and bile acid concentrations in rats fed a fiber-free diet or diets containing cellulose and sodium alginate with 1% cholesterol¹⁾

	Fiber-free	Cellulose	Sodium alginate
Cholesterol(mg/day)	12.10±0.67 ^a	40.62±4.23 ^b	49.79±3.36 ^b
Triglyceride(mg/day)	3.12±0.32 ^a	6.82±0.74 ^a	14.16±1.89 ^b
Bile acid(μmole/day)	0.39±0.04 ^a	1.55±0.14 ^b	1.48±0.10 ^b

¹⁾Values are means±SEM(n=10). All groups were sacrificed after 14hrs of fasting. Data were analyzed by one-way ANOVA and Fisher's least significant difference test whether mean values were different between groups. Values in rows without common superscripts are significantly different(p<0.05)

테롤 합성능에 미치는 영향을 조사하고자 간에서 3-hydroxy-3-methyl glutaryl coenzyme A reductase(HMG-CoA reductase) 활성을 측정하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다. HMG-CoA reductase는 간에서 콜레스테롤 합성의 율속 단계에 관여하는 효소로서, acetyl CoA를 전구체로하여 합성된 HMG-CoA를 mevalonate로 전환하는 기능을 가지고 있다(36,37). HMG-CoA reductase 활성은 fiber-free군에서 가장 낮았고 fiber-free군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 높았다(p<0.05). 이전의 여러 연구에서 수용성 식이섬유의 결장 발효로 생긴 short chain fatty acids는 간의 HMG-CoA reductase 활성을 억제한다고 보고되었다(11,15). 그러나 Fernandez 등(34)은 콜레스테롤 0.25% 함유 식이에 prickly pear pectin을 10% 첨가하여 guinea pig에 급여한 결과, 간 HMG-CoA reductase 활성에 변화가 없었음을 관찰하여 pectin의 첨가가 간의 콜레스테롤 합성속도에 영향을 주지 않는다고 보고하였다. Nishina 와 Freedland(11,35)는 무콜레스테롤 식이에 cellulose 8% 첨가 식이는 HMG-CoA reductase 활성에 영향을 미치지 않았지만, pectin 8% 첨가시에는 효소의 활성 및 내인성 sterol의 합성이 2배 증가하였음을 보고하였으며 pectin 섭취군에서의 이러한 콜레스테롤 생합성 증가는 콜레스테롤의 turnover 증가를 의미한다고 하였다. 또한 Arjmandi 등(38)은 식이 중의 콜레스테롤은 간의 콜레스테롤 합성 효소 활성을 억제시키나, 콜레스테롤과 함께 투여된 식이섬유는 다시 이 억제를 반전시킨다고 보고하였으며, 이러한 결과는 Fernandez 에 의해 확인되어졌다(39). 본 실험의 결과에서도 콜레

스테롤과 함께 투여된 식이섬유가 콜레스테롤 합성능을 억제하는 것으로 보이지 않는다.

분변 중의 지질함량

실험 식이에 충분히 적응이 되었다고 생각되는 시기인 회생 7일 전에 실험동물의 분변을 수집하여 분변 중의 지질 함량을 측정된 결과는 Table 6과 같다. 하루에 배설되는 분변 중의 콜레스테롤과 담즙산 함량은 fiber-free군에 비해 식이섬유 첨가군에서 유의적으로 증가하였다(p<0.05). 분변 중의 중성지방 함량은 fiber-free군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 각각 4배, 2배씩 증가하였다(p<0.05). Pectin과 같은 수용성 식이섬유는 높은 점성으로 인해 흰쥐의 소장에서 콜레스테롤과 담즙산의 재흡수를 저해하여 배설을 증가시키므로써 혈장 또는 간중의 콜레스테롤 농도를 저하시키는 것으로 이해되고 있다(32). 또한 조 등(40)은 콜레스테롤 식이에 갖을 2% 및 4% 첨가한 결과, 갖 무첨가군에 비해 각각 2.7배 및 3.3배 많은 양의 콜레스테롤을 배설하였고 분변 중 담즙산의 배설량은 각각 1.5배와 2배 이상으로 증가하였음을 보고하였으며, 또한 Vahouny 등(41)은 무콜레스테롤 식이에 첨가한 guar gum, psyllium 과 cellulose가 분변 중의 담즙산 및 중성 steroid 배설량을 유의적으로 증가시켰다고 보고하였다. 본 실험에서도 sodium alginate군의 분변 중 총 지방, 중성지방 그리고 콜레스테롤 함량이 다른 식이군에 비해 현저하게 증가하였으며, 담즙산 배설은 cellulose군과 sodium alginate군에서 모두 증가하였다.

식이섬유가 혈장과 간의 콜레스테롤 농도를 낮추는 기작에 대한 지금까지의 연구에서 콜레스테롤 저하 효과는 식이섬유에 의한 콜레스테롤 흡수 방해, 담즙산 배설 촉진, 그리고 내인성 콜레스테롤의 합성 억제에 기인한 것으로 설명된다. 본 실험의 결과를 종합해 볼 때 수용성 식이섬유인 sodium alginate는 내인성 콜레스테롤 합성을 억제함으로써 콜레스테롤 농도를 저하는 것은 아닌 것 같다. 왜냐하면 sodium alginate군의 HMG-CoA reductase 활성이 다른 식이군에 비해 가장 높았기 때문이다. Sodium alginate군에서 콜레스테롤 합성능이 가장 활발하였다는 사실은 분변으로 배설된 담즙과 콜레스테롤을 보상하기 위한 기작으로 설명될 수 있을 것이다. 또한 간 콜레스테롤 농도의 저하는 간 LDL apolipoprotein B receptor를 활성화하여 혈장 콜레스테롤의 농도를 저하시키는 것인지도 모른다(42).

요 약

콜레스테롤 투여 흰쥐(Sprague-Dawley, male)에 있어서 sodium alginate와 cellulose가 콜레스테롤 대사에 미치는 영향은 다음과 같다. 혈장 콜레스테롤과 중성지방 함량은 fiber-free군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 낮았으며($p < 0.05$), 인지질 함량은 fiber-free군과 sodium alginate군에 비해 cellulose군에 유의적으로 높았다($p < 0.05$). 간에서의 총 지질 함량은 fiber-free군에 비해 cellulose군에서 유의적으로 높았고($p < 0.05$), fiber-free군에 비해 sodium alginate군은 유의적으로 낮았으며($p < 0.05$), 중성지방 함량은 fiber-free군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 간에서의 HMG-CoA reductase 활성은 fiber-free군에 비해 cellulose군과 sodium alginate군에서 유의적으로 높았다($p < 0.05$). 분변으로 배설되는 콜레스테롤과 담즙산의 양 모두 fiber-free군에 비해 식이섬유 첨가군에서 모두 증가했으며($p < 0.05$), 배설되는 중성지방 함량은 fiber-free군과 cellulose군에 비해 sodium alginate군에서 유의적으로 높았다($p < 0.05$). 이상의 결과로써 sodium alginate는 콜레스테롤 투여 흰쥐의 혈장과 간 콜레스테롤과 중성지방 농도를 감소시키는 효과를 보였으며, 이것은 sodium alginate 식이군에서 분변 중의 담즙성 콜레스테롤, 담즙산 그리고 중성지방의 배설량이 증가하였다는 사실로 설명될 수 있다. Sodium alginate군의 HMG-CoA reductase 활성 증가는 콜레스테롤 pool을 유지하기 위한 생체의 적응기작으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 1994년 과학재단 특정기초연구(과제번호 94-0402-02-02-3)와 인제대학교 식품과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 깊이 감사드립니다.

문 헌

1. 조성희 : 지방질과 동맥경화증. 한국영양식량학회지, **23**, 170(1994)
2. Anderson, J. W., Smith, B. M. and Gustafson, N. J. : Health benefits and practical aspects of high-fiber diets. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**, 1242(1994)
3. Wu, J. H., Kao, J. T., Wen, M. S. and Wu, D. : Coronary artery disease risk predicted by plasma concentrations of HDL cholesterol, apolipoprotein AI, apolipoprotein B, and lipoprotein(a) in a general Chinese population. *Clin. Chem.*, **39**, 209(1993)
4. Anderson, J. W., Jones, A. E. and Riddell-Mason, S. : Ten different dietary fibers have significantly different effects on serum and liver lipids of cholesterol-fed rats. *J. Nutr.*, **124**, 78(1994)
5. Tinker, L. F., Davis, P. A. and Schneeman, B. O. : Prune fiber or pectin compared with cellulose lowers plasma and liver lipids in rats with diet-induced hyperlipidemia. *J. Nutr.*, **124**, 31(1994)
6. Tsai, A. C., Elias, J., Kelley, J. J., Lin, R. S. C. and Robson, J. R. K. : Influence of certain dietary fibers on serum and tissue cholesterol levels in rats. *J. Nutr.*, **106**, 118(1976)
7. Story, J. A. and Kritchevsky, D. : Comparison of the binding of various bile acids and bile salts *in vivo* by several types of fiber. *J. Nutr.*, **106**, 1291(1976)
8. Ebihara, K. and Schneeman, B. O. : Interaction of bile acids, phospholipids, cholesterol and triglyceride with dietary fibers in the small intestine of rats. *J. Nutr.*, **119**, 100(1989)
9. Vahouny, G. V., Roy, T., Gallo, L. L., Story, J. A., Kritchevsky, D. and Cassidy, M. M. : Dietary fibers. III. Effects of chronic intake on cholesterol absorption and metabolism in the rat. *Am. J. Clin. Nutr.*, **33**, 2182(1980)
10. Ide, T., Horii, M., Yamamoto, T. and Kawashima, K. : Contrasting effects of water-soluble and water-insoluble dietary fibers on bile acid conjugation and taurine metabolism in the rat. *Lipids*, **25**, 335(1990)
11. Nishina, P. M. and Freedland, R. A. : Effects of propionate on lipid biosynthesis in isolated rat hepatocytes. *J. Nutr.*, **120**, 668(1990)
12. Kritchevsky, D. and Story, J. A. : Binding of bile salts *in vitro* by nonnutritive fiber. *J. Nutr.*, **104**, 458(1974)
13. Anderson, J. W. and Chen, W. L. : Plant fiber, carbohydrate and lipid metabolism. *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 346(1979)
14. Gallaher, D. and Schneeman, B. O. : Intestinal interaction of bile acids, phospholipids, dietary fiber and cholestyramine. *Am. J. Physiol.*, **250**, 420(1986)

15. Venter, C. S., Vorster, H. H. and Van Der Nest, D. G. : Comparison between physiological effects of konjac-glucomannan and propionate in baboons fed "western" diets. *J. Nutr.*, **120**, 1046(1990)
16. 황재관, 김중태, 홍석인, 김철진 : 압출성형에 의한 식물세포벽의 수용화. *한국영양식량학회지*, **23**, 358(1994)
17. 김동주, 박영호 : 알긴산의 화학적 조성 및 그 물성에 관한 연구.(4) 외톨개모자반 및 팽생이모자반의 알긴산. *한국수산학회지*, **18**, 124(1985)
18. 강희정 : Sodium alginate와 cellulose가 흰쥐의 공복혈장 lipoprotein 조성과 콜레스테롤대사에 미치는 영향. *한국영양식량학회지*, **23**, 879(1994)
19. Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. and Randall, R. J. : Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, **193**, 265(1951)
20. Folch, J., Lees, M. and Sloane Stanley, G. H. : A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, **223**, 448(1956)
21. Sale, F. O., Marchesini, S., Fishman, P. H. and Berra, B. : A sensitive enzymatic assay for determination of cholesterol in lipid extracts. *Anal. Biochem.*, **142**, 347(1984)
22. Shapiro, D. J., Nordstrom, J. L., Mitschelen, J. J., Rodwell, V. W. and Schimke, R. T. : Micro assay for 3-hydroxy-3-methylglutaryl-Co A reductase in rat liver and L-cell fibroblasts. *BBA*, **370**, 369(1974)
23. 최면, 김중태, 주진순 : Polydextrose와 hydrolysed guar gum이 지방량을 달린한 식이를 섭취한 정상백서의 지질대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **25**, 211(1992)
24. 최진호, 최재수, 변대량, 양달선 : 비만치료식 개발을 위한 기초연구 2. 해조와 생약성분의 비만억제작용 비교. *한국수산학회지*, **19**, 485(1986)
25. Tsai, A. C., Elias, J., Kelley, J. J., Lin, R. S. C. and Robson, J. R. K. : Influence of certain dietary fibers on serum and tissue cholesterol levels in rats. *J. Nutr.*, **106**, 118(1976)
26. Shinnick, F. L., Ink, S. L. and Marlett, J. A. : Dose response to a dietary oat bran fraction in cholesterol-fed rats. *J. Nutr.*, **120**, 561(1990)
27. Ikegami, S., Tsuchihashi, F., Harada, H., Tsuchihashi, N., Nishide, E. and Innami, S. : Effect of viscous indigestible polysaccharides on pancreatic-biliary secretion and digestive organs in rats. *J. Nutr.*, **120**, 353(1990)
28. Stryer, L. : Biochemistry. 3rd ed., W. H. Freeman Company, p.547(1988)
29. Zubay, G. : Biochemistry. 3rd ed., Wm. C. Brown Publishers, p.635(1993)
30. Shinnick, F. L., Longacre, M. J., Ink, S. L. and Marlett, J. A. : Oat fiber : composition versus physiological function in rats. *J. Nutr.*, **118**, 144(1988)
31. 한재금, 고진복 : 미역첨가급식이 흰쥐의 간 및 혈청의 지질농도에 미치는 영향. *한국영양식량학회지*, **15**, 17(1986)
32. Anderson, J. W., Jones, A. E. and Riddell-Mason, S. : Ten different dietary fibers have significantly different effects on serum and liver lipids of cholesterol-fed rats. *J. Nutr.*, **124**, 78(1994)
33. Tinker, L. F., Davis, P. A. and Schneeman, B. O. : Prune fiber or pectin compared with cellulose lowers plasma and liver lipids in rats with diet-induced hyperlipidemia. *J. Nutr.*, **124**, 31(1994)
34. Fernandez, M. L., Trejo, A. and McNamara, D. J. : Pectin isolated from prickly pear(*Opuntia sp.*) modifies LDL metabolism in cholesterol-fed guinea pigs. *J. Nutr.*, **120**, 1283(1990)
35. Nishina, P. M. and Freedland, R. A. : The effects of dietary fiber feeding on cholesterol metabolism in rats. *J. Nutr.*, **120**, 800(1990)
36. Brown, M. S., Goldstein, J. L. and Dietschy, J. M. : Active and inactive forms of HMG-CoA reductase in the liver of the rat. *J. Bio. Chem.*, **254**, 5144(1979)
37. 최용순, 안철, 심호흠, 최면, 오상룡, 이상영 : 인스탄트 메밀국수가 백서의 소화흡수율, 간장 및 혈청지질 농도에 미치는 영향. *한국영양식량학회지*, **21**, 478(1992)
38. Arjmandi, B. H., Craig, J., Nathani, S. and Reeves, R. D. : Soluble dietary fiber and cholesterol influence *in vivo* hepatic and intestinal cholesterol biosynthesis in rats. *J. Nutr.*, **122**, 1559(1992)
39. Fernandez, M. L., Sun, D. M., Tosca, M. A. and McNamara, D. J. : Citrus pectin and cholesterol interact to regulate hepatic cholesterol homeostasis and lipoprotein metabolism : A dose-response study in guinea pigs. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**, 869(1994)
40. 조영숙, 박정로, 박석규, 전순실, 정승용, 하봉석 : 갖의 급여가 흰쥐의 cholesterol 대사에 미치는 영향. *한국영양식량학회지*, **26**, 13(1993)
41. Vahouny, G. V., Khalafi, R., Satchithanandam, S., Watkins, D. W., Story, J. A., Cassidy, M. M. and Kritchevsky, D. : Dietary fiber supplementation and fecal bile acids, neutral steroids and divalent cations in rats. *J. Nutr.*, **117**, 2009(1987)
42. Miettinen, T. A. and Tarpila, S. : Serum lipids and cholesterol metabolism during guar gum, *Plantago ovata* and high fiber treatments. *Clin. Chim. Acta*, **183**, 253(1989)

(1996년 3월 18일 접수)