

고지방식을 섭취한 흰쥐의 체내 지질 함량에 대한 대두 단백질과 칼슘의 섭취 효과*

이 연 숙 · 고 정 숙
서울대학교 농업생명과학대학 농가정학과

Effects of Dietary Soy Protein and Calcium on Blood and Tissue Lipids in Rats Fed Fat-Enriched Diet

Lee, Yeon Sook · Koh, Jung Sook
Department of Home Economics, College of Agriculture and Life Sciences,
Seoul National University, Seoul, Korea

ABSTRACT

This study was carried out to examine how dietary protein and calcium levels in rats fed fat-enriched diet affect the total lipid and cholesterol contents of blood and tissues. Male Sprague-Dawley rats weighing approximately 200g were fed six purified diets which contained 18% (w/w) beef tallow, 1% (w/w) cholesterol, two source of protein, casein or isolated soy protein (ISP) and three levels of dietary calcium, 0.1%, 0.4% and 1.0%, first, for four weeks, and second, for eight weeks.

The contents of the total lipid, cholesterol and triglyceride in blood, liver, heart and feces were determined. After four weeks feeding serum lipid and cholesterol concentrations significantly decreased in rats fed 1.0% (w/w) level calcium, regardless of dietary protein sources. After eight weeks, these concentrations were significantly lower in the rats fed soy protein than in casein-fed rats. As dietary calcium level increased serum and tissue lipid and cholesterol contents were decreased and fecal lipid excretion increased. It is concluded that hypolipidemic and/or hypocholesterolemic effects of soy protein and calcium were partly due to decrease in lipid absorption.

KEY WORDS : fat-enriched diet · isolated soy protein · dietary calcium level · serum lipid concentration.

서 론

순환기 질환의 발생과 진전에 있어서 혈중 지질
채택일 : 1993년 9월 27일
*본 연구는 1990~1993년 한국과학재단 목적기초 연구과제의 일부임.

특히 콜레스테롤의 농도 증가가 위험인자로 지적되어 왔으며, 그 농도 조절에 식이 인자들이 크게 관여하고 있음이 밝혀지고 있다¹⁾. 즉, 혈청 콜레스테롤 수준은 주로 식이내 함유된 콜레스테롤의 양과 식이 지방의 종류와 양, 탄수화물의 종류,

체내 지질 함량에 대한 대두 단백질과 칼슘의 섭취 효과

단백질의 종류, 비타민 및 무기질에 의해 영향을 받는다. 이들 식이 성분중 동물성 단백질인 casein의 혈청 콜레스테롤 농도 상승 작용과 식물성 단백질인 대두단백질의 농도 저하 작용이 여러 실험 연구에서 보고되어 왔다²⁻⁴⁾.

그러나, 식이 단백질과 지질 대사와의 관계는 실험동물, 동물의 연령, 실험기간, 실험조건에 따라 일관성 있는 결과가 제시되어 있지 않고, 그 작용 메카니즘도 식이단백질 섭취에 따른 지질 흡수율, 분중 지질 또는 스테롤 배설량, 단백질의 아미노산 조성 등의 차이로 설명되고 있으나 아직 명확히 규명되어 있지 않다⁵⁾. 또 무기 성분중 칼슘 섭취에 따른 혈청 콜레스테롤 농도 저하효과는 역학 조사, 동물 실험, hyperlipidemia 환자에게서 보고되어 왔다⁶⁻⁸⁾.

현재 우리나라 국민의 영양소 섭취 실태 보고를 보면⁹⁾ 동물성 단백질의 섭취량은 증가하고 있는 반면, 칼슘의 섭취량이 권장량에도 미치지 못하고 있으며 순환기 질환이 매년 증가하고 있는 실정이다. 이러한 관점에서 단백질의 종류 또는 칼슘 섭취 수준에 따른 혈청 지질 농도 변화와 그 메카니즘을 규명하는 것은 반드시 필요한 연구과제라고 본다. 선행 연구에서 우지(beef tallow)를 지방원으로 한 고지방식에 콜레스테롤 첨가 또는 무첨가시 칼슘의 섭취 효과를 검토하였을 때, 콜레스테롤 첨가 고지방식의 경우에 고지혈증이 유도되었으며 칼슘의 섭취효과도 인정되었다^{10,11)}.

따라서 본 실험에서는 우지를 급원으로한 고지방식에 콜레스테롤에 첨가함으로써 흰쥐의 고지혈증을 유도하고 이때 흰쥐의 혈청 지질 및 콜레스테롤 농도 상승에 대하여 단백질의 종류 및 칼슘의 섭취 수준이 어떤 영향을 미치는지를 단기간 또는 장기간에 걸쳐 검토하였다.

재료 및 방법

1. 실험 동물 및 식이

평균체중이 약 200g인 숫컷 흰쥐(Sprague-Dawley종 : 서울대학교 실험동물사육장에서 구입)를 8 마리씩 6군으로 완전 임의배치하여 18% 고지방과

1% 콜레스테롤을 함유한 식이에 동·식물성 단백질(casein 또는 대두단백질 : isolated soy protein : ISP)과 세 수준의 칼슘을 함유한 6종류의 실험 식이, 즉 카제인-저칼슘(casein-low Ca), 카제인-중칼슘(casein-medium Ca), 카제인-고칼슘(casein-high Ca), 대두단백질-저칼슘(ISP-low Ca), 대두단백질-중칼슘(ISP-medium Ca), 대두단백질-고칼슘(ISP-high Ca) 식이를 4주간(실험 I) 또는 8주간(실험 II) 급여하였다.

본 실험에 사용된 식이의 조성은 Table 1과 같다. Casein(매일유업(주), 서울), 대두단백질(isolated soy protein : ISP, PP 500E ; Ralston Purina Inter. Co.), 옥수수 전분(미원식품(주), 서울), 우지(농촌진흥청 수원 축산시험장에서 구입하여 정제)와 비타민 혼합물(AIN-76, oriental 효모공업(주), 동경) 및 미네랄혼합물(칼슘과 인을 제외하고 Harper pattern¹²⁾을 기준으로 조제)을 사용하였다. 실험 식이에 따라 칼슘 함량이 첨가 조정되었는데 식이중 저칼슘 0.1%, 중칼슘 0.4%, 고칼슘 1.0%를 함유하도록 하였다. 이때 칼슘 급원으로서 소뼈회분(100% bone ash, 풀무원식품(주), 서울)을 사용하였으며, 소뼈회분 중 칼슘과 인의 함량은 각각 39.78%, 18.28%였고, 다른 미네랄 함량은 극미량으로 미네랄 혼합물 조성에 거의 영향을 미치지 않는 범위였다.

모든 실험에 이용된 흰쥐들은 실험동물 사육실(온도 23±3°C, 상대습도 60±10%, 조명 6 : 00 A.M. ~ 6 : 00 P.M.)에서 stainless-steel wire cage에 한 마리씩 분리 사육하였다. 실험 식이와 탈이온수는 자유 섭취방법(ad libitum)으로 급여하였다. 대사 cage와 사육에 사용된 모든 기구는 무기질 오염을 방지하기 위해서 0.4% EDTA로 씻은 후, 탈이온수로 행구어 사용하였다. 체중과 섭취량은 2일마다 한번씩 일정한 시간에 측정하였다.

2. 시료수집

실험동물은 시료채취 전 하룻밤 절식시킨 후, 1시간 30분동안 실험식이를 급여한 후 1시간 후에 ethyl ether로 마취시켜 경동맥에서 혈액을 채취하였다. 혈액을 채취한 후 간과 심장을 적출하여 장

Table 1. Composition of experimental diets(g/kg)

Protein source Ingredient	Casein			ISP		
	Low-Ca	Medium-Ca	High-Ca	Low-Ca	Medium-Ca	High-Ca
Starch	531.75	527.25	509.25	531.75	527.25	509.25
Casein	200	200	200	—	—	—
ISP ¹⁾	—	—	—	200	200	200
Beef tallow	180	180	180	180	180	180
Cholesterol	10	10	10	10	10	10
Fiber	5	5	5	5	5	5
Choline Chloride	2	2	2	2	2	2
Vit. Mix ²⁾	10	10	10	10	10	10
Min. Mix ³⁾ (Ca & P free)	40	40	40	40	40	40
PEG ⁴⁾	10	10	10	10	10	10
Bone Ash ⁵⁾	1.25	8.75	23.75	1.25	8.75	23.75
KH ₂ PO ₄	10	4	10	10	4	10
KCl	—	3	—	—	3	—

1) Isolated soy protein

2) Vitamin mixture : AIN-76

3) Mineral mixture(g/kg mix.) Calcium and phosphate-free mineral mixture : NaCl, 250.6 ; MaSO₄ · 7H₂O, 99.8 ; Fe-citrate, 6.23 ; CuSO₄ · 5H₂O, 1.56 ; MnSO₄ · H₂O, 1.21 ; ZnCl₂, KI, 0.005 ; (NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O, 0.025 ; and sucrose, 640.37

4) Polyethylene glycol # 4000

5) Bone ash : Ca, 39.78% ; P, 18.28%

기에 부착되어 있는 지방을 깨끗이 제거한 후, 냉장 생리식염수(0.9% NaCl 용액)로 세척하여 혈액을 제거한 다음 여과지로 물기를 닦고 생조직의 무게를 측정하였다. 또 실험 종료전 4일간의 번을 수집하였다. 채취한 혈액은 냉장고(4°C)에 하룻밤동안 방치후 3000rpm에서 20분간 원심분리(Centrifuge, Sorvall, GLC-2B) 하였으며 이로부터 혈청을 얻었다. 장기와 번의 시료는 냉동건조(Freeze-Dryer 18, Labconco, U.S.A)하여 분쇄한 후 건조 무게를 측정하였다. 모든 시료는 분석에 사용되기까지 냉동 보관(-40°C이하) 하였다.

3. 시료분석

혈액의 총지질은 Fringe와 Dunn¹³⁾, 콜레스테롤은 Zlatkis와 Zak¹⁴⁾, 중성지방은 Biggs등¹⁵⁾의 방법으로 분석하였다. 조직과 번중의 총지질과 콜레스테롤 및 중성지방함량은 Folch등¹⁶⁾의 방법을 이용하여 조직과 번으로부터 총지방을 추출한 후 혈청과 동일한 방법으로 분석하였다.

4. 통계처리

실험식이의 처리에 의한 각 분석치는 SAS program을 이용하여 평균과 표준오차로 제시하였다. 각 처리별 유의성은 Duncan's multiple range test로 검정하였으며 단백질의 종류와 칼슘수준 및 두 요인간의 상호작용을 알아보기 위하여 요인분석(factorial analysis)을 실시하였다.

실험결과

1. 혈청 지질 농도

혈청 지질 농도는 Table 2에 제시한 바와 같다. 4주간의 실험에서는 혈청 총지질 농도에 있어서 casein-low Ca과 ISP-low Ca군에서 높게, casein-high Ca군과 ISP-high Ca군에서 낮게 나타났다. 콜레스테롤, 중성지방 농도는 각 처리군간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 단백질 급원에 따른 총지질, 콜레스테롤, 중성지방 농도는 유의적인 차이를 보

체내 지질 함량에 대한 대두 단백질과 칼슘의 섭취 효과

Table 2. The concentration of total lipids, cholesterol and triglyceride of serum in rats fed experimental diets

	Total Lipids (mg/100ml)	Cholesterol (mg/100ml)	Triglyceride (mg/100ml)
Expt I(4wks)			
Casein-Low Ca	483.3±10.3 ^{a1)}	137.1±9.9 ^{NS3)}	57.81±10.94 ^{NS}
Casein-Medium Ca	379.4±44.5 ^{b2)}	124.3±17.4	50.00±12.20
Casein-High Ca	366.0±26.7 ^b	118.8±9.9	41.02±4.00
ISP-Low Ca	482.1±11.2 ^a	139.8±4.6	48.05±8.19
ISP-Medium Ca	419.6±11.5 ^{ab}	133.3±1.1	42.19±5.24
ISP-High Ca	367.8±19.2 ^b	118.4±11.2	37.50±2.71
Protein Sources	NS	NS	NS
Ca Levels	p<0.05	p<0.05	NS
Protein * Ca	NS	NS	NS
Expt II(8wks)			
Casein-Low ca	709.6±12.9 ^{a1)}	298.8±35.0 ^a	71.19±7.77 ^a
Casein-Medium ca	670.9±48.2 ^{ab2)}	268.6±16.5 ^b	69.92±8.90 ^a
Casein-High ca	529.0±49.4 ^{bc}	170.7±19.2 ^c	42.16±5.46 ^b
ISP-Low ca	575.2±16.2 ^{ab}	170.8±25.7 ^c	44.07±1.69 ^b
ISP-Medium ca	541.9±56.9 ^b	153.7±11.9 ^c	40.20±5.19 ^b
ISP-High ca	400.0±39.7 ^c	139.9±14.3 ^c	32.20±1.69 ^b
Protein Sources	p<0.05	p<0.05	p<0.05
Ca Levels	p<0.05	p<0.05	p<0.05
Protein * Ca	NS ³⁾	p<0.05	NS

1) Mean±SE of 8 rats per group

2) Values with different superscript within the column are significantly different at p<0.05

3) NS : Not significant

이지 않았다. 그러나, 식이 칼슘 수준에 따라서는 고칼슘 식이군이 저칼슘 식이군보다 혈청 총지질, 콜레스테롤 농도가 유의하게 낮았음에 비해, 중성지방의 농도는 유의적인 차이가 없었다. 단백질과 칼슘 섭취에 의한 유의적인 상호 저하효과는 없었다. 8주간의 실험에서는 혈청 총지질, 콜레스테롤, 중성지방 함량 모두 대두단백질의 섭취에 따라 casein보다 유의적으로 낮았으며, 칼슘 수준이 증가할수록 유의하게 낮은 값을 보였다. 혈중 콜레스테롤에 있어서 대두단백질과 고칼슘에 의한 유의적인 상호 저하작용도 보였다(p<0.05).

2. 간조직 중의 지질 함량

식이 단백질과 칼슘 수준에 따른 간조직의 건조 무게당 총지질, 콜레스테롤 및 중성 지방 함량은 Table 3에 제시한 바와 같다. 4주간의 실험에서

보면, 간조직의 무게는 각군간에 유의적인 차이는 없었으나, casein을 급여한 군이 높은 경향을 보였다. 간조직의 총지질, 콜레스테롤, 중성지방 함량은 casein-low Ca군이 ISP-high Ca군에 비해 유의적으로 높은 값을 보였다. 단백질의 급원에 따라서는 대두단백질 섭취군이 casein군보다 간조직의 무게 및 모든 지질 함량에 있어서 유의적으로 낮았다. 칼슘 수준에 따라서는 유의적인 차이는 없었다. 두 식이 인자에 의한 상호 효과는 없었다.

8주간의 실험에서는 총지질, 콜레스테롤 및 중성 지방 함량에 있어서 대두단백질 섭취에 따라, 또 칼슘 섭취 수준의 증가에 따라 유의하게 낮았다. 두 식이 인자간에 의한 상호 저하효과는 콜레스테롤 함량에 있어서 통계적으로 유의적인 것으로 나타났다.

Table 3. The concentration of total lipids, cholesterol and triglyceride of liver in rats fed experimental diets

	Dry Wt. (g)	Total lipids (mg/g. dry wt.)	Cholesterol (mg/g. dry wt.)	Triglyceride (mg/g. dry wt.)
Expt I(4wks)				
Casein-Low Ca	4.88 ± 0.46 ^{1)NS}	397.6 ± 39.4 ²⁾	23.52 ± 0.47 ^a	288.4 ± 48.3 ^a
Casein-Medium Ca	4.98 ± 0.51	366.0 ± 21.4 ^{ab}	23.72 ± 0.46 ^a	212.5 ± 24.4 ^{ab}
Casein-High Ca	5.74 ± 0.17 ^{1)NS}	363.4 ± 15.2 ^{ab}	23.67 ± 0.42 ^a	212.1 ± 30.1 ^{ab}
ISP-Low Ca	3.84 ± 0.20	326.6 ± 13.1 ^{ab}	22.11 ± 0.61 ^{ab}	182.4 ± 16.1 ^b
ISP-Medium Ca	3.94 ± 0.17	327.0 ± 9.8 ^{ab}	22.16 ± 0.91 ^{ab}	174.8 ± 9.9 ^{b2)}
ISP-High Ca	3.91 ± 0.18	313.5 ± 20.9 ^b	20.55 ± 0.76 ^b	174.5 ± 22.4 ^b
Protein Sources	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05
Ca Levels	NS ³⁾	NS	NS	NS
Protein * Ca	NS	NS	NS	NS
Expt II(8wks)				
Casein-Low Ca	6.52 ± 0.30 ^{a1)}	519.0 ± 22.6 ^a	25.15 ± 0.48 ^a	353.4 ± 17.9 ^a
Casein-Medium Ca	6.25 ± 0.10 ^{ab}	517.5 ± 18.1 ^a	26.04 ± 1.07 ^a	347.5 ± 29.8 ^a
Casein-High Ca	6.54 ± 0.11 ^a	502.0 ± 16.6 ^{ab}	24.64 ± 0.70 ^a	264.7 ± 16.5 ^b
ISP-Low Ca	5.77 ± 0.08 ^{bc}	443.3 ± 16.0 ^{bc}	24.33 ± 0.69 ^a	220.5 ± 20.4 ^{bc}
ISP-Medium Ca	5.39 ± 0.42 ^{cd}	389.2 ± 29.0 ^c	24.17 ± 1.36 ^a	215.4 ± 10.5 ^{bc}
ISP-High Ca	5.06 ± 0.21 ^{d2)}	280.2 ± 21.2 ^d	20.12 ± 1.42 ^b	173.4 ± 7.6 ^c
Protein Sources	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05
Ca Levels	NS ³⁾	p<0.05	p<0.05	p<0.05
Protein * Ca	NS	p<0.05	NS	NS

1) Mean ± SE of 8 rats per group

2) Values with different superscript within the column are significantly different at p<0.05

3) NS : Not significant

3. 심장 조직의 지질 함량

심장 조직의 총지질, 콜레스테롤, 중성 지방 함량은 Table 4에 제시한 바와 같다.

4주간의 실험에서 심장 조직의 총지질, 콜레스테롤 및 중성지방 함량은 각 군간에 유의적인 차이는 없었으며, 단백질의 급원에 따라 또 칼슘 섭취 수준에 따라 차이가 없었다. 두 식이 인자에 의한 상호 효과도 보이지 않았다.

8주간의 실험에서는 총지질, 콜레스테롤 및 중성지방 함량에 있어서 실험 식이군간에 약간의 차이가 있었다. 단백질의 급원에 따라서는 대두단백질이 casein에 비해 총지질, 콜레스테롤, 중성지방 함량 모두에서 유의적으로 낮았다. 칼슘 섭취에 따른 총지질, 콜레스테롤 함량은 유의적인 차이는

나타나지 않았으나, 중성지방 함량은 칼슘 수준이 증가할수록 유의적으로 낮았다. 두 식이 인자에 의한 상호 효과는 나타나지 않았다.

4. 변중 지질 함량

식이 단백질과 칼슘수준에 따른 1일 변배설량, 총지질, 콜레스테롤 함량은 Table 5에 제시한 바와 같다.

4주간의 실험에서 1일 변배설량은 ISP-high Ca 군이 다른 실험군에 비해서 유의하게 증가되었다. 단백질의 종류에 따라서는 대두단백질이 casein에 비해서 유의하게 증가하였으며, 칼슘 수준에 있어서는 고칼슘 식이군이 저칼슘, 정상칼슘 식이군에 비해 유의적으로 증가하였다. 또 대두단백질 섭취에 따라 총지질, 콜레스테롤 함량이 유의하게 증가하

체내 지질 함량에 대한 대두 단백질과 칼슘의 섭취 효과

Table 4. The concentration of total lipids, cholesterol and triglyceride of heart in rats fed experimental diets

	Total Lipids (mg/g. dry wt.)	Cholesterol (mg/g. dry wt.)	Triglyceride (mg/g. dry wt.)
Expt I(4wks)			
Casein-Low Ca	139.6± 15.9 ^{NS}	5.50± 0.17 ^{NS3)}	40.00± 4.86 ^{NS}
Casein-Medium Ca	129.6± 4.0 ¹⁾	4.79± 0.40	41.66± 3.73
Casein-High Ca	128.0± 0.5	4.70± 0.08	37.31± 4.10
ISP-Low Ca	138.0± 3.3	5.08± 0.34	36.97± 16.1
ISP-Medium Ca	134.6± 4.1	5.25± 0.18	33.80± 4.63
ISP-High Ca	125.3± 5.2	4.71± 0.07	28.24± 2.52
Protein Sources	NS	NS	p<0.05
Ca Levels	NS	NS	NS
Protein * Ca	NS	NS	NS
Expt II(8wks)			
Casein-Low ca	118.1± 6.6 ²²⁾	8.35± 0.35 ^a	54.55± 5.57 ^a
Casein-Medium ca	117.4± 3.8 ^a	8.21± 0.42 ^a	52.95± 2.76 ^a
Casein-High ca	104.0± 5.1 ^{ab}	8.17± 0.22 ^a	40.06± 3.86 ^{ab}
ISP-Low ca	109.0± 4.7 ^{ab}	7.73± 0.23 ^{ab}	44.89± 5.66 ^{ab}
ISP-Medium ca	104.0± 4.7 ^{ab}	7.48± 0.17 ^b	43.97± 6.53 ^{ab}
ISP-High ca	98.2± 7.3 ^b	7.14± 0.28 ^b	30.14± 1.94 ^b
Protein Sources	p<0.05	p<0.05	p<0.05
Ca Levels	NS	NS	p<0.05
Protein * Ca	NS	NS	NS

1) Mean± SE of 8 rats per group

2) Values with different superscript within the column are significantly different at p<0.05

3) NS : Not significant

Table 5. Fecal lipid and cholesterol contents in rats fed experimental diets

	Dry Feces (g/day)	Total Lipid (mg/day)	Cholesterol (mg/day)
Expt I(4wks)			
Casein-Low Ca	1.09± 0.07 ^{d1)}	111.1± 15.7 ^c	23.58± 0.48 ^c
Casein-Medium Ca	1.59± 0.16 ^(d)	130.6± 6.0 ^c	29.94± 2.76 ^{bc}
Casein-High Ca	1.79± 0.11 ^{bc}	135.3± 6.4 ^c	34.48± 1.61 ^b
ISP-Low Ca	1.27± 0.19 ^{d1)}	150.9± 13.9 ^c	32.58± 4.03 ^{bc}
ISP-Medium Ca	2.19± 0.17 ^{b2)}	237.1± 14.9 ^b	49.24± 3.41 ^a
ISP-High Ca	3.43± 0.25 ^a	298.6± 24.1 ^a	56.92± 2.65 ^a
Protein Sources	p<0.05	p<0.05	p<0.05
Ca Levels	p<0.05	p<0.05	p<0.05
Protein * Ca	NS ³⁾	p<0.05	NS
Expt II(8wks)			
Casein-Low ca	0.90± 0.07 ^{d1)}	327.4± 35.5 ^d	26.71± 1.98 ^c
Casein-Medium ca	1.65± 0.22 ⁽²⁾	513.1± 28.3 ^c	38.70± 2.79 ^b
Casein-High ca	2.65± 0.33 ^b	628.7± 40.5 ^b	50.68± 2.85 ^a
ISP-Low ca	1.42± 0.11 ^{cd}	463.4± 21.5 ^c	34.34± 3.64 ^{bc}
ISP-Medium ca	2.47± 0.22 ^b	659.5± 8.0 ^b	51.53± 8.02 ^a
ISP-High ca	3.52± 0.24 ^a	817.7± 23.1 ^a	58.22± 1.43 ^a
Protein Sources	p<0.05	p<0.05	p<0.05
Ca Levels	p<0.05	p<0.05	p<0.05
Protein * Ca	p<0.05	p<0.05	p<0.05

1) Mean± SE of 8 rats per group

2) Values with different superscript within the column are significantly different at p<0.05

3) NS : Not significant

였으며 칼슘 섭취 수준 증가에 따라서도 유의적으로 증가되었다. 이들 두 식이 요인간에 상호 상승작용은 변중 총지질 배설량에 있어서 유의적으로 나타났다.

8주간의 실험에서는 변배설량 및 총지질과 콜레스테롤 배설량은 대두단백질 섭취에 따라, 칼슘 섭취 증가에 따라 유의적으로 증가하였다. 두 식이 인자간에 상호 상승효과가 변배설량, 총지질 및 콜레스테롤 배설량에 있어서 유의하게 나타났다.

고 찰

지금까지 많은 실험 연구에서 대두 단백질에 의한 혈청 콜레스테롤 농도 저하 효과에 대하여 보고하고 있는 반면^{2,4,17,18}, 몇몇 연구에서는 저하 효과가 현저하지 않았다는 보고^{17,19}도 있는데, 이는 실험 동물의 종, 크기, 사육 기간 등에 따른 차이로 고찰된다.

본 실험에서 사육 기간에 따른 효과를 보면 4주간 급여 기간 동안에 대두 단백질 섭취에 의한 혈청 총지질 및 콜레스테롤 농도 저하 효과는 보이지 않았으나, 8주간의 급여에서는 대두 단백질 섭취에 따른 이들의 농도 저하 효과가 현저하게 나타났다. Terpstra 등¹⁷이 흰쥐에서 대두 단백질을 5주, 11주, 18주동안 급여하였을 때 혈청 콜레스테롤 농도 변화는 5주에서는 뚜렷한 변화를 나타내지 않았으나, 11주에서는 유의하게 감소하였으며 18주에서는 다시 상승하였다고 보고한 반면에, 김 등¹⁸은 대두 단백질의 혈청 콜레스테롤 저하 효과가 단기간에 나타나며 실험 기간이 지속됨에 따라 완화되었다고 보고하였다. 그러나, 두 실험간에 동물의 크기등이 다르기 때문에 직접 비교는 어렵다. 본 실험 결과는 대체로 Terpstra¹⁷등의 사육 조건과 유사함을 고려할 때 혈청 지질 농도에 대한 대두 단백질의 섭취 효과는 적어도 4주 이상의 장기간의 급여시 얻을 수 있다고 본다.

대두 단백질의 혈청 지질 및 콜레스테롤 농도 저하 효과는 고지혈증 환자²⁰ 또는 동물²¹에서 더욱 뚜렷하게 나타남을 보고하였는데, 본 실험에서 사용한 고지방식의 경우 혈청 총지질과 콜레스테롤

농도가 흰쥐의 정상치²²(총지질 195mg/dl, 콜레스테롤 48mg/dl)보다 2~5배 높게 나타나는 고지혈증을 나타냈다. 특히, 식이중 콜레스테롤을 첨가함으로써 고콜레스테롤혈증이 유도되었다. 이러한 고지혈증 흰쥐에 있어서 장기간의 대두단백질의 급여 효과는 혈청에서 뿐만 아니라 간과 심장 조직의 지질 함량에서도 현저하게 저하하는 것으로 나타났다. Park 등² Nagate 등²¹은 casein과 비교해서 대두단백질의 혈청 콜레스테롤 농도 저하 효과는 콜레스테롤의 흡수 저하와 조직으로의 재분배 그리고 변중 steroid의 배설 때문이라 보고하였으며, 본 실험에서도 대두 단백질 급여시 변배설량 및 변중 총지질, 콜레스테롤 함량이 유의하게 증가됨이 확인되었다.

또한, 많은 연구에서 식이 칼슘 수준이 증가할수록 혈청 콜레스테롤 농도가 감소됨을 보고하였는데^{6,8,10,11}, 본 실험에서 사육 기간에 따른 혈청 총지질 및 콜레스테롤 농도는 실험 기간에 상관없이 단·장기간 급여에서 모두 식이 중 칼슘 함량이 증가할수록 유의하게 저하되었다. 칼슘의 hypolipidemic effect는 포화 지방산이 존재할 때 그 효과가 더욱 확실했으며⁷, Fleishman⁸등도 식이내 칼슘 수준의 증가가 포화 지방산이 대부분인 beef tallow를 급여한 흰쥐의 혈청 콜레스테롤, 인지질 및 중성지방 수준을 감소시킨다고 하였다. 간과 심장 조직의 지질함량에 대해서는 대두단백질을 급여하였을 때의 효과와는 다르게 식이 칼슘 수준 증가에 따라 간조직의 지질 함량은 장기간의 급여시에만 유의하게 낮게 나타났으며, 심장 조직의 지질 함량은 단·장기간 모두 식이 칼슘의 영향을 받지 않음이 관찰되었다. 변중 지질 함량에 있어서 식이 칼슘의 효과는 칼슘 수준이 증가 할수록 변배설량 및 변중 총지질, 콜레스테롤 함량이 유의하게 증가하였다. 이와같이 고칼슘 식이 섭취에 따라 변배설량 및 변중 총지질과 콜레스테롤 배설 증가가 혈청 및 조직의 총지질과 콜레스테롤 농도 저하의 주요 요인이 됨은 이미 보고한 결과^{10,11}와 일치하였다.

본 실험 결과에서 혈청 지질 농도 변화에 관여하는 두가지 식이 인자, 즉 단백질과 칼슘의 상호

작용에 대해서 고찰해 볼 때, 장기간 급여시 혈청 및 간조직의 콜레스테롤 농도 저하에 있어서 상호작용 효과가 인정되었다. 한편 변중 지질 배설 증가에 대한 식이 인자의 관계를 고찰해 볼 때 장기간 급여시 총지방과 콜레스테롤 배설량 모두 대두 단백질과 칼슘 섭취 인자로 인한 상승 효과가 인정되었다. 또 혈청과 조직의 지질 함량 조절에 있어서 변중 지질 배설량이 영향을 미치는 주요 요인의 하나가 될 수 있음도 확인되었다.

지질 및 콜레스테롤 배설량이 증가하였다.

결론적으로 대두 단백질 섭취에 의한 혈청 지질 저하 효과는 주로 간 조직에서의 지질 함량 감소와 변중 지질 배설량의 증가로 인한 것이며, 고칼슘 식이에 의한 혈청 지질 저하 효과는 주로 변중 지질 배설량의 증가로써 설명된다. 또 이 두가지 식이 요인이 지질의 흡수와 배설에 상호작용을 가짐으로서 혈청 콜레스테롤 농도 저하 효과가 현저하였다.

요약 및 결론

본 연구는 성숙한 흰쥐에서 고지방식, 즉 18% beef tallow와 1% cholesterol과 단백질 급원으로 casein과 대두단백질을, Ca 수준으로 0.1%, 0.4%, 1.0%의 세 수준을 각각 함유한 6종의 실험 식이를 4주간 또는 8주간 급여하여 대두단백질과 칼슘 섭취가 흰쥐의 체내 지질 함량에 어떻게 영향을 미치는지를 검토하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 우지를 급원으로 한 고지방 실험 식이를 섭취한 흰쥐는 고지혈증과 고콜레스테롤혈증을 나타냈으며, 이때 대두단백질 섭취군에서는 casein 섭취군에 비해 4주간의 섭취로는 혈청지질 저하 효과가 없었으나, 8주간의 섭취에서는 유의적인 저하 효과를 보였다. 한편, 고칼슘 식이 섭취에 의해서 단·장기간 섭취기간 동안 유의적인 저하 효과를 보였다.

2) 간 조직의 지질 함량은 혈청에서와는 다르게 대두단백질 섭취군이 단·장기간 섭취 기간동안 유의적인 저하 효과를 보였다. 또한 고칼슘 식이에 의해서는 4주간의 섭취로는 간 조직의 지질 함량 저하 효과가 없었으나, 8주간의 섭취에서는 유의적인 저하 효과를 보였다. 심장 조직의 지질 함량은 대두단백질의 8주간 섭취시에만 저하 효과가 있었다.

3) 변중 지질 및 콜레스테롤 배설량은 대두단백질 섭취군이 casein 섭취군에 비해 단·장기간 섭취 기간 동안 모두 유의적으로 증가하였다. 고칼슘 식이에 의해서도 단·장기간 섭취 기간 모두 변중

Literature cited

- 1) Linder MC. Nutrition and Atherosclerosis. In : Linder MC, ed. Nutritional Biochem & Metabolism, pp449-471, Elsevier Science Pub Co Inc NY, 1991
- 2) Park MS, Bhalchandra JK, Geogre UL. Effects of animal and plant proteins on the cholesterol metabolism in immature and mature rats. *J Nutr* 117 : 30-35, 1987
- 3) Carroll KK, Giovannetti PM, Huff MW, Moase O, Roverts DC, Wolfe BM. Hypocholesterolemic effect of substituting soybean protein for animal protein in the diet of healthy young women. *Am J Elin Nutr* 31 : 1312-1321, 1978
- 4) Terpstra AHM, Gerrit T, Clive EW. The hypocholesterolemic effects of dietary soy protein in rats. *J Nutr* 112 : 810-817, 1982
- 5) Sugano M. Nutritional studies on the regulation of cholesterol, metabolism The effects of dietary protein. *J Jan Yoc Nutr Food Yci* 40 : 93-102, 1987
- 6) Diersen-Schade DA, Richard MJ, Norman LJ. Effects of dietary calcium and fat on cholesterol in tissues and feces of young goats. *J Nutr* 114 : 2292-2300, 1984
- 7) Iacono JM. Effect of varying the dietary level of calcium on plasma and tissue lipids of rabbits. *J Nutr* 104 : 1165-1171, 1974
- 8) Fleischman AI, Yacowitz H, Hayton T, Bierenbaum ML. Effects of dietary Ca upon lipid metabolism in nature male rats fed beef tallow. *J Nutr* 88 : 255-259, 1966
- 9) 보건사회부. 국민영양조사 보고서. 1990

- 10) Lee YS and Jung KH. Effects of dietary calcium upon lipid metabolism in mature rats fed high cholesterol diet. *14th Inter Cong Nutr* 14 : 477, 1989
- 11) 이연숙 · 정금희 · 강현숙 · 고정숙. 식이칼슘 수준이 콜레스테롤 첨가 또는 무첨가 고지방식 섭취 흰쥐의 지질대사에 미치는 영향. *한국농촌생활 과학회지* 4 : 125-132, 1993
- 12) Roger QR, Harper AE. Amino acid diets and maximal growth in the rats. *J Nutr* 87 : 267-273, 1965
- 13) Fringe CS, Dunn RM. The colorimetric method for determination of serum total lipids based on the sulfo-phospho-vanillin reaction. *Am J Clin Pathol* 53 : 89-92, 1980
- 14) Zlatkis A, Zak B. Study of a new cholesterol reagent. *Anal Biochem* 29 : 143-146, 1969
- 15) Biggs HG, John M, Erikson MJ, Wells RM. A manual colorimetric assay of triglycerides in serum. *Clin Chem* 21 : 437-441, 1975
- 16) Folch J, Less M, Sloestanley GH. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226 : 497-5002, 1957
- 17) Terpstra AHM, Sanchez-Muniz FJ. Time course of the development of hypercholesterolemia in rabbits fed semipurified diets containing casein or soybean protein. *Atherosclerosis* 39 : 217-222, 1982
- 18) 김경림 · 김화영. 흰쥐에서 대두 단백질의 Hypolipidemic 효과에 관한 연구. *한국영양학회지* 17 : 68-77, 1984
- 19) Nerves LB, Clifford CK, Kohler GO, Fremery DE, Knuckles BE, Cheowtirakul C, Miller MW, Weir WC, Clifford AJ. Effects of dietary proteins from a variety of sources on plasma lipids and lipoproteins of rats. *J Nutr* 110 : 732-742, 1980
- 20) Descovich GC, Gatti A, Mannino G. Multicentre study of soybean protein diet for outpatient hypercholesterolemic patient. *Lancet* 709-712, 1980
- 21) Nagata Y, Tamak K, Sugano M. Further studies on the hypocholesterolemic effect of soybean protein in rats. *Br J Nutr* 45 : 233-239, 1981
- 22) Mitruka BM, Rawnsley HM. Clinical biochemical and hematological reference values in normal experimental animals and normal humans. pp160, Masson Publishing Co, 1981