

불포화 고지방식을 섭취한 흰쥐의 체내지질대사에 대한 대두 단백질과 칼슘의 섭취 효과

이연숙·박주란

서울대학교 농업생명과학대학 농가정학과

Effects of Soy Protein and Calcium on Lipid Metabolism
in Rats Fed Unsaturated Fat Diet

Lee, Yeon Sook·Park, Joo Ran

Department of Home Economics, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

ABSTRACT : This study was performed to observe how soy protein and calcium in rats fed unsaturated fat-enriched diet affect the total lipid and cholesterol contents of blood and tissues male Sprague-Dawley rats weighing approximately 220g were fed four purified diets which contained 18% (w/w) corn oil, 1% (w/w) cholesterol, two sources of protein : casein or isolated soy protein (ISP) and two levels of dietary calcium : 0.1% or 1.0%, first for four weeks (Expt. 1) and second for eight weeks (Expt. 2).

The contents of total lipid, cholesterol and triglyceride in blood, liver, heart and feces were determined. After four weeks feeding, the serum lipid and cholesterol concentration was not significantly different among the groups. After eight weeks feeding, these concentrations were significantly lower in ISP-High calcium group. The serum lipid concentration was influenced by dietary protein sources and calcium levels. These results indicated that the hypolipidemic effects of soy protein and high calcium intake were partly due to decrease in lipid absorption and these effects were not detected at 4 weeks feeding but 8 weeks feeding.

Key words : Hypolipidemic effect, Unsaturated fat diet, Isolated soy protein, Dietary calcium level, Serum lipid concentration

I. 서 론

최근 우리나라는 식생활의 변천과 더불어 동물성 단백질과 지방의 섭취가 크게 증가하여 (보건사회부, 1994) 순환계 질환 발병률이 급격히 증가하고 있다(김정숙, 1995). 일반적으로 순환계 질환 발생의 원인에 있어서 혈중 지질 또는 콜레스테롤의 농도 증가가 위험인자로 지적되어 왔으며, 이

들에 영향을 미치는 식이 인자로는 단백질, 지방, 탄수화물, 무기질, 섬유소 등이 논의되어 왔다 (Committee on Diet&Health, 1989).

식이 단백질에 대한 연구로는 동물성 단백질의 과다섭취가 hypercholesterolemic effects를 나타내거나 또는 고지혈증 환자들에 있어서 혈청 지질 수준을 더욱 상승시킨다는 연구성적 (Carrol 등, 1978)이 보고되어 있다. 또 건강한 사람을 대상으로 버터를 지방급원으로 하였을 때 대두 단백질이

* 본 연구는 1990~1993년 한국과학재단 목적기초 연구과제의 일부임.

혈청 콜레스테롤 수준을 감소시켰다는 보고(Van Raaij 등, 1981)와 흰쥐를 대상으로 우지(beef tallow)를 지방 급원으로 했을 때 대두 단백질의 hypo-lipidemic effect가 나타났다는 보고(이연숙과 고정숙, 1994)가 있다. 이러한 대두 단백질의 효과는 주로 버터나 우지와 같은 포화 지방식에서 뚜렷한 것으로 보고되었고, 고콜레스테롤혈증에서는 대두 단백질의 혈청콜레스테롤 감소효과가 나타났으나 정상 혈청에서는 대두 단백질의 섭취효과가 나타나지 않았다고 보고하였다(Bodwell 등, 1980). 따라서 포화 지방섭취에 비해서 혈청 지질 수준을 쉽게 상승시키지 않는 것으로 알려진(Faideley 등, 1990) 불포화 지방섭취에서도 대두 단백질의 섭취효과가 나타날 것인가 하는 의문이 제기된다.

한편 무기질과 지질 대사와의 관계를 규명하고자 하는 연구, 특히 식이 칼슘이 지질 대사에 미치는 영향에 대한 연구가 많이 이루어졌다. 우지를 섭취한 토끼에서 고수준의 식이 칼슘이 혈청 콜레스테롤 및 지질 수준을 감소시킨다는 보고(Dougherty 등, 1979)가 있으며, 고지방식을 섭취한 염소에서 식이 칼슘이 조직의 콜레스테롤 수준을 떨어뜨리고 분중 콜레스테롤 배설량을 증가시켰다고 보고하였다(Dierson-schade 등, 1984). 또 칼슘의 섭취 효과가 고콜레스테롤혈증 동물에서 현저함도 보고되었다(이 등, 1993). 반면 고수준의 칼슘 투여로 혈청 콜레스테롤 수준이 증가되거나 동맥 내막의 칼슘 침착으로 인한 석회화를 촉진시켜 동맥경화를 유발한다는 상반된 보고도 있으나(Gillman 등, 1960) 대체로 칼슘을 혈관에 직접 투여하지 않고 식이로 섭취했을 때는 혈청 콜레스테롤 수준을 낮추는 효과가 있는 것으로 보고되었다.

이상의 연구 결과들을 종합해 볼 때 대두 단백질과 칼슘의 섭취는 체내 지질대사에 영향을 주어 혈청지질 수준을 떨어뜨리는 것으로 보여지나 이들 연구 결과들은 주로 버터나 우지와 같은 포화지방을 급원으로 사용하였으므로 본 실험에서는 옥수수 기름을 사용하여 대두 단백질과 칼슘의 식이 섭취가 흰쥐의 혈청지질 및 콜레스테롤 농도에 어떤 영향을 미치는지를 단기간 또는 장기간에 걸쳐 검토하였다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 실험 동물 및 식이

실험1에서는 동물을 4군으로 나누어 고지방과 콜레스테롤을 함유한 식이에 두종류의 단백질(케이신 및 대두 단백질)과 두 수준의 칼슘(고칼슘-1.0%, 저칼슘-0.1%)를 함유한 4종류의 실험 식이(케이신-저칼슘, 케이신-고칼슘, 대두 단백질-저칼슘, 대두 단백질-고칼슘)를 4주간 급여하였고, 실험2에서는 실험1에서와 같이 4군의 식이군으로 나누어 8주간 실시하였다. 실험에 사용된 동물을 체중이 약 220g인 8주령된 숫컷 흰쥐(Sprague-Dawley rats, male : 서울대학교 실험동물 사육장에서 구입)로 실험 동물 사육실(온도

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

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

1) Isolated soy protein

2) Vitamin mixture : AIN-76

3) Mineral mixture(g/kg) Ca & P free : NaCl, 250.6 ; MgSO₄·7H₂O, 99.8 ; Fe-citrate, 6.23 ; CuSO₄·5H₂O, 1.56 ; MnSO₄·H₂O, 1.21 ; ZnCl₂, 0.2 ; KI, 0.05 ; (NH₄)₂MoO₄·4H₂O, 0.025 ; Sucrose, 640.37

4) Polyethylene glycol # 4,000

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

불포화 고지방식을 섭취한 화경의 체내지질대사에 대한 대두 단백질과 칼슘의 섭취 효과

23±3℃, 상대습도 60±10%, 조명 6:00 A.M~6:00 P.M)에서 stainless-steel wire cage에 한마리씩 분리 사육하였다. 실험 군의 배치는 체중을 기준으로 완전 임의 배치하였으며 자유 섭취 방법(ad libitum)으로 급여하였다. 물은 탈이온수로 매일 공급하여 자유롭게 섭취하도록 하였다. 체중과 섭취량은 2일마다 한번씩 일정한 시간에 측정하였다. 대사 cage와 사육에 사용된 모든 기구는 1% 크레졸수로 소독한 후 물로 세척하여 사용하였다. 본 실험에 사용된 식이의 조성은 Table 1과 같으며 식이의 일반 조성은 정제된 원료를 사용하였으며, 단백질 급원으로 20%의 케이신(매일유업(주)), 대두 단백질(isolated soy protein : 대두 단백질, PP 500E : Ralson Purina International Co.)을 사용하였고, 지방 급원으로 18% 옥수수 기름(동원식품(주))을 사용하였고, 옥수수전분(미원식품(주)), 비타민 혼합물(Haper pattern : oriental 효모공업(주)). 그리고 미네랄 혼합물(Harper pattern (1965)을 기준으로 칼슘과 인을 제외하여 조제)을 사용하였다. 칼슘은 저칼슘 0.1%, 고칼슘 1.0% 두 수준으로 하여 소뼈 회분(100% bone ash, 풀무원식품(주))을 급원으로 사용하였고 인의 영향을 배제하기 위해 식이중 인함량은 요구량인 0.43%로 조정하였다.

2. 시료 수집 및 분석방법

실험동물을 시료채취 전 하룻밤 절식시킨 후, 1시간 30분동안 실험식이를 급여한 후 1시간 후에 ethyl ether로 마취시켜 경동맥에서 혈액을 채취하였다. 혈액을 채취한 후 간과 심장을 적출하여 장기에 부착되어 있는 지방을 깨끗이 제거한 후, 냉장생리식염수(0.9% NaCl 용액)로 세척하여 혈액을 제거한 다음 여과자로 물기를 닦고 생조직의 무게를 측정하였다. 또 실험 종료전 4일간의 분을 수집하였다. 채취한 혈액은 냉장고(4℃)에 하룻밤동안 방치후 3,000rpm에서 20분간 원심분리(Centrifuge, Sorvall, GLC -2B)하였으며 이로부터 혈청을 얻었다. 장기와 분의 시료는 냉동건조(Freeze-Dryer 18. Labconco, USA)하여 분쇄한 후 건조 무게를 측정하였다. 모든 시료는 분석에 사용되기까지 냉동보관(-40℃ 이하)하였다.

혈액의 총지질 수준은 Fringe와 Dunn(1980)의 방법으로 sulfo-phospho vanillin reaction을 기초로 한 colorimetric method를 이용하여 측정하였고, 혈청 콜레스테롤 수준은 Zlatkis와 Zak(1969)의 방법으로, 혈청 중성 지방 수준은 Biggs 등(1975)의 방법으로 측정하였다. 조직과 분 중의 콜레스테롤과 중성 지방 함량은 Folch 등(1957)의 방법을 이용하여 조직 및 분으로부터 총 지방을 추출한 후 혈청과 동일한 방법으로 분석하였다.

3. 통계 분석

실험식이의 처리에 의한 각 분석치는 평균과 표준오차로 제시하였다. 각 처리별, 분석 항목별 유의성 검정은 t-test와 one way(Duncan 검정)으로 검토, 분석하였으며 단백질의 종류(케이신, 대두 단백질)와 칼슘수준(0.1%, 1.0%) 별 요인분석(factorial analysis)으로 검정하였다.

III. 실험결과

1. 혈청 지질 농도

Table 2에 제시한 바와 같이 실험1(4주간)에서는 혈중 총지질, 콜레스테롤 농도는 실험 군간에 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 중성 지질은 단백질 급원에 따른 유의적인 차이를 보여 대두 단백질군이 케이신군보다 유의적으로 낮았다. 실험2(8주간)에서는 혈청 총지질 농도는 대두 단백질-고칼슘군이 가장 낮았으며, 고칼슘군이 저칼슘에 비해서 농도가 낮게 나타났으며, 단백질 종류에 따른 차이는 나타나지 않았다. 혈청 콜레스테롤 농도는 대두 단백질-고칼슘군이 가장 낮았고, 케이신-저칼슘군이 가장 높게 나타났으며, 대두 단백질 섭취 또는 고칼슘 섭취에 따라 유의적으로 낮은 값을 보였다. 혈청 중성 지질 농도는 대두 단백질-고칼슘군이 가장 낮았고, 고칼슘 섭취에 따라 유의적으로 낮은 값을 보였다.

2. 간조직 중의 지질 함량

식이 단백질과 칼슘 수준에 다른 간조직의 건조 무게당 총지질 함량, 콜레스테롤 함량 및 중성 지방 함량은 Table 3에 나타난 바와 같다.

Table 2. The concentration of lipids in aortic serum of the rats fed experimental diets.

| | Total Lipids (mg/100ml) | Cholesterol (mg/100ml) | Triglyceride (mg/100ml) |
|-----------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Expt1 (4 Weeks) | | | |
| Casein-Low Ca | 612.2±23.2 ^{2)NS} | 117.2±5.3 ^{NS2)} | 47.23±5.81 ^{b3)} |
| Casein-High Ca | 600.0±11.4 | 118.6±3.9 | 41.22±8.47 ^{ab} |
| ISP-Low Ca | 602.9±26.7 | 116.5±5.3 | 30.91±2.37 ^{ab} |
| ISP-High Ca | 570.4±23.2 | 116.1±2.1 | 28.98±2.94 ^a |
| Protein Sources | | | |
| Casein | 606.1±13.1 ^{NS} | 117.9±3.4 ^{NS} | 44.49±5.32 ^b |
| Soy | 588.1±18.6 | 116.3±3.1 | 29.86±2.18 ^a |
| Ca Level | | | |
| Low | 607.1±18.0 ^{NS} | 116.9±3.9 ^{NS} | 39.81±4.41 ^{NS} |
| high | 585.2±13.7 | 117.4±2.5 | 34.54±4.78 |
| Protein*Ca | NS | NS | NS |
| Expt2 (8 Weeks) | | | |
| Casein-Low Ca | 723.5±19.6 ^b | 140.4±4.2 ^c | 53.13±3.74 ^{bc} |
| Casein-High Ca | 662.3±28.3 ^{ab} | 122.7±1.4 ^b | 46.69±1.61 ^{ab} |
| ISP-Low Ca | 712.4±20.8 ^b | 126.1±5.2 ^b | 54.74±1.86 ^c |
| ISP-High Ca | 628.9±20.8 ^a | 100.7±2.4 ^a | 44.29±1.27 ^a |
| Protein Sources | | | |
| Casein | 692.9±19.2 ^{NS} | 130.8±3.4 ^b | 50.27±2.37 ^{NS} |
| Soy | 670.6±19.6 | 114.5±4.9 ^a | 48.93±2.10 |
| Ca Level | | | |
| Low | 717.9±13.6 ^b | 132.6±3.9 ^b | 53.85±2.13 ^b |
| high | 645.6±17.5 ^a | 112.7±3.7 ^a | 45.36±1.03 ^a |
| Protein*Ca | NS | NS | NS |

1) Values are Mean±SE of 6 rats per group

2) NS : Not significantly different

3) Superscripts with different alphabets in columns are significantly different ($P < 0.05$).

Table 3. The concentration of liver lipids in the rats fed experimental diets.

| | Dry wt. (g) | Total lipids (mg/dry wt. g) | Cholesterol (mg/dry wt. g) | Triglyceride (mg/dry wt. g) |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Expt1 (4 Weeks) | | | | |
| Casein-Low Ca | 5.33±0.20 ^{1)bc} | 422.8±21.1 ^{NS2)} | 35.69±1.79 ^{b3)} | 230.5±24.4 ^{NS} |
| Casein-High Ca | 5.72±0.25 ^c | 405.3±9.3 | 29.39±1.73 ^a | 208.2±13.1 |
| ISP-Low Ca | 4.44±0.21 ^a | 407.4±14.0 | 30.57±1.56 ^{ab} | 225.5±10.2 |
| ISP-High Ca | 4.76±0.24 ^{ab} | 403.5±16.1 | 27.98±2.09 ^a | 209.2±7.2 |
| Protein Sources | | | | |
| Casein | 5.48±0.17 ^b | 409.9±14.1 ^{NS} | 32.19±1.60 ^{NS} | 219.3±14.2 ^{NS} |
| Soy | 4.60±0.17 ^a | 405.5±11.1 | 29.27±1.21 | 217.3±7.0 |
| Ca Level | | | | |
| Low | 4.88±0.20 ^{NS} | 415.1±13.4 ^{NS} | 32.62±1.40 ^{NS} | 228.0±13.2 ^{NS} |
| high | 5.14±0.24 | 404.4±9.7 | 28.62±1.23 | 208.7±7.8 |
| Protein*Ca | NS | NS | NS | NS |
| Expt2 (8 Weeks) | | | | |
| Casein-Low Ca | 6.21±0.41 ^{ab} | 494.6±14.1 ^c | 46.99±1.95 ^b | 240.8±13.2 ^b |
| Casein-High Ca | 6.58±0.41 ^b | 471.0±12.0 ^{bc} | 38.99±1.78 ^a | 217.7±11.3 ^{ab} |
| ISP-Low Ca | 5.45±0.32 ^a | 410.1±23.4 ^{ab} | 36.10±2.92 ^a | 207.2±13.6 ^{ab} |
| ISP-High Ca | 5.48±0.18 ^a | 374.0±34.6 ^a | 33.11±2.28 ^a | 176.8±17.8 ^a |
| Protein Sources | | | | |
| Casein | 6.41±0.28 ^a | 482.8±9.5 ^a | 42.99±1.74 ^a | 229.3±9.0 ^a |
| Soy | 5.47±0.16 ^b | 392.0±20.6 ^b | 34.90±1.94 ^b | 192.0±11.6 ^b |
| Ca Level | | | | |
| Low | 5.87±0.28 ^{NS} | 452.3±18.2 ^{NS} | 41.55±2.35 ^{NS} | 224.0±10.3 ^{NS} |
| high | 6.08±0.28 | 422.5±22.8 | 36.64±1.64 | 197.3±11.8 |
| Protein*Ca | NS | NS | NS | NS |

1) Values are Mean±SE of 6 rats per group

2) NS : Not significantly different

3) Superscripts with different alphabets in columns are significantly different ($P < 0.05$).

불포화 고지방식을 섭취한 환경의 체내지질대사에 대한 대두 단백질과 칼슘의 섭취 효과

실험1(4주간)에서 간의 총지질은 군간에 유의차가 없었으며 간의 콜레스테롤 함량은 케이신 - 고칼슘군과 대두 단백질 - 고칼슘군이 낮았고 케이신 - 저칼슘군이 가장 높게 나타났으나, 단백질 종류와 칼슘 수준에 따른 차이는 보이지 않았다. 간의 중성지질은 실험군간에 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

실험2(8주간)에서는 간의 총지질은 대두 단백질 - 고칼슘군이 낮고, 케이신 - 저칼슘 군이 높게 나타났으며, 단백질 종류에 따라 케이신군이 대두 단백질군보다 높게 나타났으나, 칼슘 수준에 따른 유의차는 없었다. 간의 콜레스테롤 함량 및 중성지질 함량은 케이신 - 저칼슘군이 다른 군에 비해서 높게 나타났으며 단백질 종류에 따라 대두 단백질군이 케이신군보다 낮게 나타났으나, 칼슘수준에 따

른 유의차는 없었다. 간의 중성 지질 함량은 대두 단백질 - 고칼슘군이 다른 군에 비해서 상대적으로 낮았고 케이신 - 저칼슘 군이 높게 나타났다.

3. 심장 조직 종의 지질 함량

식이 단백질과 칼슘 수준에 따른 심장조직의 무게와 총지질 함량, 콜레스테롤 함량 및 중성지방 함량은 Table 4에 나타난 바와 같다.

실험1(4주간)에서 심장조직의 총지질, 콜레스테롤, 중성지질 함량은 군간에 유의적인 차이를 보이지 않았다.

실험2(8주간)에서는 실험군간의 총지질, 콜레스테롤, 중성지질 함량에 있어서 유의차가 없었으나 칼슘 수준에 따른 효과가 콜레스테롤 함량에서 나타났는데 고칼슘군이 저칼슘군보다 유의하게

Table 4. The concentration of heart lipids in the rats fed experimental diets.

| | Dry wt. (g) | Total lipids (mg/dry wt. g) | Cholesterol (mg/dry wt. g) | Triglyceride (mg/dry wt. g) |
|------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Expt1 (4 Weeks) | | | | |
| Casein-Low Ca | 0.25±0.01 ^{1)NS} | 22.93±0.45 ^{NS2)} | 2.31±0.08 ^{NS} | 8.48±0.41 ^{NS} |
| Casein-High Ca | 0.27±0.01 | 22.82±1.35 | 2.29±0.12 | 8.52±0.37 |
| ISP-Low Ca | 0.24±0.01 | 22.43±0.78 | 2.34±0.08 | 8.24±0.29 |
| ISP-High Ca | 0.24±0.01 | 23.80±1.00 | 2.35±0.10 | 7.92±0.67 |
| Protein Sources | | | | |
| Casein | 0.26±0.01 ^{NS} | 22.88±0.15 ^{NS} | 2.30±0.05 ^{NS} | 8.50±0.19 ^{NS} |
| Soy | 0.24±0.01 | 22.98±0.47 | 2.35±0.05 | 8.10±0.24 |
| Ca Level | | | | |
| Low | 0.24±0.01 ^{NS} | 22.68±0.33 ^{NS} | 2.33±0.44 ^{NS} | 8.36±0.18 ^{NS} |
| high | 0.25±0.01 | 23.21±0.66 | 2.31±0.06 | 8.25±0.27 |
| Protein*Ca | NS | NS | NS | NS |
| Expt2 (8 Weeks) | | | | |
| Casein-High Ca | 0.26±0.01 ^{NS} | 28.09±1.48 ^{NS} | 4.33±0.47 ^{b3)} | 12.08±1.22 ^{NS} |
| ISP-Low Ca | 0.25±0.01 | 24.51±1.38 | 3.61±0.13 ^{ab} | 10.49±0.67 |
| ISP-High Ca | 0.24±0.01 | 26.84±2.49 | 4.06±0.24 ^{ab} | 11.87±1.70 |
| Protein Sources | 0.25±0.01 | 24.15±0.98 | 3.40±0.13 ^a | 11.24±1.25 |
| Casein | 0.26±0.01 ^{NS} | 26.30±1.11 ^{NS} | 3.97±0.26 ^{NS} | 11.28±0.70 ^{NS} |
| Soy | 0.25±0.01 | 25.49±1.34 | 3.70±0.16 | 11.53±0.98 |
| Ca Level | | | | |
| Low | 0.25±0.01 ^{NS} | 27.46±1.39 ^{NS} | 4.21±0.27 ^b | 11.98±0.96 ^{NS} |
| high | 0.25±0.01 | 24.33±0.81 | 3.51±0.09 ^a | 10.87±0.68 |
| Protein*Ca | NS | NS | NS | NS |

1) Values are Mean±SE of 6 rats per group

2) NS : Not significantly different

3) Superscripts with different alphabets in columns are significantly different ($P < 0.05$).

낮았다.

4. 분 중 지질 함량

식이 단백질과 칼슘 수준에 따른 1일 분 배설량, 총지질, 콜레스테롤 함량 및 중성 지질 함량은 Table 5에 나타난 바와 같다.

실험1(4주간)에서 일일 분 배설량은 케이신-저 칼슘군이 가장 낮고 대두 단백질-고칼슘군이 가

장 높게 나타났으며, 분중 총지질함량, 콜레스테롤 함량, 중성지방 함량은 단백질 종류와 칼슘 수준 모두에 영향을 받아 대두 단백질군이 케이신군 보다 유의적으로 높게 나타났으며 고칼슘군이 저 칼슘군보다 높게 나타났다.

실험2(8주간)에서 1일 분 배설량 및 분중 지질 함량이 모두 칼슘수준에 따라 고칼슘군이 높게 나타났으며, 단백질 종류에 따른 차이는 없었다.

Table 5. The content of fecal lipids of the rats fed experimental diets.

| | Dry Feces (g/day) | Total lipids (mg/dry) | Cholesterol (mg/dry) | Triglyceride (mg/dry) |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Expt1 (4 Weeks) | | | | |
| Casein-Low Ca | 1.44±0.13 ^{1)a} | 179.6±15.9 ^a | 30.93±2.57 ^a | 2.53±0.21 ^a |
| Casein-High Ca | 2.66±0.13 ^{b2)} | 347.6±7.6 ^b | 57.47±5.98 ^{bc} | 5.33±0.59 ^b |
| ISP-Low Ca | 2.34±0.19 ^{ab} | 308.6±44.3 ^b | 47.64±7.37 ^{ab} | 4.40±0.79 ^{ab} |
| ISP-High Ca | 3.44±0.26 ^c | 383.6±28.8 ^b | 73.12±5.13 ^c | 8.93±0.76 ^c |
| Protein Sources | | | | |
| Casein | 1.87±0.23 ^a | 263.6±26.9 ^a | 44.19±5.25 ^a | 3.93±0.53 ^a |
| Soy | 2.83±0.30 ^b | 349.6±29.3 ^b | 61.54±6.09 ^b | 6.87±0.91 ^b |
| Ca Level | | | | |
| Low | 1.67±0.21 ^a | 238.2±30.6 ^a | 38.53±4.60 ^a | 3.38±0.49 ^a |
| high | 2.93±0.24 ^b | 365.6±16.5 ^b | 65.29±4.75 ^b | 7.13±0.74 ^b |
| Protein*Ca | NS | NS | NS | NS |
| Expt2 (8 Weeks) | | | | |
| Casein-High Ca | 0.97±0.09 ^a | 358.4±16.7 ^a | 27.07±2.92 ^a | 3.58±0.44 ^{NS3)} |
| ISP-Low Ca | 2.19±0.21 ^b | 479.4±7.5 ^b | 54.33±11.84 ^{bc} | 6.18±0.99 |
| ISP-High Ca | 1.39±0.21 ^a | 365.2±18.8 ^a | 35.60±5.92 ^{ab} | 3.75±0.93 |
| Protein Sources | | | | |
| Casein | 1.58±0.22 ^{NS} | 424.4±20.7 ^{NS} | 39.50±6.80 ^{NS} | 4.76±0.63 ^{NS} |
| Soy | 1.97±0.24 | 423.9±24.2 | 48.42±7.64 | 4.35±0.81 |
| Ca Level | | | | |
| Low | 1.18±0.13 ^a | 362.1±12.2 ^a | 31.33±3.40 ^a | 3.66±0.49 ^a |
| high | 2.41±0.15 ^b | 486.1±10.0 ^b | 59.07±8.32 ^b | 5.63±0.84 ^b |
| Protein*Ca | NS | NS | NS | NS |

1) Values are Mean±SE of 6 rats per group

2) Superscripts with different alphabets in columns are significantly different at the 0.05 level

3) NS : Not significantly different.

IV. 고 칠

자금까지의 실험 연구에서 식이 단백질과 혈청 지질 농도와의 관계에 대한 보고가 많았는데, 동물성 단백질의 과다 섭취가 hyper-cholesterolemic ef-

fect를 나타내거나 또는 고지혈증인 환자들에 있어서 혈청 지질 수준을 더욱 상승시킨다는 보고 (Carroll 등, 1978)와 식물성 단백질 특히 대두 단백질이 혈청지질 수준을 떨어뜨린다는 보고 (Yaday 등, 1977) 등을 들 수 있다. 이에 대해 단백질의 급 원이 동물성이나 식물성이냐에 따른 효과로 설명

불포화 고지방식을 섭취한 흰쥐의 체내지질대사에 대한 대두 단백질과 칼슘의 섭취 효과

하는 한편, 동물성, 식물성의 차이보다는 단백질의 종류에 따른 단백질 자체의 특성으로도 설명하고 있다(Yamamoto 등, 1991; Sugano 등, 1990). 대두 단백질의 섭취에 따른 혈청 지질 또는 콜레스테롤 농도 저하 효과는 많은 연구에서 대체로 일치하였으며 본 실험과 유사한 실험 설계이나 옥수수 기름 대신 우지(beef tallow)를 섭취한 흰쥐에서도 동일한 효과가 얻어졌다(이연숙과 고정숙, 1994). 본 실험에서는 지방급원으로 옥수수 기름을 사용하였는데 우지를 지방급원으로 사용한 선행실험(이연숙과 고정숙, 1994)에서 보다 대두 단백질 섭취에 따른 혈청 지질 농도 저하 효과가 더 낮게 평가되는 것으로 고찰되었다. 즉 대두단백질 섭취 효과는 케이신을 대조군으로 8주간 급여에서 비교하면 우지를 섭취한 흰쥐에서는 혈청 총지질, 콜레스테롤, 중성 지질이 각각 18%, 30%, 34%로 감소되었다. 그런데 옥수수 기름을 섭취한 본 실험에서 혈청 콜레스테롤 농도에서만 12% 정도 감소되었다. 이것은 대두 단백질의 hypolipidemic effect가 불포화 지방보다는 포화 지방을 섭취한 동물에서 효과가 더 크다는 보고(Dougherty 등, 1982)와도 일치하였다. 간의 지질 대사는 대두 단백질 급여시 소장으로부터의 콜레스테롤과 담즙산의 흡수가 저하되며, 간으로의 콜레스테롤 유입이 저하됨으로서 간에서의 콜레스테롤 함량은 대두 단백질 급여시 케이신 단백질을 급여했을 때보다 유의적으로 낮은 것으로 생각된다. 이것은 대두 단백질 섭취에 따라 분중 지질 배설량의 증가(Table 5)에 의해서 지지되지만, 하나의 요인이 될 뿐 간 지질 대사 변동을 충분히 설명할 수는 없었다.

한편 칼슘과 혈청 지질 농도와의 관계는 동맥경화증 또는 고혈압환자들과 칼슘 섭취와의 상관관계가 연구되어(Mccarron, 1984) 왔는데 칼슘의 섭취 효과는 주로 혈청 지질 수준이 높은 상태에서 그 효과가 큰 것으로 보고되었다(이 등, 1993). 혈청 지질 수준은 지방 급원이 포화지방이나 불포화지방이냐에 따라 크게 영향을 받게 되는데 식이칼슘의 hypolipidemic effect는 주로 포화지방식이에서 나타나는 것으로 보고되었는데, 선행 연구(이연숙과 고정숙, 1994)에서도 우지를 급원으로 하였을 때 칼슘의 섭취효과가 확인되었다. 본 실험과

선행 연구 성적을 비교해 보면 우지를 급원으로 한 경우, 고칼슘군이 저칼슘군에 비해서 혈청 총지질, 콜레스테롤, 중성 지질이 각각 24%, 62%, 42%로 감소하였는데 옥수수 기름을 지방급원으로 한 본 실험에서는 10%, 15%, 16%로 감소하였다. 또한 분중으로 배설된 총지질, 콜레스테롤의 양은 우지 섭취시 각각 184%, 201%로 증가하였는데 옥수수 기름 섭취시는 134%, 189%로 증가하였다. 이와 같이 고수준의 칼슘섭취에 따른 혈청 지질 농도 저하 효과와 분중 지질 배설 증가 효과는 불포화 지방의 섭취시 포화지방 섭취에 비해 작게 평가되었다. 또 칼슘섭취에 의한 혈중 지질 농도 저하 효과를 소장내에서 칼슘과 지방의 불용성 soap를 형성함으로서 지방의 흡수가 저해되고 배설량이 증가되는 것으로 설명될 수 있다. 그러나 실제 소장내에서의 가용성 또는 불용성 지질의 존재와 함량 및 지질의 물리적 상태의 분석이 이루어질때 이러한 작용 기전을 충분히 설명할 수 있을 것으로 생각된다. 이상과 같이 혈청지질 농도 저하(hypolipidemic & hypcholesterolemic effect)에 대한 칼슘의 섭취 효과가 단순히 포화지방과 불포화지방의 차이인지 지방 종류 즉, 지방 자체의 특성에 따라 대두 단백질과 칼슘이 섭취 효과가 달리 나타난 것인가에 대해서는 더 많은 연구가 필요한 것으로 사료된다(Lee&Park, 1993).

V. 요약 및 결론

본 연구는 성숙한 흰쥐에서 고지방식 18% 옥수수 기름과 1% 콜레스테롤을 지방급원으로 하여 두 종류의 단백질(케이신, 대두 단백질)과 두 수준의 칼슘(식이중 0.1%와 1.0)을 함유한 4종의 실험식이를 4주간 또는 8주간 급여한 후 혈액, 조직의 지질함량, 분 중의 지질 배설량을 측정하여 대두 단백질과 칼슘 섭취가 흰쥐의 체내 지질 대사에 어떤 영향을 미치는지를 검토하였다.

1. 동맥 혈청 총지질 농도는 4주간 급여에서는 각 실험군 간에 유의한 차이가 없었으나, 8주간 급여에서는 대두 단백질 - 고칼슘군에서 혈청 총지질 농도가 가장 낮았고 칼슘 수준이 증가함에 따라 총지질 농도가 감소하였다. 혈청 콜레스테롤 농도

는 4주간 급여에서는 각 군간에 유의차가 없었으나 8주간 급여에서는 대두 단백질 - 고칼슘군이 가장 낮았고 단백질 종류에 따라서는 대두 단백질군이 케이신에 비해 혈청 콜레스테롤 수준이 낮았으며, 칼슘수준에 따라서는 고칼슘군이 저칼슘군에 비해 낮게 나타났다.

2. 간조직의 총지질 함량은 4주간 급여에서는 각 실험군 간에 유의한 차이가 없었으나 8주간 급여에서는 대두 단백질 - 고칼슘군에서 감소하였다. 단백질 종류에 따라서 대두 단백질군이 케이신군보다 간조직의 총지질 함량이 낮게 나타났다. 간의 콜레스테롤 함량은 4주간 급여에서 단백질 종류나 칼슘 수준에 따른 유의차는 보이지 않았으며 8주간 급여에서는 케이신 - 저칼슘군이 다른 군에 비해 높게 나타났다. 콜레스테롤 함량이 케이신군에 비해 대두 단백질군에서 낮게 나타났다. 심장조직의 지질함량은 4주간과 8주간 모두 각 실험군 간에 유의차를 보이지 않았다.

3. 분 중 총지질 함량은 4주간급여에서 대두 단백질 - 고칼슘군이 다른 실험군에 비해서 높았다. 대두 단백질군이 케이신군보다 분 중 총지질 함량이 높았고 고칼슘군이 저칼슘군에 비해서 높게 나타났다. 8주간 급여에서는 분 중 총지질 함량은 대두 단백질 - 고칼슘군과 케이신 - 고칼슘군이 높게 나타나 고칼슘군에서 분 중 지질함량이 증가하였다. 분 중 콜레스테롤 함량은 4주간에서 대두 단백질군이 케이신군보다 높았고, 고칼슘군이 저칼슘군보다 높게 나타났다. 8주간에서는 칼슘 수준에 따른 효과만 나타나 고칼슘군이 저칼슘군보다 높게 나타났다.

이상의 결과는 대두 단백질과 칼슘이 불포화지방을 과다섭취한 흰쥐에서도 혈청지질 수준을 저하시키고, 조직의 지질 함량을 감소시키는데 단기간 급여로는 조직의 지질 수준의 감소와 분의 지질 함량 증가는 있었으나 혈액에까지는 영향을 미치지 못했으나, 장기간 급여로는 조직의 지질 수준 감소와 분 중 지질 함량 증가가 혈액에까지 영향을 미쳐 혈청지질 수준을 감소시키는 효과를 나타낸 것으로 보아 대두 단백질 또는 칼슘의 혈청지질 농도 저하 효과가 적어도 4주간 이상은 섭취하여야 함이 인정되었다.

VI. 참고문헌

- Bodwell CE, Schuster Em, Steele PS, Judd JT & Smith JC. 1980. Effects of dietary soy protein on plasma lipid profiles of adult men. *Fed. Proc.* 39 : 113.
- Biggs HG, Erikson MJ & Wells RM. 1975. A Manual colorimetric assay of triglycerides in serum. *Clin. Chem.* 21 : 437~441.
- Carroll KK, Giovannetti PM, Huff MW, Moase OD, Roberts CK & Wolfe BM. 1978. Hypocholesterolemic effect of substituting soybean protein for animal protein in the diet of healthy young women. *Am. J. Clin. Nutr.* 31 : 1312~1321.
- Diersen-Schade DA, Richard MJ & Norman LJ, 1984. Effects of dietary calcium and fat on cholesterol in tissues and feces of young goats. *J. Nutr.* 114 : 2292~2300.
- Dougherty RM & Iacomo JM. 1979. Effects of dietary calcium on blood and tissue lipids, tissue phospholipids, calcium and magnesium levels in rabbits fed diets containing beef tallow. *J. Nutr.* 109 : 1934~1945.
- Dougherty KA, Beitz DC, Richard MJ, Sandry PB & Jacobson NL. 1982. Effect of dietary cholesterol and tallow on lipid composition of plasma lipoproteins of goats. *Nutr. Rep. Int.* 25(6) : 879~886.
- Faidley TD, Luhman CM, Galloway ST, Foley MK & Beitz DC. 1990. Effects of dietary fat source on lipoprotein composition and plasma lipid concentrations in pigs. *J. Nutr.* 120 : 1126~1133.
- Folch J, Less M & Sloane-Stanley GH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Bio. Chem.* 226 : 497~509.
- Fringe CS & Dunn RM. 1980. The colorimetric method for determination of serum total lipids based on the sulfo-phosphovanillin reaction.

불포화 고지방식을 섭취한 흰쥐의 체내지질대사에 대한 대두 단백질과 칼슘의 섭취 효과

- Am. J. Clin. Patho. 53 : 89~92.
- Gillman J, Grant RA& Hathorn M. 1960. Histochemical and chemical studies of calciferol induced vascular injuries. Br. J. Exp. Pathol. 19 : 1
- Committee on Diet&Health NRC 1989. Atherosclerotic cardiovascular diseases. In Diet&Health. pp. 529~548. Natl. Acad. Press, Washinton D.C..
- Lee YS&Park JR. 1993. Effects of dietary calcium on serum, tissue and fecal lipids in rats fed fat-enriched diets containing different kinds of fat. 15th International congress of nutrition, Adelaide. 1 : 433
- McCarron DA. 1984. Dietary calcium as an antihypertensive agent. Nutr, Rev, 42 : 223~225.
- Sjäblom L, Eklund A, Humble L, Menschiklundin, A&Ästlund-lindqvist AM. 1991. Plasma very low density lipoprotein from male rats fed casein or soybean protein diets : A comparison of fatty acid composition and influence on prostanoid production. J. Nutr. 121 : 1705~1713.
- Sugano M, Goto S, Amada Y&Yoshida K. 1990. Cholesterol-lowering activity of various undigested fraction of soybean protein in rats. J. Nutr. 120 : 977~985.
- Van Raaij JM, Katan MB, Hautvast JG& Hermus RJ. 1981. Effects of casein versus soy protein diets on serum cholesterol and lipoproteins in young healthy volunteers. Am. J. Clin. Nutr. 34 : 1261~1271.
- Yaday NR&Lume IE. 1977. Reduction of serum cholesterol in rats fed vegetable protein or an equivalent amino acid mixture. Nutr. Rept. Intl. 16 : 385.
- Yamato T&Inoue G. 1991. Effect of soybean protein on plasma cholesterol concentration in humans. J. Jap. Soc. Nutr. Food. Sci. 44 : 155~162.
- Zlatkis A and Zak B. 1968. Study of a new cholesterol reagent. Anal. Biochem. 29 : 143~148.
- 김정숙, 1995. 한국인 5대 사망원인 질환의 질병 통계. 한국의학협회. 2 : 146~156.
- 보건사회부. 1994. '92 국민영양조사보고서.
- 이연숙, 고정숙. 1994. 고지방식을 섭취한 흰쥐의 체내 지질함량에 대한 대두 단백질과 칼슘의 섭취효과. 한국영양학회지 27 : 3~11.
- 이연숙, 고정숙, 정금희, 강현숙, 1993. 식이칼슘 수준이 콜레스테롤 첨가 또는 무첨가 고지방식 섭취 흰쥐의 지질대사에 미치는 영향. 한국농촌생활과학회지 2 : 75~81.