

- 총 설 -

## 식이섬유와 콜레스테롤 대사

강희정\* · 송영선†

\*부산대학교 식품영양학과  
인제대학교 식품영양학과

## Dietary Fiber and Cholesterol Metabolism

Hee-Jung Kang\* and Young-Sun Song†

\*Dept. Food Science and Nutrition, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea  
Dept. Food Science and Nutrition, Inje University, Kimhae 621-749, Korea

### Abstract

Hypercholesterolemia is a main risk factor to develop cardiovascular disease, a major cause of death in Korea currently. Dietary factors which shows hypocholesterolemic effect have been reported, which includes plant proteins, unsaturated fatty acids, milk, calcium, flavonoids. Numerous animal and human studies confirmed the pronounced hypocholesterolemic effects of soluble dietary fiber, such as psyllium husk, pectin, sodium alginate, guar gum. Several hypotheses have been proposed to explain the hypocholesterolemic effect of dietary fiber, including binding of bile acids by fiber, interference of lipid absorption and reduced hepatic cholesterol synthesis by propionate, a product of soluble dietary fiber fermentation. Several other hypotheses have been proposed, and these hypotheses are not mutually exclusive.

**Key words:** dietary fiber, cholesterol, bile, HMG-CoA reductase

### 서 론

경제성장과 함께 국민소득의 향상으로 우리나라의 식생활양상 및 이에 따른 질병발생 유형과 사망원인이 크게 변화하고 있다. 즉, 1인당 동물성 식품 소비량이 현저히 늘어났으며(1), 식생활이 서구화되고 외식의 기회가 잦아짐에 따라 지방 함량이 많고 식이섬유 함량은 적은 가공식품의 섭취가 증가하게 되었다(2). 이러한 변화는 우리나라의 주요 사망원인에도 영향을 미쳐 최근 순환기 질환, 암 등이 주된 사망원인으로 나타나고 있으며, 특히 순환기계질환을 비롯한 만성 퇴행성 질환의 비율이 점점 증가되고 있는 추세에 있다(3). 이러한 순환기계질환은 동맥경화, 비정상적인 지질대사 및 혈소판 응집과 밀접한 관련을 가지고 있으며, 그중 동맥경화는 동맥벽의 내부에 콜레스테롤, 콜레스테롤 에스테르, 인지질, 살아있거나 죽은 세포, Ca, 이외에 collagen, elastin 및 proteoglycans와 같은 성분들이 지방과 함께 plaque를 축적함으로써 발생한다. 동맥경

화를 유발하는 1차적인 위험요인으로는 혈중 콜레스테롤 농도의 상승(특히 높은 LDL-콜레스테롤과 낮은 HDL-콜레스테롤), 고혈압(수축기 혈압 140mmHg, 이완기 혈압 90mmHg), 흡연 등이 있으며, 비만, 당뇨, 성별, 연령 및 성격 등은 2차적인 위험요인으로 제시되고 있다. 본고에서는 동맥경화의 유발과 밀접한 관계가 있는 콜레스테롤을 운반하는 지단백의 대사에 대해 살펴 보고 이를 바탕으로 식이섬유의 콜레스테롤 농도 저하효과와 그 기작에 대해 고찰하고자 한다.

### 지단백 대사

임상적으로 혈중 총 콜레스테롤 농도는 건강진단의 한 지표로 사용되고 있으나 HDL-콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤의 비율이 동맥경화 및 관상성 심장병의 발생빈도와 더욱 밀접한 관계가 있다고 보고되고 있다(4). 따라서 특정식이의 섭취가 hypocholesterolemic effect 가 있는가를 살펴 보기 위해서는 혈장의 총 콜레스테롤

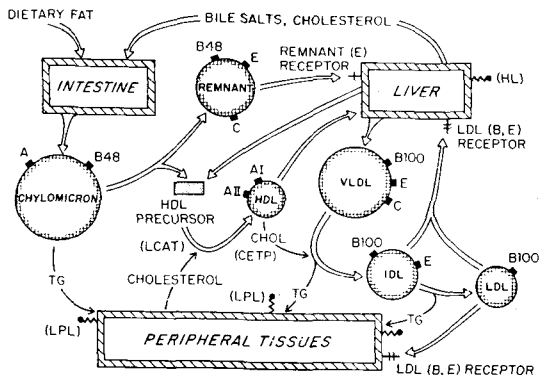
†To whom all correspondence should be addressed

농도 뿐만 아니라 콜레스테롤의 운반 및 대사에 관여하는 각 지단백의 조성 즉, 중성지방, esterified : free 콜레스테롤의 비율, 인지질, apolipoprotein의 함량을 조사하고 이로부터 항동맥경화인자인 HDL-콜레스테롤과 동맥경화인자인 LDL-콜레스테롤의 비율을 결정하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 먼저 각 지단백 회분간의 완벽한 분리가 요구되어진다. HDL-콜레스테롤의 농도는 침전법에 의해 주로 결정되어져 왔는데, 이것은  $\beta$ -lipoprotein인 VLDL과 LDL이 시약에 의해 침전되면 상등액의 콜레스테롤을 HDL fraction으로 간주하는 것이다. 그러나 이 방법은 chylomicron을 침전시키지 못하여 순수한 HDL-콜레스테롤의 농도를 결정하는데 오류를 초래할 수 있으며 또한 preparative하지 못하여 각 lipoprotein을 구성하는 중성지방, 인지질, apolipoprotein 등의 농도를 결정할 수 없는 단점이 있다 (5). 최근에는 각 lipoprotein의 밀도에 따른 floatation 차이를 이용한 sequential ultracentrifugation 방법으로 혈장에서 chylomicron/VLDL, LDL, HDL fraction을 분리하고 있다.

생체내에서 콜레스테롤은 여러가지 지단백의 형태로 운반될 뿐 아니라 그들의 대사조절을 통하여 농도가 조절된다(Fig. 1)(6). 콜레스테롤의 운반과 관련된 지단백은 크게 chylomicrons, VLDL, IDL, LDL, HDL의 5가지로 나누어진다. 그중 chylomicrons는 가장 크고 외인성 TG가 풍부한 지단백으로서, 소장에서 합성되어 림프관을 통하여 혈중으로 주로 TG와 일부 콜레스테롤을 운반한다. 소장에서 합성된 chylomicrons는 apoprotein 성분으로서 apo A, B-48을 함유하나, 혈액중에서 다른 apoproteins를 직접 획득하거나 HDL과 교환함으로써 apo C, E를 얻게 되므로 순환하는 chylomicrons는 apo A-I, II, B-48, C와 E를 함유하고 있다. 혈중에서

서 chylomicrons는 LPL(lipoprotein lipase)에 의해 분해되어 apo C와 A를 잃고 더욱 작은 입자인 chylomicron remnants로 전환된다. LPL은 순환하는 chylomicrons, VLDL, IDL의 TG를 유리지방산과 글리세롤, 일부 monoacylglycerols로 가수분해함으로써 지단백 대사에 중요한 역할을 하는 효소로 알려져 있는데, LPL이 chylomicrons를 분해하기 위해서는 chylomicron이 LPL의 중요한 activator가 되는 apo C-II를 혈장이나 HDL로부터 획득해야 한다. 유리된 지방산은 세포에 의해 받아들여지며 특히 adipocytes는 유리지방산을 받아들여 TG로서 저장한다. 글리세롤을 주로 이용하는 기관은 glycerol kinase를 함유하고 있는 간으로서 글리세롤을 glycerophosphate로 전환하여 인지질과 TG의 합성에 이용한다. Chylomicron remnants는 apo B-100과 apo E에 결합하는 특이한 membrane receptor(LDL or apo B/E receptor)의 작용으로 endocytosis에 의해 간세포에서 받아들여지며, apo B-48은 apo E가 이 receptor에 효과적으로 결합하도록 도와준다. 간세포에서 lysosomal proteases, lipases 및 phosphodiesterases는 chylomicron remnants를 유리아미노산, 지방산, 글리세롤, N염기(choline, ethanolamine, serine) 및 유리콜레스테롤로 분해하여 VLDL과 HDL합성에 이용하거나 콜레스테롤을 담즙산으로 전환하게 된다. 혈중에서 chylomicrons의 반감기는 15분으로 알려져 있다(7).

VLDL은 간에서 생성되는 내인성 지단백으로서, 간으로부터 다른 신체조직으로 TG, 인지질 및 콜레스테롤을 운반한다. VLDL의 생성은 chylomicrons와 많은 유사성을 지니고 있다. 즉, VLDL의 apoprotein 성분은 RER에서 합성되며 이와 인접해 있는 SER에서 콜레스테롤, 인지질 및 TG가 생성되어 이들이 결합되고 secretory vesicles를 통해 membrane으로 이동한 후 혈액으로 유리된다. 혈액으로 분비된 신생 VLDL은 apo B-100과 E를 함유하고 있으며 혈장이나 HDL로부터 부가적으로 apo E와 C를 획득한다. Apo C의 작용으로 LPL이 활성화됨으로써 VLDL의 TG가 분해된 결과, apo B-100과 E를 함유하는 IDL이 생성되고 연속해서 apo B-100만을 함유하는 LDL로 전환되며, 유리된 apo C와 E는 HDL과 transfer proteins에 의해 재순환된다. 간과 기타조직은 apo B/E receptors를 가지므로 이들에 의해 매개되는 endocytosis에 의해 이들 apoprotein 성분을 가진 지단백 입자들을 취하게 된다. Apo B-100과 E를 둘다 함유하는 IDL은 apo B-100만을 함유하는 LDL 보다 일반적으로 간 및 다른 세포에 의해 더욱 빨리 받아들여지며, apo E는 apo B-100 보다 receptor에 대한 친화성이 더 크므로, IDL은 보통 혈장내에 축적되



**Fig. 1. Overview of the metabolism of plasma lipoproteins.**  
AI, AII, B48, B100, C, and E represent the apoproteins that occur on the surface of the indicated lipoproteins(Reference 6).

지 않는 반면 LDL은 VLDL의 주요 분해산물로서 혈중에 존재하여 동맥경화 과정을 촉진하게 된다.

소량의 LDL은 세망내피와 동맥내피세포에서 receptors에 의하지 않고도 받아들여질 수 있으나, 대부분의 LDL은 receptors가 매개하는 endocytosis에 의해 취해지며 이때 LDL입자는 먼저 세포막의 특정 receptor에 결합하게 된다(Fig. 2)(8). LDL receptor는 특히 부신과 간에 많으며 단백질인 clathrin을 함유하고 있는 coated pits라는 막부위에 위치하고 있는데 LDL을 취하여 coated vesicle(endosome)을 형성한 후 liposome으로 확산된다. 여기서 apo B와 E는 protease에 의해 아미노산으로, 콜레스테롤 에스테르는 cholesterol esterase에 의해 유리콜레스테롤과 지방산으로 가수분해되며, TG는 lipase에 의해 유리지방산과 글리세롤로 분해된다. 유리콜레스테롤은 세포막으로 통합되거나 과량일

경우는 세포외에서 HDL에 의해 매개되어 간으로 역수송되며, 유리지방산은 산화되어 에너지 발생에 쓰이게 된다. 세포내의 콜레스테롤 농도가 증가하면 콜레스테롤 합성속도 조절효소인 HMG-CoA reductase 활성이 저해되고, 콜레스테롤 에스테르를 유리콜레스테롤과 지방산으로 가수분해하는 cholesterol esterase 활성 또한 저해된다. 반면 유리콜레스테롤을 콜레스테롤 에스테르로 전환하여 저장될 수 있게 하는 효소인 ACAT (acyl CoA : cholesterol acyltransferase)활성은 자극되어 지방산에 결합된 콜레스테롤 에스테르의 축적이 늘어나게 된다. 이러한 세포내 콜레스테롤 농도의 증가는 LDL receptor를 암호화하는 mRNA합성을 저해하여 LDL receptor합성이 저해된다(Fig. 3)(9).

HDL은 간과 소장에서 생성되며, 간에서 생성된 신생 HDL은 주로 인지질, 유리콜레스테롤과 단백질을

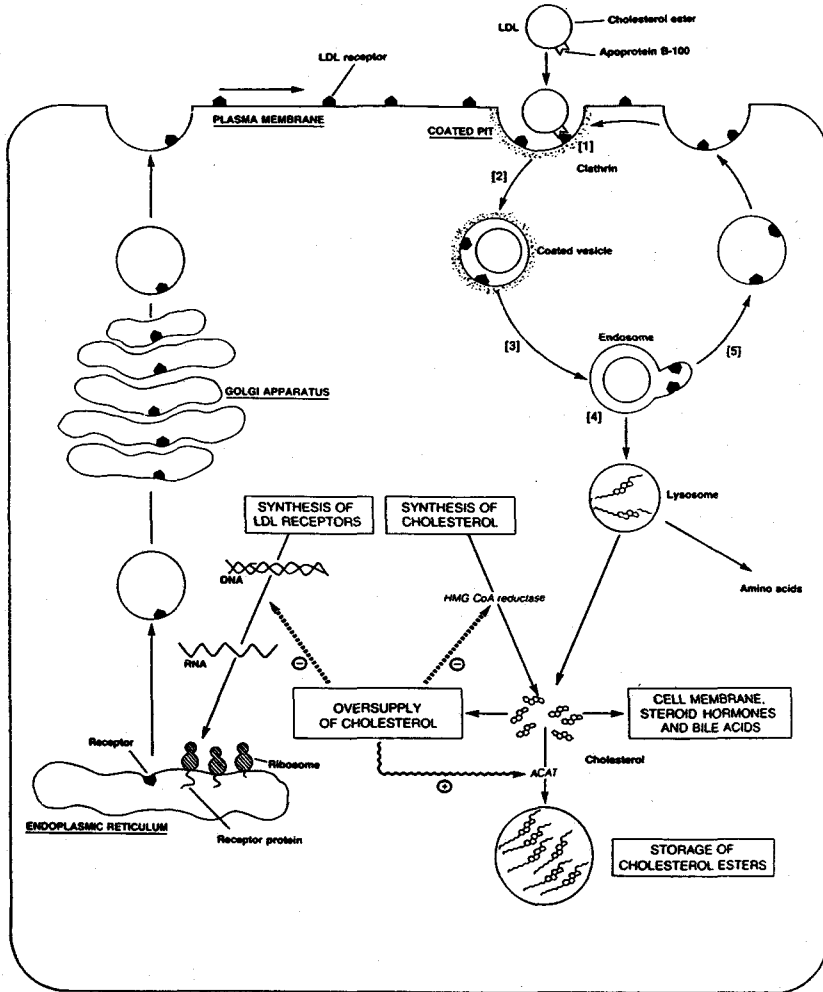


Fig. 2. Metabolism of LDL(Reference 8).

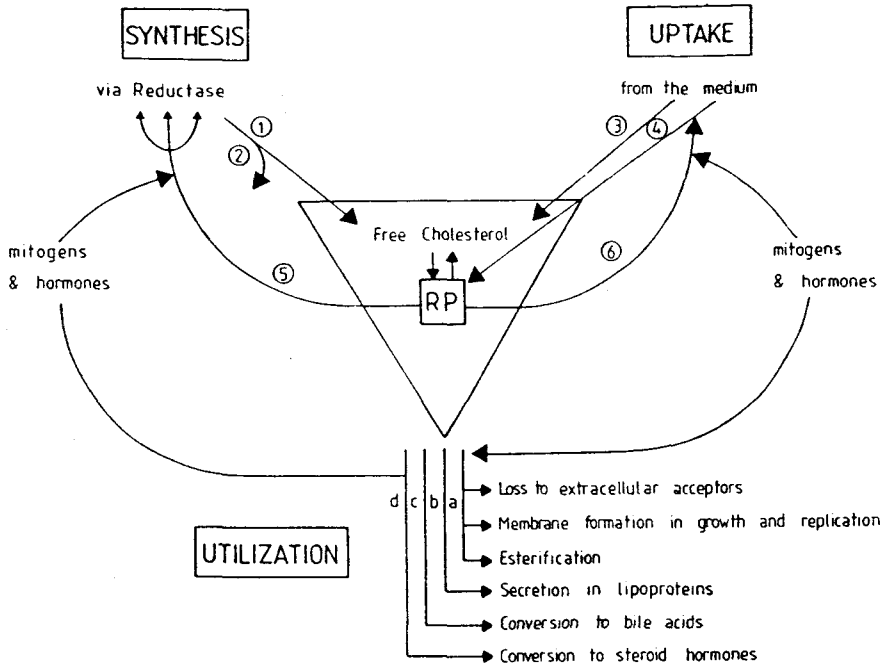


Fig. 3. Diagram of a model for the sterol-mediated regulation of HMG-CoA reductase and the LDL-receptor pathway in animal cells.

(1) Cholesterol enters the system by synthesis in situ, (2) reductase activity is subject to feedback inhibition by nonsterol products of the metabolism of mevalonic acid (3) by receptor-independent uptake of lipoprotein, (4) receptor-mediated uptake of lipoproteins, (5) reductase activity is regulated by short-term activation-inactivation, by induction-repression, and by changes in the rate of degradation of the enzyme, (6) The activity of LDL receptor pathway is regulated, via the regulatory pool, probably by induction-repression of the synthesis of LDL receptors. (Reference 9)

함유하는 원반 모양의 입자이나 효소인 LCAT(lecithin cholesterol acyltransferase)의 작용으로 혈액과 조직의 유리콜레스테롤을 에스테르화하여 축적함으로써 구상의 입자로 전환된다. LCAT는 apo A-I, II, IV, apo C-I에 의해 활성화되어 lecithin의 2번 위치에 있는 불포화지방산을 콜레스테롤의 -OH기로 운반함으로써 lysolecithin과 콜레스테롤 에스테르를 형성하는 기능을 담당한다. HDL의 이러한 작용, 즉, 콜레스테롤의 역수송(reverse cholesterol transport)은 관상성 심장질환에 대한 방어작용을 도와주게 되며, 말초조직으로부터 간으로 콜레스테롤을 운반하는 것은 말초조직에 있는 잉여 콜레스테롤을 제거하는 주된 수단이 된다. 그리고 말초조직으로부터 제거된 콜레스테롤은 간으로 운반되어 담즙산으로 전환되어 이용된다. 그러나 인체의 콜레스테롤 농도는 HDL획분 보다 LDL획분에서 높은 것을 볼 수 있는데 이것은 HDL의 LCAT에 의해 에스테르화된 일부 콜레스테롤이 다른 지단백(VLDL, IDL, LDL)으로 운반되기 때문이며, 이것은 혈액중에 있는 CETP(cholesterol ester transfer protein)의 작용에 의한다. 따라서 CETP의 활성이 높은 동물은 동맥경화에 걸릴 확

률이 높으며, CETP 활성이 높은 동물에는 사람, 원숭이, 토끼, 개 등이 있다(7).

### 식이섭유의 콜레스테롤 저하효과

식이섭유에 대한 정의로서 일찌기 Trowell 등(10)은 '체내효소에 의해 가수분해되지 않는 식물성 다당류와 lignin'이라고 하였으며, Gordon(11)은 '소장에서 소화되지 않으며, 대장에서 분해 또는 발효되거나 되지않는 섭취된 모든 식품중합체들의 총체'라고 하였다. 식이섭유는 물리적 성질과 화학구조에 따라 크게 수용성인 pectin, gums, mucilages, 해조류 다당류와 불용성인 cellulose, 일부 hemicellulose, lignin으로 나누어지며, 소화관에서의 생리효과도 다른 것으로 나타나 있다. 일반적으로 수용성 식이섭유는 불용성 식이섭유에 비해 보수력이 더 커서 겔을 형성하여 점성이 더 커지므로(10) 식후 만족감을 지속시키고 열량 섭취량을 감소시켜 체중감소를 초래할 수 있으며(12), gastric emptying의 지연, 위내용물의 체류시간 연장 및 흡수억제 작용을 가짐으로써 glucose 흡수를 저하시키고 동시에

내당능의 개선효과를 가지게 된다(13). 불용성 식이섬유는 bulking effect가 크므로 배설물의 보수성을 향상시켜 변의 용적 및 무게를 증가시키고 배변량 및 그 횟수를 증가시킴으로써 정상작용을 돕는다(14). 또한, 식이섬유가 가진 양이온교환능과 흡착능은 금속이온의 흡수를 저하시키고 배설을 촉진하며(15) 독성제거 효과도 있는 것으로 보고되었다(16).

식이섬유의 섭취가 만성퇴행성 질환의 예방에 효과적이라는 Burkitt과 Trowell(17)의 가설이래로 심장병과 같은 순환기 계통의 이환율이 높은 서구에서는 1970년대부터 식이섬유의 효능에 많은 관심을 가져왔다. 식이섬유의 콜레스테롤 저하 효과는 흰쥐(18-25), guinea pig(26), hamster(27), 토끼(28) 등의 동물실험을 통하여 조사되어져 왔다. 대부분의 연구들이 흰쥐를 대상으로 행해졌는데 흰쥐는 동맥경화의 유발이 힘든 개체이므로 식이에 콜레스테롤(0.1~1%)을 첨가하거나 cholic acid를 첨가하여 고콜레스테롤혈증을 유도하기도 한다. Table 1에서 보는 바와 같이 cellulose와 같은 불용성 식이섬유는 콜레스테롤 농도에 영향을 미치지 않거나 도리어 콜레스테롤 농도를 증가시키는 경향이 있었으며(19,21,23), pectin(19,26), guar gums(19), sodium alginate(20,21) 같은 수용성 식이섬유의 콜레스테롤 저하효과는 실험에 사용된 식이섬유의 종류, 섭취량, 섭취기간, 실험동물의 종류와 연령 등에 따라 다양한 효과를

나타내었다. 또한 수용성 식이섬유는 대체로 혈장 콜레스테롤 농도보다 간 콜레스테롤 농도에 현저한 영향을 미치는 것으로 나타났으나 혈장과 간에서 콜레스테롤 저하효과가 항상 동일하게 나타나는 것은 아니었다(Table 1). 이것은 식이중에 첨가된 당질급원의 종류나 사용된 지방의 종류와 양의 차이에 따른 것으로 풀이된다.

지단백획분에서의 콜레스테롤 분포는 혈관질환의 위험율을 가늠할 수 있는 좋은 척도가 된다. 따라서 혈장 총 콜레스테롤 농도와 함께 동맥경화인자인 LDL-콜레스테롤과 항동맥경화인자인 HDL-콜레스테롤 농도를 조사하는 것은 식이섬유가 콜레스테롤 대사에 미치는 영향을 이해하는데 도움이 된다. 지금까지의 연구들에 따르면 고콜레스테롤 식이와 함께 섭취된 수용성 식이섬유는 혈장 총 콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤 농도를 낮추고 HDL-콜레스테롤을 높인다고 보고되고 있다. 즉, Indira와 Kurup(24)은 무콜레스테롤 식이에 blackgram으로부터 추출한 NDF(neutral detergent fiber)를 첨가한 결과, 혈청 총 콜레스테롤 및 VLDL-과 LDL-콜레스테롤은 감소한 반면, HDL-콜레스테롤은 증가하였으며, Ney 등(29)은 흰쥐에서 고콜레스테롤 식이에 첨가한 oat fiber가 cellulose 대조군에 비해 VLDL-과 LDL-콜레스테롤은 감소시킨 반면, HDL-콜레스테롤은 증가시켰다고 보고하였다. 김과 이(30)도 들미나리와 썩의 섭취가 흰쥐에서 HDL-콜레스테롤 농도를

Table 1. Effect of dietary fiber on blood and liver cholesterol levels in animals

Fiber source(%)	Animal	Duration (weeks)	Dietary cholesterol (%)	Dietary cholic acid (%)	ΔCholesterol(%)		Reference
					Plasma	Liver	
Polydextrose	6	S.D.	8		-10.8	-8.5	18
Carragenan	6				-11.1	-14.7	
Cellulose	5	S.D. (diabetic)	4		+17.6		19
Pectin	5				-25.8		
Guar gum	5				-18.5		
Polydextrose	5				-24.4		
Sodium alginate	10				-9.1	-28.0	
Cellulose	10	S.D.	4		-7.2	-33.0	20
Sodium alginate	10	S.D.	4	1.0	-25.3	-9.1	21
Cellulose	10			1.0	-2.9	+6.4	
Chitin	40	S.D.	4		-35.9	-37.6	22
Chitosan	40				-14.3	-26.0	
Cellulose	8.0	S.D.	4		+8.6	-3.8	23
Pectin	8.0				-31.0	0	
Blackgram neutral detergent fiber	30	S.D.	4	2.0	0.5	-54.3	24
Blackgram acid detergent fiber	7			2.0	0.5	-14.6	
Silicate	29	Wistar	6	0.1	-4.3	+6.2	25
Silica	14			0.1	-17.5	-8.9	
Pectin	2.5			Hartly guinea pig	4	0.25	

증가시켰다고 보고하고 있다. 그러나 Fernandez 등(26)은 고콜레스테롤 식이에 1%의 낮은 농도로 pectin을 첨가한 결과, 유의적이지는 않으나 혈장 VLDL-콜레스테롤이 약간 증가했고, LDL- 및 HDL-콜레스테롤은 현저히 감소했으며 간의 총 콜레스테롤 및 유리콜레스테롤 또한 현저히 감소했음을 보고하였다. Hundemer 등(31)도 콜레스테롤 식이에 soybean fiber, rice bran을 7%씩 첨가한 결과, 간과 혈장의 총 콜레스테롤은 감소했으나 HDL-콜레스테롤 농도에는 변화가 없었음을 보고하였다. Redard 등(32)은 고콜레스테롤 식이에 식이섬유원으로서 psyllium husk를 5% 첨가한 결과 흰쥐의 혈장 총 콜레스테롤과 HDL-콜레스테롤 농도가 저하하였다고 하였으며, Nishina 등(23)도 무콜레스테롤 식이에 첨가한 pectin이 식후상태의 흰쥐에서 혈장 총 콜레스테롤 농도를 현저히 감소시켰는데 이는 모든 lipoprotein층에서 콜레스테롤 농도가 감소한 현상을 반영한 결과라고 하였다.

### 콜레스테롤 저하효과가 있는 식품

Oat bran, wheat bran, rice bran, 송화분, 갓, 메밀, 해조류 등과 같은 훌륭한 식이섬유 공급식품을 직접 식이에 첨가하여 혈장 콜레스테롤 농도에 미치는 영향을 조사한 연구들도 있다(Table 2). 이러한 연구들은 총 식이섬유 함량과 에너지 수준이 동일하게 조정된 식이를 실험동물에 공급하여 조사한 결과로서, 식이섬유의 조성이 명확하지 않고 식이에 함유된 기타 생리활성 물질의 효과를 배제할 수 없으므로 그 효과의 이유를 정확하게 규명하기는 힘들다. 그러나 인간은 혼합 식이를 섭취하므로 정제된 식이섬유의 형태가 아니라 식품의 형태로 섭취했을 때 이들 식이섬유 함유식품이 혈장이나 간 콜레스테롤 농도에 미치는 영향을 조사한 것은 의미가 있다 하겠다. 우리나라 사람들이 즐겨 섭취하는 곡류, 채소류, 과일류, 해조류의 콜레스테롤 저하 효과 비교 실험에서 김은 콜레스테롤 농도 저하 효과를 보인 반면, 사과, 당근, 배추, 쌀겨 등과 같은 식품들은 무섬유식이에 비해 도리어 다소 높인 것으로 나타났다는데, 연구자들은 5%의 식이섬유 공급으로는 혈청지질 개선효과를 기대하기는 어렵다고 결론지었다(33). 한편 미역이나 김 혼합식은 당뇨 유발된 흰쥐에서 현저한 혈장 콜레스테롤 저하 효과를 나타내었다(34). 곡류 혼합식이 콜레스테롤 대사에 미치는 영향에 대한 결과는 논쟁의 여지가 있다. 즉, 백미에 비해 식이섬유 함량이 높은 현미는 콜레스테롤 농도에 영향을 미치지 않았으며, 밀이나 밀가루는 백미에 비해 콜

레스테롤 농도를 다소 높이는 것으로 나타났다(35). 그러나 보리는 간 콜레스테롤 농도를 저하시켰는데, 보리에 함유된 식이섬유인  $\beta$ -glucan은 혈장 콜레스테롤 농도를 저하하는 효과가 있다고 알려져 있다(36). 이러한 차이는 실험에 사용된 동물의 종류, 식이의 조성(콜레스테롤 첨가여부, 고지방식이 여부, 식이섬유의 조성) 사육기간, 사육환경 등에 기인한 것으로 풀이된다. 이외에도 메밀국수(37), 갓(38), 송화분(39), 메밀채소(40) 등이 콜레스테롤 저하효과가 있다고 보고되었다. Rice bran이나 rice bran oil의 콜레스테롤 저하 효과는 hamster를 이용한 실험에서 농도의존적으로 증가하였다고 보고되었으나(27), Schrijver 등(41)은 oat bran의 콜레스테롤 저하효과는 oat bran의 첨가량에 의존적으로 증가하지 않았다고 하였으며, oat hull은 가공 방법에 따라 콜레스테롤 저하효과가 달라진다고 보고되었다(42). 한편 Anderson 등(43)은 10가지 식이섬유 급원들의 콜레스테롤 저하 효과를 1% 콜레스테롤과 0.2% cholic acid를 함유한 식이를 섭취한 흰쥐에서 비교하였을 때 psyllium이 가장 현저한 저하효과를 보였으며 그 다음으로 oat gum, guar gum, pectin이 높았다고 보고하였다. 그러나 불용성 식이섬유의 함량이 높은 rice bran이나 wheat bran 등은 콜레스테롤 저하효과가 없었다고 보고하였다. 이러한 여러 연구들을 종합할 때 일상적으로 섭취하는 식이섬유 급원인 식품들의 콜레스테롤 저하효과는 연구자에 따라 다소 상이하긴 하나, 대부분의 연구자들은 수용성 식이섬유의 콜레스테롤 저하효과가 불용성 식이섬유 보다 현저하게 크다는 것에 동의하고 있다.

식이섬유에 의한 콜레스테롤 저하효과는 인체를 대상으로 한 연구결과에서도 확인되었다. Hunninghake 등(44)은 경미하거나 중간정도의 고콜레스테롤혈증 환자를 대상으로 한 대규모의 실험에서 9주동안 하루에 10~20g의 식이섬유 보충은 혈장 총 콜레스테롤, LDL-콜레스테롤 및 LDL/HDL비를 유의적으로 감소시켰다고 하였으며 Anderson 등(45)은 oat bran, bean으로부터 나온 수용성 식이섬유 및 psyllium mucilloid를 전형적인 미국인 식이와 함께 섭취시켰을 때 혈청총 콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤이 감소하였다고 보고하였다. 동물실험을 통해서도 콜레스테롤 저하효과가 가장 크게 나타난 psyllium을 고콜레스테롤혈증 환자에게 하루 7.3g 섭취시켰을 때 혈장 총 콜레스테롤이 유의적으로 낮아졌으며(46), psyllium husk와 seed를 10g씩 3주동안 섭취시켰을 때 불용성 식이섬유의 비율이 높은 psyllium seed가 콜레스테롤 저하효과가 큰 것으로 나타났다(47). 3종의 cereal bran(wheat, rice, oat)

Table 2. Effect of food sources high in dietary fiber on blood and liver cholesterol levels in animals

Fiber source(%)		Animal	Duration (weeks)	Dietary cholesterol (%)	Dietary cholic acid (%)	ΔCholesterol(%)		Reference		
						Plasma	Liver			
Cellulose	5	S.D.	4			+23.1		33		
Rice bran	21.5					+3.9				
Korean cabbage	20.4					+14.6				
Radish	20.5					+4.0				
Apple	37.8					+6.7				
Sea weed(Laver)	12.8					-8.1				
Sea tangle	17.9					+21.8				
Brown rice	72.3	S.D.	5	0.7		+13.2	+32.8	35		
Barley	72.3			0.7		+2.6	-14.8			
Wheat	72.3			0.7		+13.9	+42.6			
Wheat flour	72.3			0.7		+23.1	+9.8			
Wheat flour noodle	50	S.D.	4			-8.8	-3.8	37		
Wheat flour noodle containing 10% buckwheat	50					-8.8	+2.2			
Wheat flour noodle containing 30% buckwheat	50					0	+1.9			
Mustard leaf	2	S.D.	5	1.0	0.25	-12.0	-10.2	38		
Mustard leaf	4			1.0	0.25	-26.8	-10.8			
Defatted pine pollen	2	S.D.	6		0.5	-7.9		39		
Pine pollen	2				0.5	-8.3				
Mixture of purple laver & Sea lettuce	18.0	S.D. (Diabetic)	6			-38		34		
Sea tangle	14.0								-13.7	
Sea mustard	17.5								-3.2	
Agar agar	11.2								-13.1	
Pectin	7								-38	
Buck wheat	5.0	S.D.	4	0.12		-14.8	-24.3	40		
Rutin	0.25								-14.6	-7.5
Oat bran	30	S.D.	4			-1.7	-7.7	23		
Wheat bran	21								+8.6	-7.7
Cellulose	10	Golden syrian Hamster	3			-7.1	-4.9	27		
Rice bran	9				3		-15.5		-18.4	
Defatted rice bran	35				3		-11.9		-14.7	
Defatted rice bran	35				3		-21.4		-24.3	
Rice bran oil	9				3		-15.5		-8.0	
Rice bran	43.7				3		-8.3		-3.4	
Rice bran	32.8				3					
Non heated oat bran	15	Wistar	4			-14.3		41		
Non heated oat bran	30								-33.3	
Baked oat bran	30								-23.8	
Processed oat hull	5	S.D.	6	1.0		-18.4	-15.2	42		
Processed oat hull	10			0.9		-27.1	-8.3			
Processed oat hull	15			0.9		-4.1	-4.4			
Coated oat hull	5			1.0		-6.8	-4.9			
Coated oat hull	10			0.9		-26.7	-5.3			
Coated oat hull	15			0.9		-16.7	-3.5			
Bleached oat hull	5			1.0		-9.1	-8.8			
Bleached oat hull	10			0.9		-1.5	-1.4			
Bleached oat hull	15			0.9		+19.7	+10.6			
Corn bran	6.7	S.D.	10	1.0	0.2	-5	-9	43		
Guar gum	7.1			1.0	0.2	-20	-23			
Oat bran	38.2			1.0	0.2	-7	-19			
Oat gum	8.0			1.0	0.2	-23	-55			
Pectin	10.0			1.0	0.2	-18	-25			
Psyllium	6.8			1.0	0.2	-34	-53			
Rice bran	21.4			1.0	0.2	+9	+16			
Soybean fiber	8.0			1.0	0.2	-11	+19			
Wheat bran	14.1			1.0	0.2	+7	-2			

을 경미한 고콜레스테롤 혈증 환자에게 섭취시켰을 때, 혈장의 총 콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤 농도가 oat bran군에서만 유의적으로 낮게 나타났다(48), 이러한 효과는 Poulter 등(49)에 의해 확인되었다. Lo 등(50)과 Shorey 등(51)은 soy fiber가 hypertriglyceridemia(Type IV)와 hypercholesterolemia(Type II-A)질환을 가진 환자들의 혈장 콜레스테롤치를 낮추는데 효과적이었다고 보고하였다.

### 식이섬유와 담즙배설능

식이섬유의 콜레스테롤 저하작용에 대한 기작을 규명하고자 하는 많은 연구들이 행해져왔다.

대부분의 연구자들이 식이섬유의 콜레스테롤 저하 효과를 분변으로의 담즙산 배설 증가에 기인한 것으로 설명하고 있는데, 그 이유는 담즙산이 콜레스테롤로부터 합성되는 물질로서 체내 콜레스테롤이 체외로 배설되는 유일한 경로이기 때문이다. 즉 Schrijver 등(41)은 oat bran의 섭취가 혈장 총 콜레스테롤 농도를 낮추는 동시에 변으로의 bile acid 배설을 증가시킴으로써, 분변중 bile acid 배설과 dry matter, 질소, 식이섬유간에는 역상관관계가 성립함을 보고하였으며, 이는 oat bran으로부터 나온 소화되지 않은 물질(주로 질소성 화합물)이 bile acid와 결합함으로써 그 output을 촉진한다고 제안하고 이로써 oat bran의 콜레스테롤 저하 효과를 설명할 수 있다고 하였다. 식이섬유가 담즙배설능에 미치는 영향은 식이섬유의 종류에 따라 다양한 결과를 보여주고 있는데(52-54), 특히 콜레스테롤 저하효과가 없는 불용성 식이섬유인 cellulose도 분변으로의 담즙배설을 증가시킨다고 보고되었다. Vahouny 등(55)은 무콜레스테롤 식이와 함께 첨가한 psyllium husk, pectin, cellulose 등이 담즙산 및 중성 스테로이드의 배설량을 증가시켰다고 보고하면서 pectin의 분변중 담즙산 흡착능은 methoxylation 정도에 따라 변화한다고 하였다. 그러므로 식이섬유 첨가에 따른 분변중 담즙산 및 중성 스테로이드 배설량은 식이섬유가 혈장 콜레스테롤 농도에 미치는 영향과 직접적인 상관관계를 보이지 않는다고 주장하였다. 이러한 보고들을 종합해 볼 때 식이섬유 섭취에 의한 콜레스테롤 농도 저하효과는 전적으로 담즙산 재흡수 저하에 의한 것이 아니며, 중성지방과 콜레스테롤 외에 다른 영양성분의 흡수저하가 복합적으로 작용한 것으로 보인다.

### 식이섬유와 지질배설능

식이섬유의 섭취가 분변으로 배설되는 지질의 양에

영향을 미친다고 보고되었다(20,21). 많은 연구자들에 의해 pectin 등과 같은 수용성 식이섬유는 높은 점성으로 인해 원취의 소장에서 콜레스테롤과 중성지방의 흡수를 저해하여 이들의 배설을 촉진하고, 또한 gel을 형성하는 식이섬유의 이러한 성질이 장관에서 콜레스테롤 및 중성지방과 직접 결합하여 이들의 배설을 증가시킴으로써 흡수를 억제하는 것으로 보고되고 있으며(56), 이러한 콜레스테롤 pool size의 감소가 혈중 또는 간장중의 콜레스테롤 turnover 속도를 증가시키는 것으로 이해되고 있다(53). 임상실험에서도 점성이 높은 식이섬유는 점성이 낮은 식이섬유에 비해 콜레스테롤 농도를 낮추었다고 보고되었다(Fig. 4)(57). 또한 식이섬유의 섭취가 소장상피세포에 닿아있는 goblet cell로부터 mucin의 분비를 촉진시켜 영양소의 흡수를 제한하는 diffusion barrier로 작용함으로써 영양소의 흡수가 저해된다고 보고되었다(58). 이러한 수용성 식이섬유의 영양소 흡수 저해효과는 혈장 중성지방의 농도와 간장중의 중성지방 및 콜레스테롤 농도를 저하시키는 기작으로 보인다. Ikegami 등(58)은 식이섬유의 섭취가 담즙의 소화관으로의 유출에 미치는 영향을 알아보기 위하여 무콜레스테롤 식이에 다양한 형태의 식이섬유를 섭취시키고 십이지장으로 유출되는 담즙의 양을 측정하였다. 그 결과 고도의 점성다당류인 sodium alginate, guar gum, gum xanthan, locust bean gum 등은 담즙의 분비를 증가시킨 반면, 불용성 다당류인 calcium alginate는 담즙분비에 영향을 미치지 않았다고 보고한 바 있다. 따라서 분변으로의 담즙이나 콜레스테롤의 배설 증가는 식이섬유가 이들 물질이 소장 흡수세포로 확산되는 것을 방해하기 때문인 것으로 풀이된다.

### 식이섬유와 콜레스테롤 합성능

식이섬유가 콜레스테롤 농도를 낮추는 또다른 설명은 식이섬유가 콜레스테롤의 합성능을 저해한다는 것이다. 콜레스테롤은 간을 비롯한 여러 조직에서 합성된다. 콜레스테롤의 합성속도 조절에 관여하는 가장 중요한 효소는 HMG-CoA(3-Hydroxy-3-Methyl glutaryl Coenzyme A) reductase로서 이는 acetyl-CoA를 전구체로 하여 합성된 HMG-CoA를 mevalonate로 전환하는 기능을 가지고 있다. 생체에서는 하루 필요한 콜레스테롤의 2/3에 해당하는 600mg정도가 합성된다고 알려져 있다. 식이로 많은 양의 콜레스테롤이 유입되면 콜레스테롤 합성효소는 저해되어 일정한 콜레스테롤 pool을 유지하게 된다. 식이섬유가 대장에서 발효할 때 생산되는 저급지방산들이 콜레스테롤 합성능을 저



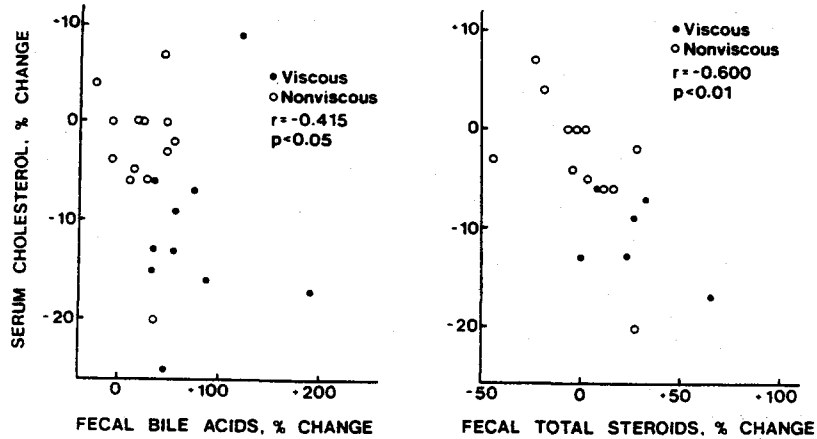


Fig. 4. Correlation of mean changes caused by viscous(closed circles) and nonviscous(open circles) fiber in serum cholesterol with those in fecal bile acids(left panel) and total steroids(Reference 58).

해한다는 연구 결과가 *in vitro*(59,60)와 *in vivo*실험(61)을 통하여 제안되었으며 수용성 식이섬유는 대장에서 발효되어 저급지방산 뿐만 아니라 이산화탄소, 메탄, 수소 가스 등을 생성한다는 연구결과도 보고되었다(62). Mortensen 등(63)은 식이섬유의 구성성분인 단당류와 이당류들이 발효될 때 주로 생성하는 물질들을 동정한 결과, 모든 당들은 acetate를 생성하고 propionic acid는 rhamnose와 arabinose로부터 많이 생성되었으며, butyrate는 sorbitol에서 많이 생성되었다고 하였다. 그리고 isobutyrate, valerate, isovalerate 같은 물질들은 당발효에 의한 것이 아니고 단백질에서 유래한 것이라고 보고하였다. 또한 배양 간세포에서 담즙산(64)이 HMG-CoA reductase 활성을 현저하게 저해하였다는 보고도 있다.

식이섬유의 섭취가 이러한 HMG-CoA reductase 활성에 미치는 영향에 관한 동물실험의 결과는 *in vitro* 실험결과들과 꼭 일치하지는 않음을 보여준다. 즉, Fernandez 등(26)은 콜레스테롤 0.25% 함유식이에 prickly pear pectin을 1% 첨가하여 guinea pig에 급여한 결과, 간에서 HMG-CoA reductase 활성은 변화가 없었음을 관찰하여 pectin의 첨가가 간의 콜레스테롤 합성에 영향을 주지 않는다고 보고하였다. 또한 Nishina 등(23)도 무콜레스테롤 식이에 cellulose를 8% 첨가하였을 경우에는 HMG-CoA reductase 활성에 변화가 없었던 반면, pectin 8% 첨가시에는 효소의 활성 및 내인적 스테롤 합성이 2배나 증가하였음을 보고하였으며 pectin 급여군에서의 이러한 콜레스테롤 생합성의 증가는 식이섬유 섭취로 작아진 콜레스테롤 pool size를 보상하기 위한 기작을 의미한다고 하였다. 이러한 결과는 인체실험에서도 확인되어졌는데, Miettien(57)은 스테롤 balance studies를 통해 분변으로 배설되는

스테롤의 양이 많은 사람에게서 간 콜레스테롤 합성이 증진되었다고 보고하고 있다. 그러나 Levert 등(65)은 식이로 첨가한 propionic acid(2.5%)가 흰쥐에서 HMG CoA reductase 활성을 약간 저하하였으며, 고콜레스테롤 혈증 환자에서도 콜레스테롤 저하효과가 관찰되었다(51). 또한 Gallaher 등(66)도 수용성 식이섬유의 콜레스테롤 저하 효과는 HMG-CoA reductase 활성의 변화에 의한 것이 아니고 수용성 식이섬유가 소장 내용물의 점성을 증가시킨 때문이며, 식이섬유의 발효산물이 HMG-CoA reductase 활성에 미치는 영향은 아직 확실하지 않다고 하였다.

#### 그외 제안된 콜레스테롤 저하 기작

위에서 언급한 기작외에도 식이섬유가 콜레스테롤 농도를 저하시키는 이유에 대한 여러 가설들이 있다. 혈장 콜레스테롤 농도는 식이 콜레스테롤이 혈액순환계로 들어오는 것과 receptor-의존성 또는 비의존성 경로를 통해 순환되는 혈액으로부터 lipoproteins가 제거되는 속도에 달려있다고 할 수 있다. Jackson 등(67)은 콜레스테롤 첨가 식이와 무첨가 식이에 wheat bran, oat bran, barely 및 malted barely 등을 첨가했을 때, 간의 HDL receptor 활성은 식이 콜레스테롤과 밀접한 상호작용을 가져 콜레스테롤과 함께 malted barely를 섭취한 군에서 콜레스테롤 무첨가시 보다 더 높은 활성을 보였으며, LDL receptor 활성은 콜레스테롤을 먹인 쥐에서 유의적으로 더 낮은 경향을 보임으로써 이것이 간에 의한 혈장 lipoprotein 콜레스테롤 uptake의 index가 됨을 지적했다. 또한 Topping 등(68)은 rice bran을 섭취한 흰쥐에서 간세포의 LDL receptor 활성이 증

가하였다고 보고하여 rice bran의 장기간 섭취가 고콜레스테롤 혈증의 치료에 유용하게 쓰일 수 있음을 시사하였다. 최근에는 식이섬유에 의한 영양소 흡수 저하와 insulin response의 저하가 간지질과 VLDL의 합성을 저하시키거나(69) 식이섬유가 소장에서 chylomicron을 구성하는 apolipoprotein 합성이나(32) 스테롤 합성에 영향을 미쳐 혈장 콜레스테롤을 낮춘다는 보고가 있다(70). 따라서 식이섬유의 콜레스테롤 저하효과에 대한 정확한 기작을 밝히기 위해서는 보다 많은 연구 결과의 축적이 요구된다 하겠다.

## 맺는 말

심질환의 발생과 식이섬유의 섭취량간에는 역상관 관계가 있으며, 식이섬유가 콜레스테롤을 비롯한 지질 대사에 영향을 미치는 것은 잘 알려져 있다. 따라서 많은 사람들이 식이섬유의 섭취에 관심을 보이고 있으며, 식품업체에서도 다양한 형태의 식이섬유를 첨가한 식품을 생산보급하고 있다. 여기에서 고려해야 할 것은 식이섬유의 섭취량과 섭취하는 식이섬유의 형태라고 하겠다. 일반적으로 혈장 콜레스테롤을 저하하는데 필요한 수용성 식이섬유의 섭취량은 12~30g/day로 알려져 있다(71). 현재 우리나라 성인의 하루 식이섬유 섭취량은 13~16g 수준이며 이중 1/3을 수용성 식이섬유로 섭취하고 있어(72), 고콜레스테롤 혈증을 예방하거나 치료하기에는 부족한 수준이다. 뿐만 아니라 최근 식이의 패턴이 정제식품과 동물성 식품으로 전환되고 있는 점을 고려할 때 수용성 식이섬유 섭취에 대한 중요성은 더욱 부각되어야 할 것이며, 실험실에서 합성된 식이섬유와 천연의 식이섬유의 생리적 효능에 대한 연구도 필요하다. 왜냐하면 합성되거나 가공제품의 물성유지를 위해 변형된 식이섬유는 천연 식이섬유와는 다른 물리적 성질을 가지기 때문이다(73). 그러나 모든 사람에게 과도한 식이섬유 섭취가 유익한 것은 아닐 것이다. 앞으로 식이섬유의 섭취량에 대한 기준이나 지침이 마련되어 개개인의 생리적 조건을 고려한 식이섬유의 취사선택이 요구된다.

## 요 약

우리나라 주요 사망원인중의 하나가 되고 있는 혈관질환의 주된 위험인자로 고콜레스테롤혈증이 지적되고 있다. 콜레스테롤 저하효과가 있는 식이인자에는 단백질의 종류, 지방의 종류와 양, 식이섬유, 우유, 칼슘, flavonoid 등이 있다. 특히 수용성 식이섬유의 콜레

스테롤 저하효과는 현저하며 동물실험과 인체실험을 통하여 확인되었다. 혈장 콜레스테롤 저하효과가 현저한 식이섬유에는 psyllium husk, pectin, oat fiber, guar gum, sodium alginate 등이 있으며, 농도에 비례하여 그 효과가 커지는 것은 아닌듯하다. 수용성 식이섬유의 콜레스테롤 저하효과에 대한 정확한 기작은 알려져 있지 않으나 몇가지 가설이 제시되고 있다. 첫째, 식이섬유가 장에서 점성용액을 형성하여 지질 흡수를 저해함으로써 혈장과 간 콜레스테롤 농도를 낮춘다는 것이며, 둘째, 체내 콜레스테롤이 체외로 배설되는 유일한 경로인 담즙산의 소장흡수를 방해하고 변으로의 배설을 증가시켜 체내 콜레스테롤 pool 크기를 감소시킨다는 것이다. 셋째, 대장미생물에 의해 생성된 식이섬유의 발효부산물인 short chain fatty acids가 콜레스테롤의 합성을 저해한다는 것이다. 이외에도 여러 가설들이 제시되고 있으며, 이러한 가설들이 서로 상호배제적인 것은 아니며, 단독으로 혹은 복합적으로 작용하는 것으로 보인다.

## 문헌

1. 보건사회부 : '92 국민영양조사 결과 보고서(1994)
2. 권태완, 강수기 : 식품공업의 발달과 우리의 식생활. 한국 식품화학회 추계학술대회(1993)
3. 대한통계협회 : 사망원인 통계연보(1994)
4. Kritchevsky, D. : Dietary fiber and atherosclerosis. In "Dietary fiber, basic and clinical aspects" Vahouny, G. V. and Kritchevsky, D.(eds.), Plenum press, New York, p.265(1986)
5. Mackness, M. I. and Durrington, P. N. : Lipoprotein separation and analysis for clinical studies. In "Lipoprotein Analysis. A practical approach" Converse, C. A. and Skinner, E. R.(eds.), Oxford University Press, New York, p.17(1992)
6. Lusi, A. J. : Genetic factors affecting blood lipoproteins : the candidate gene approach. *J. Lipid Res.*, **29**, 397(1988)
7. Murray, R. K., Granner, D. K., Mayes, P. A. and Rodwell, V. W. : Harper's Biochemistry 21st edition. Appleton & Lange(1988)
8. Champe, P. C. and Harvey, R. A. : Lippincott's Illustrated Reviews : Biochemistry J. B. Lippincott and Co. (1987)
9. Myant, N. B., Brown, M. S. and Goldstein, J. L. : Cholesterol metabolism, LDL, and the LDL receptor. Academic Press, Inc(1990)
10. Trowell, H. C., Southgate, D. A. T., Wolever, T. M. S., Leed, A. R., Gassul, M. A. and Jenkins, D. J. A. : Dietary fiber refined(letter). *Lancet*, 967(1976)
11. Gordon, D. T. : The importance of total dietary fiber in human nutrition and health. *Kor. J. Nutr.*, **25**, 75, (1992)
12. Leeds, A. R. and Judd, P. A. : Dietary fiber and weight

- managment-In Dietary fiber, gastrointestinal, endocrine, and metabolic effects: Lente carbohydrate-In Dietary Fiber. 69, Plenum Press(1992)
13. Jenkins, D. J. A., Wolever, T. M. S., Jenkins, A. L. and Taylor, R. H. : Dietary fiber, gastrointestinal, endocrine and metabolic effects, Lente Carbohydrate-In dietary fiber, 69. Plenum Press(1986)
  14. Oku, T. : New viewpoint on physiological property of dietary fiber and the status of the dietary fiber intake in Japan. *Kor. J. Nutr.*, **25**, 7(1992)
  15. 최면, 태원찬, 김종대 : 식이섬유의 종류가 자연적 고혈압유발 백서의 혈압 변화 및 Na흡수에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **24**, 40(1991)
  16. 이서래, 이경숙 : 납의 *in vitro* 흡수에 미치는 식이섬유의 억제효과. *한국식품과학회지*, **21**, 63(1989)
  17. Burkitt, D. P. and Trowell, H. C. : Refined carbohydrate food and disease : The implications of dietary fiber. Academic Press, London(1975)
  18. 장수정, 박양자 : 식이섬유의 종류와 섭취수준이 고지방식을 섭취한 흰쥐의 체내 지질대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **28**, 107(1995)
  19. 박수현, 이연경, 이혜성 : 식이섬유 첨가식이 Streptozotocin-유도 당뇨쥐의 장기능과 지질 및 당질 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **27**, 311(1994)
  20. 강희정, 서명자, 송영선 : Sodium alginate와 cellulose가 공복 혈장 lipoprotein 조성과 콜레스테롤 대사에 미치는 영향(I). *한국영양학회지*, **23**, 879(1994)
  21. 양정례, 서명자, 송영선 : 콜레스테롤 투여 흰쥐에 있어서 식이섬유가 콜레스테롤 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **25**, 392(1996)
  22. 김미경, 설은영 : Chitin과 chitosan이 흰쥐의 cadmium 중독과 지방대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **27**, 996(1994)
  23. Nishina, P. M., Schneeman, B. O. and Freedland, R. A. : Effects of dietary fibers on nonfasting plasma lipoprotein and apolipoprotein levels in rats. *J. Nutr.*, **121**, 431(1991)
  24. Indira, M., and Kurup, P. A. : Effects of neutral detergent fiber from blackgram(*Phaseolus mungo*) in rats and rabbits. *J. Nutr.*, **119**, 1246(1989)
  25. Peluso, M. and Schneeman, B. O. : A Food-grade silicon dioxide is hypocholesterolemic in the diet of cholesterol-fed rats. *J. Nutr.*, **124**, 853(1994)
  26. Fernandez, M. L., Trejo, A. and McNamara, D. J. : Pectin isolated from prickly pear(*Opuntia* sp.) modifies low density lipoprotein metabolism in cholesterol-fed guinea pigs. *J. Nutr.*, **120**, 1283(1990)
  27. Kahlon, T. S., Chow, F. I., Sayre, R. N. and Betschart, A. A. : Cholesterol-lowering in hamsters fed rice bran at various levels, defatted rice bran and rice bran oil. *J. Nutr.*, **122**, 513(1992)
  28. Kritchevsky, D., Tepper, S. A., Czarnecki, S. K., Kourfeld, D. M. and Story, J. A. : Experimental atherosclerosis in rabbits fed cholesterol free diets part 9. Beef protein and textured vegetable protein. *Atherosclerosis*, **39**, 169(1981)
  29. Ney, D. M., Lasekan, J. B. and Shinnick, F. L. : Soluble oat fiber tends to normalize lipoprotein composition in cholesterol-fed rats. *J. Nutr.*, **118**, 1455(1988)
  30. 김연희, 이상선 : 식이섬유질원이 포함된 식이가 흰쥐의 혈청지질 수준과 장기능 변화에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **28**, 825(1995)
  31. Hundemer, J. K., Nabar, S. P., Shiver, B. J. and Forman, L. P. : Dietary fiber sources lower blood cholesterol in C57BL/6 mice. *J. Nutr.*, **121**, 1360(1991)
  32. Redard, C. L., Davis, P. A., Middleton, S. J. and Schneeman, B. O. : Postprandial lipid response following a high fat meal in rats adapted to dietary fiber. *J. Nutr.*, **122**, 219(1992)
  33. 김미경, 이상선 : 식이섬유질의 종류가 흰쥐의 혈청지질농도와 장기능에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **28**, 23(1995)
  34. 이혜성, 최명숙, 이연경, 박수현, 김유정 : 당뇨병환자를 위한 고식이섬유보충물의 개발을 위한 연구(II)-해조류 투여가 당뇨쥐의 당질과 지질대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **29**, 296(1996)
  35. 정경아, 장유경 : 곡류 급원에 따른 흰쥐의 간과 혈중지질에 관한 연구. *한국영양학회지*, **28**, 5(1995)
  36. Krichevsky, D., Tepper, S. A., Davidson, L. M. and Klurfeld, D. M. : Effect of barley fiber on serum and liver cholesterol in rats. *FASEB J.*, **4**, A782(1990)
  37. 최용순, 안철, 심호흡, 최면, 오상룡, 이상영 : 인스탄트 메밀국수가 백서의 소화흡수율, 간장 및 혈청지질 농도에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **21**, 478(1992)
  38. 조영숙, 박정로, 박석규, 전순실, 정승용, 하봉석 : 갖의 급이가 흰쥐의 cholesterol대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **26**, 13(1993)
  39. 이영주, 박무희, 황성원, 배만중, 한준표 : 송화분이 고지방 식이 섭취 흰쥐의 혈청과 간장에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **23**, 192(1994)
  40. 최용순, 서정호, 김천호, 김영미, 함승시, 이상영 : 흰쥐에 있어서의 메밀채소의 투여가 지질대사에 미치는 효과. *한국영양학회지*, **23**, 212(1994)
  41. Schrijver, R., Fremant, D. and Verheyen, A. : Cholesterol-lowering effects and utilization of protein, lipid, fiber and energy in rats fed unprocessed and baked oat bran. *J. Nutr.*, **122**, 1318(1992)
  42. Lopez-Guisa, J., Harned, M. C., Dubielzig, R., Rao, S. C. and marlett, J. A. : Processed oat hulls as potential dietary fiber sources in rats. *J. Nutr.*, **118**, 953(1988)
  43. 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)
  44. Hunninghake, D. B., Miller, V. T., Larosa, J. C., Kinoshian, B., Brown, V., Howard, W. J., DiSerio, F. J. and O'Connor, R. R. : Hypocholesterolemic effects of a dietary fiber supplement. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**, 1050(1994)
  45. Anderson, J. W., Smith, B. M. and Gustafson, N. J. : Health benefits and practical aspects of high-fiber diets. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**(suppl), 1242S(1994)
  46. Wolever, T. M. S., Jenkins, D. J. A., Mueller, S., Boctor, D. L., Ransom, T. P., Patten, R., Chao, E. S. M., McMillan, K. and Fulgoni, V. III : Method of administration influences the serum cholesterol-lowering effect of psyllium. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**, 1055(1994)
  47. Gelissen, I. C., Brodie, B. and Easrwood, M. A. :

- Effect of *Plantago ovata*(psyllium) husk and seeds on sterol metabolism: Studies in normal and ileostomy subjects. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**, 395(1994)
48. Kestin, M., Moss, R., Clifton, P. M. and Nestel, P. J. : Comparative effects of three cereal brans on plasma lipids, blood pressure and glucose metabolism in mildly hypercholesterolemic men. *Am. J. Clin. Nutr.*, **52**, 61(1990)
  49. Poulter, N., Chang, C. L., Cuff, A., Poulter, C., Sever, P. and Thom, S. : Lipid profiles after the daily consumption of an oat-based cereal : a controlled crossover trial. *Am. J. Clin. Nutr.*, **58**, 66(1993)
  50. Lo, G. S., Evans, R. H., Phillips, K. S., Dalgren, R. R. and Steinke, F. H. : Effect of soy fiber and soy protein on cholesterol metabolism and atherosclerosis in rabbits. *Atherosclerosis*, **64**, 47(1987)
  51. Shorey, R. L., Day, P. T., Willis, R. A., Lo, G. S. and Steinke, F. H. : Effects of soybean polysaccharide on plasma lipids. *J. Am. Diet. Ass.*, **85**, 1461(1985)
  52. 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**, 1100(1989)
  53. Gallaher, D. and Schneeman, B. O. : Intestinal interaction of bile acids, phospholipids, dietary fiber and cholesterylamine. *Am. J. Physiol.*, **250**, 20(1986)
  54. Lafont, H., Lairon, D., Vigne, J. L., Chanussot, F., Chabert, C., Portugal, H., Pauli, A. M., Crotte, C. and Hauton, J. C. : Effect of wheat bran, pectin and cellulose on the secretion of bile lipids in rats. *J. Nutr.*, **115**, 849(1985)
  55. 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)
  56. 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)
  57. Miettinen, T. A. : Dietary fiber and lipids. *Am. J. Clin. Nutr.*, **45**, 1237(1987)
  58. Ikegami, S., Tsuchihashi, F., Harada, H., Tsuchihashi, N., Nishide, E. and Innam, S. : Effect of viscous indigestible polysaccharides on pancreatic-biliary secretion and digestive organs in rats. *J. Nutr.*, **120**, 353(1990)
  59. Nishina, P. M. and Freedland, R. A. : Effects of propionate on lipid biosynthesis in isolated rat hepatocytes. *J. Nutr.*, **120**, 668(1990)
  60. Anderson, J. W. and Bridges, S. R. : Plant fiber metabolites after hepatic glucose and lipid metabolism. *Dietetics*, **30**(suppl), 133(1981)
  61. Chen, W. L. and Anderson, J. W. : Effects of guar gum and wheat bran on lipid metabolism in rats. *J. Nutr.*, **109**, 1028(1979)
  62. Smith, C. J. and Bryant, M. P. : Introduction to metabolic activities of intestinal bacteria. *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 149(1979)
  63. Mortensen, P. B., Holtug, K. and Rasmussen, H. S. : Short-chain fatty acid production from mono-disaccharides in a fecal incubation system: Implications for colonic fermentation of dietary fiber in humans. *J. Nutr.*, **118**, 321(1988)
  64. 김성완 : 배양 간세포 내에서의 콜레스테롤 합성에 대한 담즙산의 저해효과. *한국영양학회지*, **21**, 496(1992)
  65. Levert, M-A., Favier, M-L., Moundrad, C., Remesy, C., Demigne, C. and Morand, C. : Pole of propionic acid and bile acid excretion in the hypocholesterolemic effects of oligosaccharides in rats. *J. Nutr.*, **124**, 531(1994)
  66. Gallaher, D. D., Hassel, C. A., Lee, K-J. and Gallaher, C. M. : Viscosity and fermentability as attributes of dietary fiber responsible for the hypocholesterolemic effect in hamsters. *J. Nutr.*, **123**, 244(1993)
  67. Jackson, K. A., Suter, D. A. I. and Topping, D. L. : Oat bran, barley and malted barley lower plasma cholesterol relative to wheat bran but differ in their effects on liver cholesterol in rats fed diets with and without cholesterol. *J. Nutr.*, **124**, 1678(1994)
  68. Topping, D. L., Illman, R. J., Roach, P. D., Trimble, R. P., Kambouris, A. and Nestel, P. : Modulation of the hypolipidemic effect of fish oils by dietary fiber in rats : studies with rice and wheat bran. *J. Nutr.*, **120**, 325(1990)
  69. Cara, L., Dubois, C., Borel, P., Armand, M., Senft, M., Portugal, H., Pauli, A-M., Bernard, P-M. and Lairon, D. : Effects of oat bran, rice bran, wheat fiber, and wheat germ on postprandial lipemia in healthy adults. *Am. J. Clin. Nutr.*, **55**, 81(1992)
  70. 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)
  71. Jenkins, D. J. A., Spadafora, P. J., Jenkins, A. L. and Rainey-Macdonald, C. G. : Fiber in the treatment of hyperlipidemia. In "*Dietary fiber in human nutrition*" Spiller, G. A.(ed.), CRC Press, Boca Raton(1993)
  72. 이해성, 이연경, Chen, S. C. : 대학생의 식이섭유 섭취에 관한 연구. *한국영양학회지*, **24**, 534(1991)
  73. 최면, 김종대, 주진순 : Polydextrose와 Guar gum이 지방량을 달리한 식이를 섭취한 정상백서의 지질대사에 미치는 영향. *한국영양학회지*, **25**, 211(1992)

(1997년 2월 5일 접수)