

한국산 잣기름이 콜레스테롤 첨가식으로 사육한 토끼의 혈장 총지방산 조정에 미치는 영향

윤 태 현

한림대학교 한국영양연구소 임상영양연구실

Effect of Supplement of Korean Pinenut Oil on Plasma Total Fatty Acid Composition in Cholesterol-fed Rabbits

Yoon, Tai-Heon

Laboratory of Clinical Nutrition, Korea Institute of Nutrition,
Hallym University, Chunchon 200-702, Korea

(Received May 30, 1994)

ABSTRACT

The present study was carried out in atherosclerotic New Zealand white (NZW) rabbits, to evaluate the effect of dietary supplementation with Korean pinenut oil, on plasma total fatty acid composition. In study I, NZW rabbits were fed 10 weeks on a commercial chow diet supplemented with 5% of energy as fats (soybean oil or pinenut oil) or 10% of energy as fats (soybean oil or pinenut oil) with the addition of 1% cholesterol to the diet. Nineteen fatty acids ranged from myristic acid (14:0) to ceronic acid (22:6 ω 3) were identified in all the samples. The c5, c9, c12~18:3 acid was not reported in the fatty acid methyl ester profiles of each group because it was included in the linoleic acid peak. The major constituent fatty acids in the chow diet group were linoleic acid, oleic acid, palmitic acid and α -linolenic acid. In the cholesterol group, oleic acid, linoleic acid and palmitic acid were the major fatty acids. In plasma of cholesterol-fed animals, the levels of 16:1 ω 7 and 18:1 ω 9 were increased. Linoleic acid was the major fatty acid in soybean oil/cholesterol and pinenut oil/cholesterol groups. Plasma linoleic acid levels were significantly increased from 4 to 6% by the supplementation of 5% soybean or 5% pinenut oil in the cholesterol diet for 5 weeks, compared to cholesterol group. Plasma 16:1 ω 7 levels in animals fed with 5 or 10% pinenut oils were significantly lower than in those fed cholesterol for 5 weeks. After 10 weeks on the soybean oil and pinenut oil diet there were no significant differences in the fatty acid composition. In study II, the fatty acid composition was not affected by the types or levels of oils supplemented for 5 weeks. After 10 weeks on the oil diets 16:1 ω 7 and 18:1 ω 9 were decreased in 10% soybean in oil/cholesterol and 10% pinenut oil/cholesterol groups, compared to cholesterol group.

I. 서 론

동맥경화증은 서구 공업국가에서 여전히 주요 사망

원인 중의 하나이다. 가장 잘 알려져 있는 동맥경화 증의 위험인자로는 혈장 콜레스테롤과 고혈압 그리고 흡연을 들 수 있다.

혈장 콜레스테롤 수준을 높이는 데 제일 큰 영향을

미치는 것은 식이 콜레스테롤과 식이 포화지방산임이 동물 및 인체실험을 통하여 잘 입증되어있다.¹⁾ 콜레스테롤을 실험 동물에게 먹이면 고콜레스테롤혈증은 물론 고트리글리세리드혈증도 유발시키며, 혈소판응집능도 증가되고 혈장의 각 지방질획분에서는 물론 간과 적혈구, 혈소판 등에서도 비정상적인 지방산조성의 변화가 일어난다.²⁻⁸⁾

이와같은 혈중 및 조직 중에서 일어나는 각종 비정상적인 생화학적 변화를 정상화시켜 동맥경화증을 예방 또는 치료하고자 하는 시도가 계속되어 오고 있다. 이들 시도 중에서 가장 많은 관심을 기울이고 있는 분야는 역시 식이지방을 이용하는 방법이다. ω -3계와 ω -6계 지방산 그리고 올레산은 혈중 지방질 수준과 적혈구·혈소판의 지방산 조성을 각각 정상화시켜 주고, 혈소판 응집도 저해시켜 주는 등의 효과가 있음이 밝혀졌다.^{1, 9-17)}

한편 5-올레핀계 지방산은 탄소수와 2중결합수가 동일한 통상의 지방산에 비하여 산화안전성이 높다. 뿐만 아니라 ω -3계와 ω -6계 지방산에 비하여 혈중 지방질과 간트리글리세리드 함량을 저하시키는 데 더 효과적이며, 간트리글리세리드에 결합되는 비율이 아주 낮고, 혈소판 응집도 저해한다.¹⁸⁻²¹⁾는 정도만 알려져 있을 뿐이다. 그 밖의 역할에 관해서는 전혀 연구되어 있지 않다.

본 연구는 전보^{20, 21)}에 이은 계속 연구로서 잣에 많이 함유되어 있는 5-올레핀계 지방산이 콜레스테롤 식이를 먹고 있는 토끼에게 투여하였을 때, 콜레스테롤 투여로 인한 혈장 총지방산 조성의 변화를 어느 정도 정상화시켜 주는지 그리고 프로스타글란딘 합성기질인 지방산들의 동태는 어떠한지를 살펴보았다.

II. 재료 및 방법

1. 재료 및 시약

토끼 사료는 삼양유지사료 주식회사의 토끼사육용 고형사료(pellet)인 "토끼1호"였으며, 잣은 강원도 홍천군에서 생산된 것을 직접 구입하였다.

본 실험에 사용한 핵산은 Tedia사(Ohio, 미국)로부터 클로로포름은 Mallinckrodt Specialty Chemical사(Kentucky, 미국)로부터, 메탄올과 에틸 에

테르는 BDH Limited사(KPoole, 영국)로부터, 콜레스테롤(C8503)은 Sigma사(St. Louis, 미국)로부터, Instant Methanolic HCl kit 시약은 Alltech Associates사(Illinois, 미국)로부터 그리고 지방산 표준품과 충전제 등은 Supelco사(Pennsylvania, 미국)로부터 각각 구입하였다. 기타의 시약은 전부 특급시약을 사용하였다.

2. 실험설계

1) 실험 I

실험 I에서는 정상 토끼에게 1% 콜레스테롤 함유 식이를 공급하면서 잣기름과 콩기름을 경구투여하였을 때 혈장 중의 지방산 조성을 관찰하였다. 1% 콜레스테롤 함유 식이는 Roth 등²²⁾의 방법에 따라 조제하였다. 입구가 넓은 큰 용기에 일정량의 시판 고형 사료를 넣어 놓고 1%에 해당하는 콜레스테롤을 에테르에 미리 녹혀 분무기로 분무하여 조제하였다. 분무를 끝낸 후 사료는 통풍이 잘되는 곳에서 24시간 이상 방치한 다음 토끼에게 급여하였다.

실험무리는 난괴법으로 대조무리, 콩기름 5% 무리, 콩기름 10% 무리, 잣기름 5% 무리, 잣기름 10% 무리 등 5무리로 나누고, 1무리당 예비사육이 끝난 토끼 5마리씩 배정하여 cage당 한 마리씩 넣어 10주 동안 사육하였다.

대조무리에게는 총에너지 중 당질 58%, 단백질 32%, 지방질 10%로 구성된 시판고형 사료(commercial chow diet)를 공급하였다. 실험식이인 고형사료와 콩기름 및 잣기름의 지방산 조성은 Table 1과 같으며, 지방산 조성의 분석은 전보^{23, 24)}의 방법에 따라 행하였다.

실험 10주 전기간동안 물은 자유로이 섭취시켰으며 사육실 온도는 20~25℃, 습도는 50%로 유지시키고 12시간 간격으로 점등과 소등을 실시하였다. 콩기름 및 잣기름은 총 섭취에너지에서 사료자체의 지방질을 포함하여 각각 15%와 20%에 해당되는 양을 매일 경구 투여하였다.

2) 실험 II

실험 II에서는 정상 토끼에게 1% 콜레스테롤 함유 식이를 미리 4주동안 공급하여 동맥경화증을 유발시킨 다음 잣기름과 콩기름을 경구 투여할 시 혈장 지방산 조성의 변화 여부를 확인하고자 하였다.

Table 1. Fatty acid composition(% of total fatty acids) of commercial chow diet, soybean oil and *Pinus koraiensis* seeds

| Fatty acid | Commercial chow diet | Soybean oil | Pinenut oil |
|-----------------|----------------------|-------------|--------------------|
| 12:0 | 0.02 | trace | — |
| 14:0 | 0.17 | 0.07 | 0.01 |
| 15:0 | 0.03 | 0.01 | — |
| 16:0 | 14.47 | 10.32 | 4.81 |
| 16:1 | 0.23 | 0.03 | 0.08 ^a |
| 17:0 | 0.12 | 0.09 | 0.08 |
| 18:0 | 2.26 | 2.83 | 1.80 |
| 18:1 | 20.48 | 21.63 | 28.82 ^b |
| 18:2 | 54.38 | 54.52 | 46.55 |
| 18:3, 5, 9, 12 | — | — | 13.70 |
| 18:3 ω 3 | 4.03 | 8.57 | 0.15 |
| 20:0 | 0.25 | 0.38 | 0.31 |
| 20:1 ω 9 | 0.42 | 0.21 | 1.35 |
| 20:2 ω 6 | 0.14 | 0.11 | 0.59 |
| 20:3, 5, 11, 14 | — | — | 1.13 |
| 22:0 | 0.08 | 0.34 | 0.08 |
| 22:1 | 0.01 | 0.02 | — |
| 22:5 ω 3 | 0.32 | — | — |
| 22:6 ω 3 | 0.23 | — | — |
| 24:0 | — | 0.16 | — |
| 24:1 | — | 0.05 | — |
| Others | 2.36 | 0.61 | 0.54 |

^aAlso contains 16:1 ω 9, trace.

^bAlso contains 18:1 ω 7, 0.91%.

3. 잣기름 추출

종피를 제거한 잣 약 30g을 유발에서 마쇄하여 1000ml 분액여두에 옮겨 담은 다음 헥산 350ml를 가하여 실온에서 2시간동안 진탕하면서 추출·농축하여 1주일 이내에 전부 사용하였다.

4. 혈액 채취 및 혈장 분리

혈액채취 12시간 전에 절식시킨 후 토끼 고정대에 넣어 고정시켜 귀동맥에 xylene을 바른 다음 10ml 주사기로 약 10ml를 채취하였다. 혈액은 항응고제(5% EDTA와 5% NaN₃가 들어 있는 용액) 0.2ml가 들어 있는 15ml polypropylene tube에 조심스럽게

넣고 2~3회 가볍게 기울여 항응고제가 잘 섞이도록 한 다음 늦어도 1시간 이내에 미리 4℃로 조절된 원심분리기(Du Pont Sovall Technospin R, 미국)로 3000rpm에서 10분간 원심분리하여 혈장을 얻었다. 혈장은 소량씩 1.5ml microcentrifuge tube에 분주하여 -70℃ Deep freezer(Queue Ststem사, 미국)에 보관하면서 지방산 측정 시료로 사용하였다.

5. 혈장 총지방산조성 분석

혈장 200μl을 15ml screw cap 시험관에 넣고 질소 가스로 전부 날려 보낸 후 Instant Methanolic HCl kit 시약 3ml를 가하여 시험관가열기(Techne DB-3H Dri-Block, 영국)로 95℃에서 60분간 transesterification시켰다.

Transesterification을 끝낸 후 실온에서 20분간 냉각시키고 n-heptane 3ml를 가하여 시험관혼합기로 60초간 강하게 혼합한 다음 4℃ 냉장고에서 하룻밤 방치하였다. 분리된 상층액을 Pasteur 피펫으로 끝이 뾰족한 10ml 유리 시험관에 옮기고, n-heptane 2ml를 다시 가하여 30초간 혼합한 뒤 4℃의 원심분리기로 3000rpm에서 10분동안 원심분리하여 분리된 상층액을 전부 합하였다. 질소가스로 n-heptane을 전부 날려 보낸 후 n-heptane 50μl로 지방산 메틸 에스테르를 녹여 1μl를 가스크로마토그래피에 주입하여 분석하였다. 이때 사용한 가스크로마토그래피와 조건은 다음과 같다.

Instrument : Hitachi Model 163

Detector : flame ionization detector

Column : 2m×3mm(ID) glass column

Packing material : GP 3% SP-2310/2%

SP-2300 on 100/120 Chromosorb WAW

Column temp. : 160 for 1 min then 1℃/min to 220℃ and held

Injection temp. : 220℃

N₂ flow rate : 39ml/min

H₂ flow rate : 36ml/min

Air flow rate : 500ml/min

Sensitivity : 10×8

Chart speed : 5mm/min

분리된 각 지방산의 피이크 면적과 그 백분율은 적

분기(TR-2220A, Takeda 理研공업주식회사, 일본)로 계산하였으며, 각 지방산의 동정은 지방산 표준품의 보지시간으로 확인하였다.^{25, 26)}

6. 통계처리

각 처리구의 측정값 상호 비교시 유의성은 Student's t-test로 검정하였다.

III. 결 과

1. 실험 I

1% 콜레스테롤 함유 고형사료를 먹이기 시작함과

동시에 콩기름과 잣기름을 보충급여 하였을 때의 혈장 총지방산의 결과를 Table 2에 표시하였다. 가스 크로마토그래피로 조사하여 본 바 모든 실험무리에서 14:0부터 22:6까지 포화 지방산 6종류와 불포화 지방산 13종류, 총 19종류를 분리·동정할 수 있었다. 그런데 5-올레핀계 지방산들은 충전제를 채운 유리관을 부착시킨 본 가스 크로마토그래피 조건에서는 정확히 분리되지 않아 계산할 수 없었다. 잣기름에 가장 많이 함유되어 있는 c5, c9, c12~18:3은 리놀레산의 피이크와 겹쳐서 리놀레산값에 포함시켰다.

고형사료만 주었을 경우 주지방산은 리놀레산이었

Table 2. Effect of dietary supplementation with soybean oil or pinenut oil on plasma total fatty acid composition in rabbits fed a chow diet added with 1% cholesterol

| Fatty acid | Before | After 5 weeks | | | | | |
|---------------------|------------|---------------|---------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | Stock control | Cholesterol control | 5% Soybean oil | 10% Soybean oil | 5% Pinenut oil | 10% Pinenut oil |
| 14:0 | 0.70±0.22 | 0.72±0.12 | 0.37±0.20 | 0.37±0.08 | 0.37±0.07 | 0.37±0.13 | 0.36±0.12 |
| 15:0 | 0.37±0.08 | 0.35±0.08 | 0.46±0.02 | 0.36±0.04 | 0.42±0.03 | 0.35±0.05 | 0.26±0.20 |
| 16:0 | 21.69±3.56 | 18.89±3.22 | 19.22±0.70 | 17.68±1.21 | 17.39±1.50 | 16.35±1.09** | 15.62±2.89 |
| 16:1ω7 | 0.86±0.38 | 1.97±0.56 | 3.83±1.06 | 2.89±0.64 | 2.34±1.22 | 2.07±0.57* | 1.39±0.88* |
| 17:0 | 1.27±0.95 | 2.07±1.39 | 0.59±0.30 | 0.66±0.11 | 0.68±0.07 | 0.62±0.21 | 0.41±0.25 |
| 18:0 | 9.02±1.76 | 7.82±1.80 | 6.15±0.78 | 6.11±0.63 | 6.36±0.90 | 5.81±0.97 | 6.15±1.65 |
| 18:1ω9 | 17.65±5.50 | 20.15±4.09 | 30.96±2.48† | 27.72±2.14 | 27.31±2.44 | 28.80±3.10 | 28.44±4.39 |
| 18:2ω6 ^a | 31.00±3.75 | 23.71±5.71 | 24.40±0.93 | 29.53±1.83** | 30.51±4.18 | 32.25±3.40** | 28.88±7.31 |
| 18:3ω3 | 1.87±1.24 | 12.96±12.13 | 1.59±0.40 | 2.19±0.26 | 2.29±0.81 | 1.26±0.75 | 5.87±7.14 |
| 20:0 | 0.07±0.02 | 0.06±0.03 | 0.10±0.05 | 0.09±0.03 | 0.09±0.02 | 0.15±0.03 | 0.19±0.10 |
| 20:1ω9 | 0.29±0.17 | 0.40±0.13 | 0.23±0.07 | 0.16±0.02 | 0.19±0.07 | 0.41±0.29 | 0.95±1.24 |
| 20:2ω6 | 1.16±0.96 | 2.18±1.21 | 0.50±0.25 | 0.60±0.58 | 0.54±0.25 | 0.58±0.28 | 0.67±0.31 |
| 20:3ω6 | 0.25±0.04 | 0.28±0.07 | 0.23±0.05 | 0.23±0.05 | 0.34±0.29 | 0.49±0.39 | 0.56±0.31 |
| 20:4ω6 | 3.99±1.34 | 3.10±1.07 | 1.95±0.33 | 2.20±0.33 | 2.03±0.25 | 1.88±0.54 | 1.54±0.59 |
| 20:5ω3 | 0.20±0.10 | 0.17±0.02 | 0.17±0.02 | 0.14±0.03 | 0.17±0.05 | 0.19±0.07 | 0.18±0.09 |
| 22:4ω6 | 0.10±0.03 | 0.45±0.50 | 0.08±0.04 | 0.04±0.01 | 0.03±0.01 | 0.06±0.04 | 0.04±0.02 |
| 22:5ω6 | 0.55±0.35 | 0.86±0.39 | 0.26±0.16 | 0.33±0.48 | 0.22±0.06 | 0.38±0.28 | 0.32±0.02 |
| 22:5ω3 | 0.58±0.23 | — | 0.22±0.07 | 0.21±0.05 | 0.20±0.03 | 0.09±0.03 | 0.09±0.04 |
| 22:6ω3 | 0.59±0.39 | 0.69±0.46 | 0.37±0.09 | 0.30±0.12 | 0.36±0.18 | 0.33±0.09 | 0.43±0.22 |

Result expressed as means ±SD of two to eight rabbits.

^a Also contains c5, c9, c12-18:3 acid.

† Significantly different from stock control, P<0.05.

* Significantly different from cholesterol control, P<0.05.

** Significantly different from cholesterol control, P<0.01.

으며 그 다음은 올레산, 팔미트산, α -리놀렌산 순이었다. 이들 4종류의 지방산이 차지하는 비율은 실험 전기간동안 평균 76% 수준을 유지하고 있었다. 탄소수 20개 이상의 장쇄지방산 중에서는 아라키돈산이 약 2~3%로서 가장 많았고, 그 다음은 20:2 ω 6이었는데 약 1~2%정도 수준이었다.

콜레스테롤 함유 식이를 주었을 때에는 총지방산 조성에서 많은 변화가 일어났다. 고탄사료만 준 무리에 비하여 가장 큰 차이는 주지방산이 올레산이고 실험 전기간에 걸쳐 함량도 약 11%나 유의하게 많은 30% 전후라는 점이다. 그 다음은 α -리놀렌산이 약 6~11%나 감소하였다는 점을 들 수 있다. 5주째에는 탄소수 20개 이상의 장쇄 지방산 중에서 20:5 ω 3을 제외하고 대부분의 지방산의 수준이 낮은 경향을 보여주었다(유의성은 없었음). 10주째에도 주요 지방

산의 종류와 수준에는 큰 변동이 없었다. 다만 탄소수 20개 이상의 장쇄 지방산 중에서 20:1 ω 9, 20:2 ω 6, 20:5 ω 3, 22:5 ω 6 등이 유의성은 없으나 낮은 수준을 유지하고 있었다. ω 7계 지방산인 16:1 ω 7도 5주째에는 1.9배(유의성 없음), 10주째에는 2.9배(유의성 있음)나 증가하였다.

아라키돈산/리놀레산의 비는 고탄사료무리의 경우 5주째에는 0.13이었고 10주째에는 약 40% 낮은 0.08이었다. 반면에 콜레스테롤 첨가식이 무리는 5주째와 10주째 각각 0.08, 0.06으로 별다른 변화가 없었다.

식이지방을 5주동안 보충급여하였을 때의 주지방산은 고탄사료 무리에서와 마찬가지로 리놀레산이었다. 이 지방산은 식이지방 종류와 보충수준에 상관없이 콜레스테롤첨가 무리의 그것에 비하여 4~8% 높

Table 2. Continued.

| Fatty acid | After 10 weeks | | | | | |
|------------------------------|----------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------|-------------------------|
| | Stock control | Cholesterol control | 5% Soybean oil | 10% Soybean oil | 5% Pinenut oil | 10% Pinenut oil |
| 14:0 | 0.37±0.10 | 0.42±0.05 | 0.43±0.09 | 0.50±0.05 | 0.49±0.11 | 0.38±0.05 |
| 15:0 | 0.29±0.13 | 0.37±0.07 | 0.39±0.10 | 0.36±0.08 | 0.46±0.08 | 0.46±0.07 |
| 16:0 | 17.21±5.83 | 18.47±1.15 | 18.36±0.82 | 18.11±2.65 | 18.45±1.91 | 16.11±1.45 |
| 16:1 ω 7 | 1.26±0.83 | 3.46±0.79 [†] | 4.06±1.55 | 3.58±1.93 | 3.34±1.12 | 1.79±1.06 |
| 17:0 | 0.54±0.21 | 0.57±0.07 | 0.34±0.24 | 0.53±0.13 | 0.65±0.30 | 0.78±0.20 |
| 18:0 | 6.88±3.24 | 4.87±0.71 | 5.86±1.05 | 4.50±0.55 | 6.17±1.21 | 6.49±0.90 |
| 18:1 ω 9 | 23.83±2.47 | 29.99±1.49 [†] | 29.21±3.39 | 28.39±3.25 | 27.61±3.28 | 27.29±5.18 |
| 18:2 ω 6 ^a | 27.17±3.74 | 27.39±3.35 | 28.13±4.21 | 31.29±5.08 | 27.80±2.39 | 32.76±4.71 |
| 18:3 ω 3 | 8.42±13.61 | 2.82±2.53 | 1.78±0.41 | 1.76±0.39 | 1.17±0.43 | 1.34±0.76 |
| 20:0 | 8.42±0.10 | 0.12±0.05 | 0.08±0.02 | 0.11±0.02 | 0.08±0.03 | 0.09±0.04 |
| 20:1 ω 9 | 1.05±1.36 | 0.37±0.30 | 0.17±0.05 | 0.23±0.07 | 0.35±0.22 | 0.27±0.05 |
| 20:2 ω 6 | 1.28±0.74 | 0.43±0.22 | 0.46±0.18 | 0.54±0.21 | 0.70±0.29 | 0.63±0.13 |
| 20:3 ω 6 | 0.10±0.07 | 0.16±0.02 | 0.20±0.05 | 0.17±0.09 | 0.44±0.20 | 0.78±0.24 ^{**} |
| 20:4 ω 6 | 2.14±1.26 | 1.68±0.85 | 2.14±0.44 | 1.38±0.31 | 2.24±0.86 | 1.92±0.26 |
| 20:5 ω 3 | 0.36±0.07 | 0.23±0.06 | 0.18±0.04 | 0.18±0.03 | 0.24±0.09 | 0.13±0.02 |
| 22:4 ω 6 | 0.04±0.04 | 0.04±0.01 | 0.04±0.02 | 0.06±0.03 | 0.06±0.07 | 0.12±0.11 |
| 22:5 ω 6 | 0.67±0.45 | 0.19±0.09 | 0.24±0.14 | 0.25±0.12 | 0.31±0.12 | 0.05±0.05 |
| 22:5 ω 3 | 0.06±0.03 | 0.18±0.05 | 0.21±0.11 | 0.16±0.14 | 0.24±0.17 | 0.23±0.16 |
| 22:6 ω 3 | 0.59±0.49 | 0.40±0.10 | 0.38±0.16 | 0.36±0.13 | 0.54±0.18 | 0.51±0.21 |

^a Also contains c5, c9, c12-18:3 acid.

[†] Significantly different from stock control, P<0.05.

^{**} Significantly different from cholesterol control, P<0.01.

았는데 모두 지방 5% 무리에서만 유의성이 있었고 지방 10% 무리에서는 유의성이 나오지 않았다. 지방 10% 무리의 경우 표준편차가 컸고, 토끼숫자가 적었는데 기인한 것이므로 실험동물수가 1~2마리 정도 늘어나도 충분히 유의성이 있는 증가치로 볼 수 있다. 팔미트산은 잣기름 5% 무리에서만 그리고 16:1 ω 7은 잣기름 5%와 10% 무리에서만 유의성이 있는 감소치를 보여주었다. 기타의 지방산에서는 콜레스테롤 첨가무리의 그것들에 비하여 뚜렷한 차이점을 찾아볼 수 없었다. 실험 10주째에는 20:3 ω 6만 10% 잣기름 무리에서 높았을 뿐 기타의 지방산 모두에서 유의성이 있는 변화가 나타나지 않았다.

2. 실험 II

실험 II에서는 1% 콜레스테롤 함유 고형사료를 미리 4주동안 먹여 동맥경화증을 유발시킨 후 콩기름과 잣기름을 보충급여하였을 때의 혈장 총지방산 조성의 변화를 살펴보았다(Table 3).

식이지방 보충급여 시작 5주후(실제 실험기간은 9주임) 고형사료무리에 비하여 콜레스테롤 첨가사료 단독투여무리는 팔미트산과 스테아르산이 유의하게 낮았고, α -리놀레산만 유의하게 높았다. 그리고 올레산은 40%, 16:1 ω 7은 110% 각각 많았으나 유의성은 없었다. 10주후에는 포화지방산 중에서 팔미트산과 스테아르산이 유의하게 낮았고, 불포화지방산 중에서는 22:5 ω 6만 유의하게 낮았다.

Table 3. Effect of dietary supplementation with soybean oil or pinenut oil on plasma total fatty acid composition in cholesterol-induced atherosclerotic rabbits

| Fatty acid | Before | After 5 weeks | | | | | |
|------------------------------|------------|---------------|--------------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | Stock control | Cholesterol control | 5% Soybean oil | 10% Soybean oil | 5% Pinenut oil | 10% Pinenut oil |
| 14:0 | 0.51±0.06 | 0.66±0.37 | 0.26±0.13 | 0.37±0.11 | 0.39±0.10 | 0.41±0.11 | 0.35±0.00 |
| 15:0 | 0.48±0.05 | 0.36±0.09 | 0.37±0.10 | 0.39±0.05 | 0.40±0.07 | 0.45±0.04 | 0.46±0.03 |
| 16:0 | 21.72±2.05 | 21.32±0.30 | 16.52±1.27 ^{††} | 15.85±0.83 | 16.74±1.14 | 16.70±1.32 | 17.41±0.59 |
| 16:1 ω 7 | 0.92±0.29 | 1.38±1.32 | 2.96±1.41 | 3.76±1.80 | 3.30±0.59 | 3.32±0.65 | 2.76±0.83 |
| 17:0 | 0.82±0.09 | 0.70±0.20 | 0.71±0.12 | 0.67±0.11 | 0.69±0.03 | 0.67±0.04 | 0.71±0.06 |
| 18:0 | 11.38±1.11 | 10.66±1.00 | 6.14±0.53 [†] | 5.85±0.93 | 6.09±0.30 | 5.78±0.32 | 5.95±0.52 |
| 18:1 ω 9 | 16.13±2.08 | 20.52±8.87 | 28.27±2.07 | 30.60±1.65 | 30.09±4.53 | 29.31±3.93 | 29.64±3.20 |
| 18:2 ω 6 ^a | 35.53±2.34 | 33.82±7.63 | 31.27±1.99 | 27.74±2.46 | 28.65±3.46 | 30.65±1.97 | 30.23±3.29 |
| 18:3 ω 3 | 1.29±0.18 | 1.14±0.07 | 2.49±0.12 ^{†††} | 2.35±0.17 | 2.27±0.27 | 2.59±0.23 | 2.23±0.23 |
| 20:0 | 0.11±0.01 | 1.10±0.00 | 0.13±0.02 | 0.12±0.01 | 0.11±0.01 | 0.10±0.02 | 0.12±0.01 |
| 20:1 ω 9 | 0.15±0.02 | 0.29±0.27 | 0.18±0.05 | 0.23±0.06 | 0.31±0.04 | 0.18±0.04 | 0.14±0.02 |
| 20:2 ω 6 | 0.61±0.12 | 0.68±0.25 | 0.38±0.07 | 0.46±0.09 | 0.56±0.09 | 0.45±0.10 | 0.39±0.10 |
| 20:3 ω 6 | 0.43±0.15 | 0.34±0.08 | 0.23±0.03 | 0.23±0.06 | 0.22±0.06 | 0.26±0.03 | 0.28±0.07 |
| 20:4 ω 6 | 4.34±0.46 | 3.22±1.01 | 2.24±0.31 | 1.90±0.47 | 1.71±0.11 | 2.13±0.23 | 2.23±0.06 |
| 20:5 ω 3 | 0.21±0.01 | 0.18±0.04 | 0.19±0.03 | 0.16±0.01 | 0.14±0.01 | 0.16±0.02 | 0.18±0.01 |
| 22:4 ω 6 | 0.15±0.04 | 0.28±0.14 | 0.10±0.03 | 0.09±0.05 | 0.10±0.05 | 0.06±0.02 | 0.06±0.01 |
| 22:5 ω 6 | 0.40±0.14 | 0.37±0.15 | 0.09±0.03 | 0.11±0.04 | 0.10±0.02 | 0.13±0.02 | 0.13±0.10 |
| 22:5 ω 3 | 0.67±0.32 | 0.67±0.00 | 0.17±0.09 | 0.24±0.05 | 0.12±0.00 | 0.26±0.06 | 0.37±0.17 |
| 22:6 ω 3 | 0.59±0.34 | 0.35±0.31 | 0.27±0.13 | 0.37±0.08 | 0.21±0.09 | 0.32±0.05 | 0.33±0.15 |

Result expressed as means \pm SD of two to five rabbits.

^a Also contains c5, c9, c12-18:3 acid.

[†] Significantly different from stock control, $P < 0.05$.

^{††} Significantly different from stock control, $P < 0.01$.

^{†††} Significantly different from stock control, $P < 0.001$.

식이지방은 5주동안 보충급여하였을 때는 식이지방 종류나 수준에 관계없이 지방산 조성에서 변화가 일어나지 않았다. 실험 10주후에는 올레산과 16:1 ω 7이 콩기름과 잣기름 10% 무리에서 유의성은 없었으나 낮은 수준을 보여주었다. 그리고 α -리놀레산이 10% 잣기름 무리에서 유의하게 낮은 것을 제외하면 기타의 지방산에서는 이렇다 할 수준 변화를 찾아 볼 수 없었다.

IV. 고 찰

잣기름 중에 함유되어 있는 5-올레핀계 지방산 중에서 가장 많이 함유되어 있는 c5, c9, c12~18:3은 일반적으로 많이 사용해 오고있는 충전제를 채운 유리관으로는 탄소수 18개와 20개의 지방산으로부터

분리해내기가 쉽지 않다. 이와같은 점때문에 여러 연구자들^{27~30)}이 이 지방산의 피이크 위치 확인과 함량 측정에 오류를 많이 범하였다. 본 연구에서는 전보^{23, 24)}에서 이용한 가스 크로마토그래피 조건으로 분석하여 본 바 잘 분리되었다. 그러나 시료가 혈장일 경우에는 리놀레산의 피이크에 겹쳐서 분리되지 않았다. 생체시료의 경우에는 모세관 유리관을 사용하여 분석하는 것이 바람직하다고 본다.

한편 체내에서 5-올레핀계 지방산의 대사에 관하여 알려진 것이 없지만 탄소 사슬의 신장(elongation)과 탈포화(desaturation)가 일어날 수 있다고 본다. 따라서 이들 대사 산물의 동태 파악은 아주 중요한 의미를 갖고 있으므로 5-올레핀계 지방산과 이들 대사 산물의 분석방법 개발이 시급하다고 생각한다.

Table 3. Continued.

| Fatty acid | After 10 weeks | | | | | |
|------------------------------|----------------|--------------------------|----------------|-----------------|----------------|------------------------|
| | Stock control | Cholesterol control | 5% Soybean oil | 10% Soybean oil | 5% Pinenut oil | 10% Pinenut oil |
| 14:0 | 0.62±0.26 | 0.28±0.02 | 0.32±0.03 | 0.32±0.04 | 0.30±0.08 | 0.35±0.15 |
| 15:0 | 0.38±0.01 | 0.34±0.06 | 0.34±0.08 | 0.33±0.04 | 0.34±0.04 | 0.35±0.04 |
| 16:0 | 21.19±0.68 | 16.57±0.94 ^{††} | 16.27±0.72 | 16.21±0.81 | 16.13±1.31 | 18.85±0.80 |
| 16:1 ω 7 | 1.32±0.99 | 2.74±0.85 | 2.54±0.67 | 1.75±0.25 | 2.53±0.90 | 1.07±0.99 |
| 17:0 | 0.68±0.07 | 0.62±0.12 | 0.51±0.04 | 0.55±0.02 | 0.57±0.07 | 0.57±0.08 |
| 18:0 | 11.06±1.65 | 5.67±0.35 ^{††} | 5.75±0.85 | 6.75±0.78 | 6.07±0.77 | 10.78±4.59 |
| 18:1 ω 9 | 19.59±6.47 | 28.53±1.39 | 27.03±1.03 | 24.92±1.94 | 27.36±1.04 | 18.67±7.04 |
| 18:2 ω 6 ^a | 34.83±5.81 | 30.75±1.48 | 32.88±0.65 | 36.13±2.55 | 33.91±2.61 | 35.05±2.02 |
| 18:3 ω 3 | 1.03±0.07 | 2.11±0.09 | 2.40±0.26 | 2.84±0.48 | 1.71±0.18 | 0.64±0.38 [*] |
| 20:0 | 0.10±0.00 | 0.10±0.02 | 0.11±0.04 | 0.10±0.02 | 0.11±0.01 | 0.13±0.00 |
| 20:1 ω 9 | 0.28±0.19 | 0.13±0.04 | 0.14±0.02 | 0.12±0.00 | 0.14±0.02 | 0.11±0.02 |
| 20:2 ω 6 | 0.62±0.20 | 0.35±0.01 | 0.35±0.07 | 0.34±0.02 | 0.38±0.05 | 0.46±0.14 |
| 20:3 ω 6 | 0.24±0.08 | 0.26±0.07 | 0.18±0.05 | 0.26±0.06 | 0.68±0.04 | 1.02±0.43 |
| 20:4 ω 6 | 3.67±0.84 | 2.28±0.27 | 2.20±0.39 | 1.91±0.37 | 2.31±0.15 | 3.22±0.73 |
| 20:5 ω 3 | 0.18±0.04 | 0.17±0.03 | 0.18±0.03 | 0.17±0.01 | 0.17±0.02 | 0.21±0.03 |
| 22:4 ω 6 | 0.10±0.01 | 0.11±0.02 | 0.08±0.03 | 0.06±0.03 | 0.08±0.02 | 0.24±0.00 |
| 22:5 ω 6 | 0.31±0.06 | 0.12±0.05 [†] | 0.16±0.04 | 0.09±0.04 | 0.08±0.02 | 0.23±0.11 |
| 22:5 ω 3 | 0.32±0.05 | 0.30±0.07 | 0.34±0.09 | 0.26±0.09 | 0.21±0.03 | 0.21±0.00 |
| 22:6 ω 3 | 0.31±0.11 | 0.38±0.09 | 0.46±0.14 | 0.26±0.10 | 0.31±0.17 | 0.31±0.01 |

^a Also contains c5, c9, c12-18:3 acid.

[†] Significantly different from stock control, P<0.05.

^{††} Significantly different from stock control, P<0.01.

^{*} Significantly different from cholesterol control, P<0.05.

고형 사료로만 사육한 토끼의 혈장 지방산 조성은 탄소수 22개 이상의 초장쇄지방산을 제외하면 윤 등²⁵⁾이 보고한 정상인 남자의 혈청 총지방산조성과 아주 흡사함을 볼 수 있다. 특히 중요 지방산의 종류는 물론 총지방산 조성에서 차지하는 비율도 거의 비슷하다. 사람의 동맥경화증 동물 모델로서 토끼를 많이 사용해 오고 있는데³¹⁾ 지방산대사 연구에도 아주 유용한 실험동물임을 알 수 있다.

식이콜레스테롤은 간에서 트리글리세리드와 콜레스테롤 에스테르의 생성을 촉진한다. 또한 외인성 올레산의 산화를 감소시키고 트리글리세리드와 콜레스테롤 에스테르에로의 결합을 촉진한다.⁶⁾ 따라서 올레산이 이들 지방질에 결합되어 저밀도지단백질 형태로 간에서 혈중으로 많이 분비되기 때문에 혈중 총지방산 중에서 올레산의 비율이 고형사료만 준 무리에 비하여 높은 것이다. 또한 식이 콜레스테롤에 의해서 합성된 내인성 올레산도 역시 올레산 비율증가에 관여하였다고 사료된다.⁶⁾ 16:1 ω 7 지방산 증가도 마찬가지로 식이콜레스테롤에 의한 생합성 촉진의 결과로 여겨진다. 즉, 콜레스테롤식으로 9-desaturase활성이 증가하여 16:1/16:0과 18:1/18:0의 비가 증가한다는 것이다. 뿐만 아니라 콜레스테롤 첨가무리의 아라키돈산/리놀레산의 비가 고형사료만 준 무리에 비하여 낮은 것은 외인성 콜레스테롤이 많아지면 6-desaturase활성이 억제되어 리놀레산으로부터 아라키돈산으로의 전환이 줄어들었는데 기인한 결과이다. 콩기름이나 잣기름에 리놀레산이 많이 함유되어 있었음에도 불구하고 이들 지방첨가식이 무리의 혈장 리놀레산이 아라키돈산으로의 전환이 콜레스테롤첨가식이 무리에 비하여 별 차이가 없는 것은(Table 2) 다음 두가지 이유로 설명할 수 있다. 첫째는 토끼에게서 리놀레산이 아라키돈산으로 전환되는 비율이 낮다는 점을 들 수 있다. 둘째는 고도 불포화 지방산이 콜레스테롤과 결합하여 콜레스테롤 분해에 관여하였기 때문이다.¹²⁾ 실제로 콩기름과 잣기름 첨가무리에서 콜레스테롤 수준이 낮은 결과를 얻었다.²⁰⁾

한편 본 연구에서는 프로스타글란딘 합성을 측정하지 않았지만 콩기름에 함유되어 있는 ω -3계 지방산과 잣기름의 5-올레핀계 지방산이 프로스타글란딘 합성을 저해하였을 것으로 추측된다.^{18, 32)}

일반적으로 토끼를 콜레스테롤 첨가식으로 사육하면 저밀도지단백질-콜레스테롤이 현저히 상승하여 약 5주후에는 죽상경화가 형성된다.³³⁾ 죽상경화가 형성된 후 콩기름과 잣기름을 5주정도 단기간 보충급여로는 콜레스테롤 첨가식으로 인한 영향을 줄이지 못하는 것 같다. 10주 정도부터는 식이지방의 수준이 높은 무리에서 콜레스테롤식으로 인한 9-desaturase활성을 억제하여 16:1 ω 7과 올레산 수준을 유의성은 없었지만 저하시키는 경향을 보여주었다. 그런데 이런 상태하에서는 잣기름과 콩기름의 지방조성 상이에 따른 차이점은 나타나지 않았다. 그러므로 동맥경화증이 유발된 상황에서는 식이지방수준이 높은 쪽이 외인성 콜레스테롤의 영향을 줄여 지방산 대사를 보다 많이 정상화시켜 준다고 생각된다.

5-올레핀계 지방산은 혈장과 간의 인지지방질 획득에 보다 많이 결합(incorporation)되므로¹⁸⁾ 앞으로 정상상태에서는 물론 동맥경화증유발 식이조건하에서 혈장 및 조직의 지방질 획득별로 조사해 보면 보다 세밀한 변화를 찾아 볼 수 있다고 본다. 그리고 동맥경화증을 미리 유발시킨 상태에서는 잣기름을 본 실험에서보다 높은 수준으로 보충 급여할 경우 5-올레핀계 지방산의 혈장 총지방산 정상화 효과가 나올 것으로 기대된다.

V 결 론

동맥경화증을 유발시키지 않은 토끼(실험 I)와 미리 유발시킨 토끼(실험 II)에게 콜레스테롤 첨가식을 주면서 5-올레핀계 지방산이 많이 들어있는 잣기름과 비교로서 ω -3계 지방산이 많이 들어있는 콩기름을 보충급여하였을 때 혈장 총지방산조성에서 일어나는 변화를 조사하였다.

혈장 총지방산조성은 가스크로마토그래피로 조사하여 본 바 14:0에서 22:6까지 총 19종류를 분리·확인할 수 있었다. 그러나 5-올레핀계 지방산인 c5, c9, c12~18:3은 리놀레산 피이크와 겹쳐서 분리해 내지 못하였다. 고형사료만 주었을 경우는 리놀레산이 가장 많았으며, 그 다음은 올레산, 팔미트산, α -리놀레산 순이었다. 콜레스테롤첨가식을 주었을 때의 주지방산은 올레산이었고 그 다음은 리놀레산, 팔미트산, 스테아르산 순으로 적었다. 콜레스테롤첨가

식이만 주었을 때는 고탄사료식이 무리에 비하여 9-desaturase활성 증가로 인하여 16:1 ω 7과 올레산 수준이 많이 증가하였다. 식이지방을 보충급여하였을 때의 주지방산은 리놀레산이었는데, 실험 5주째 콩기름과 잣기름 5% 무리에서 콜레스테롤첨가식의 무리에 비하여 4~6% 유의하게 많았다. 잣기름 5%와 10% 무리에서만 16:1 ω 7이 유의성 있는 감소치를 보여주었다. 실험 10주째에는 콜레스테롤첨가식이 무리에 비하여 모든 실험무리의 지방산조성에서 이렇다할 변화가 일어나지 않았다.

실험 II에서 식이지방을 5주동안 보충급여하였을 때는 식이지방 종류나 수준에 상관없이 지방산조성에서 별다른 변화가 일어나지 않았다. 보충급여 10주 후에는 올레산과 16:1 ω 7이 콩기름과 잣기름 10% 수준에서 유의성은 없었으나 낮은 값을 보여 주었다.

문 헌

1. Grundy, S. M. and Denke, M. A.: *J. Lipid Res.*, 31, 1149(1990)
2. Tremoli, E., Socini, A., Petroni, A., Galli, C.: *Prostaglandins* 24, 397(1982)
3. Schouten, J. A., Beynen, A. C., Popp-Snijders, C. and Van der Veen, E. A.: *Nutr. Rep. Int.*, 29, 1223(1984)
4. Schouten, J. A., Beynen, A. C., Popp-Snijders, C. and Mulder, C.: *Nutr. Rep. Int.*, 31, 229(1985)
5. Gudmundsen, O., Berg, T., Roos, N. and Nenseter, M.: *J. Lipid Res.*, 34, 589(1993)
6. Fungwe, T. V., Cagen, L. M., Cook, G. A., Wilcox, H.G. and Heimberg, M.: *J. Lipid Res.*, 34, 933(1993)
7. Roach, P. D., Balasubramaniam, S., Hirata, F., Abbey, M., Szanto, A., Simons, L. A. and Nestel, P. J.: *Biochim. Biophys. Acta* 1170, 165(1993)
8. Fungwe, T. V., Fox, J. E., Cagen, L. M., Wilcox, H. G. and Heimberg, M.: *J. Lipid Res.*, 35, 311(1994)
9. Renaud, S. and Gautheron, P.: *Atherosclerosis* 21, 115(1975)
10. Grundy, S. M.: *Am. J. Clin. Nutr.*, 45, 1168(1987)
11. Berlin, E., Shapiro, S. G. and Kliman, P. G.: *Atherosclerosis* 63, 85(1987)
12. Huang, Y. S. and Horrobin, D. F.: *Ann. Nutr. Metab.*, 31, 18(1987)
13. Zhu, B-O. Smith, D. L., Sievers, R. E., Isenberg, W. M. and Parmley, W. W.: *J. Am. Coll. Cardiol.*, 12, 1073(1988)
14. Simopoulos, A. P.: *J. Nutr.*, 119, 521(1989)
15. Brown, A. J., Pang, E. and Roberts, D. C. K.: *Am. J. Clin. Nutr.*, 54, 668(1991)
16. Gibson, R. A., James, M. J., Neumann, M. A., Hawkes, J. S. and Cleland, L. G.: *Biochim. Biophys. Acta* 1126, 49(1992)
17. Imaizumi, K., Abe, K., Kuroiwa, C. and Sugano, M.: *J. Nutr.*, 123, 1693(1993)
18. Ikeda, I., Oka, T., Koba, K., Sugano, M. and Lie Ken Jie, M. S. F.: *Lipids* 27, 500(1992)
19. 주진순, 윤태현, 김종대, 최면: 한림대학교 한국영양연구소 업적집 9, 49(1993)
20. Yoon, T. H. and Lee, S. M.: *Proceedings of Japan-Korea Joint Symposium on Health and Nutrition of the Elderly* p. 49(1993)
21. 윤태현, 이상무: 한국영양학회지 27권에 인쇄중 (1994)
22. Roth, R. I., Gaubatz, J. W., Gotto, A. M., Jr., and Patsch, J. R.: *J. Lipid Res.*, 24, 1(1983)
23. 윤태현: 한국영양학회지 16, 93(1987)
24. Yoon, T. H., Im, K. J., T. Koh, E. and Ju, Y. S.: *Nutr. Res.*, 9, 357(1989)
25. 윤태현, 김을상, 박용욱: 인간과학 4, 93(1980)
26. 윤태현: 인간과학 8, 537(1984)
27. 金智文, 尹漢教: 嶺南大學校 農業技術研究報告 2, 469(1975)
28. 牟壽美: 한국영양학회지 8, 83(1975)
29. 韓在淑: 嶺南大學校 食糧資源開發研究所 3, 7(1979)
30. 金明, 李淑熙, 崔弘植: 한국영양학회지 13,

- 406(1984)
31. Suckling, K. E. and Jackson, B.: Prog. Lipid Res., 32, 1(1993)
32. Adam, O., Wolfram, G. and Zöllner, N.: J. Lipid Res., 27, 421(1986)
33. 小柳雅博, 金澤武道, 柳町智宏, 長内智宏, 小野寺庚午, 小松 修, 川原札子, 目時弘文: 日本動脈硬化 20, 147(1992)