

魚油식이에 의한 흰쥐체내의 생화학적 변화연구(I)

- 간장조직내 지방산 합성효소의 변화 -

정승은 · 하태열 · 임정교 · 조성희*

효성여자대학교 가정대학 식품영양학과

The Study of Biochemical Changes Induced by Fish Oil Diet in Rat(I)

- Changes in Hepatic Lipogenic Enzyme Activity -

Seung Eun Jung, Tae Youl Ha, Jung Gyo Im, Sung Hee Cho

Dept. of Food Science & Nutrition, School of Home Economics, Hyo Sung Women's University

=ABSTRACT=

In order to evaluate the effect of fish oil on lipogenesis, activities of glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PDH) and malic enzyme (ME) were measured in liver of rats fed mackerel oil (MO) or eel oil (EO) for 10 to 14 days, at the various levels of 0 to 10% (w/w). In addition to two kinds of fish oil, soybean oil (SO), lard (L), and beef tallow (BT) were fed to the different groups of rats. When fish oil was below 10% (w/w), soybean oil, lard, or beef tallow was mixed with fish oil to maintain constant 10% (w/w) fat level.

Three days of feeding MO brought a marked decrease (~50%) both in G6PDH and ME activity, the former of which maintained during 13 days of feeding. L group had highest levels of both enzymes. G6PDH activity of MO was lower than SO, but ME activity was not different between MO and SO. G6PDH activity was decreased with increasing content of fish oil (MO, EO), starting at the 2% (w/w) level of fish oil, when L or BT was used as filler oil. But ME activity was significantly reduced when fish oil content was at least 5% (w/w). Difference between the effects shown by two kinds of fish oil and animal species were also found.

The present study suggests that fish oil can suppress hepatic lipogenesis by reducing activities of lipogenic enzymes with the same or higher degree than vegetable oil can exert.

* 한국과학재단 연구비 보조로 이루어짐.

접수일자 : 1984년 9월 28일.

서 론

식이에서 섭취되는 지방의 영양학적 역할은 高熱量源이라는 點이외에도 生體膜의 인지질 조성, 혈청지단백질 形成, prostaglandin 합성에 직접적으로 관여한다. 食餌脂肪의 함량 및 구성지방산의 balance의 차이는 이러한 물질의 구성에 변화를 초래하는 요인 이 된다^{1~4)}. 생선의 섭취가 혈청 지단백질의 pattern에 변화를 가져 오며^{5,6)} HDL - cholesterol의 증가⁷⁾를 초래하여 동맥경화증의 진전을 억제한다고 제시된 바 있다. 이 결과는 우리나라의 食生活에서 생선섭취량을 고려할 때 영향학적으로 매우 의의가 있다. 생선류에 들어 있는 유지의 불포화도가 이러한 현상의 원인이 된다고 간주하고 있으나 魚油의 식물유와는 다른 종류의 불포화지방산으로 구성되어⁸⁾ 있으며 이들 지방산이 갖는 대사과정은 아직 자세히 연구된 바가 적다. 식이 불포화지방을 이용하였기 때문이다. 魚油은 $\omega 6$ 의 linoleic acid 함량이 매우 낮은 반면 $\omega 3$ 계열의 여러 종류 지방산과 C_{22:1}과 같은 very long chain fatty acid도 상당량 포함되어 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 불포화 지방산을 포함한 魚油을 섭취하였을 때 간장조직의 지방산합성효소를 측정하여 지질대사의 변화여부를 조사하고자 시도되었다. 간장조직의 지방합성효소는 소위 inducible 또 ada-

ptive enzyme⁹⁾으로 식이에 의하여 효소합성이 다양하게 조절되는 것으로 잘 알려져 있어, 특히 절식시의 감소, 高탄수화물 식이에 의한 급격한 상승, 高지방식이에 의한 감소^{10,11)} 등이 알려져 있으며 linoleic acid¹²⁾에 의한 효소유도 저해가 palmitic acid에 의한 정도보다 크다고 보고되어 있다.

본 실험에서는 魚油 식이를 통하여 $\omega 3$ 지방산 및 very long chain fatty acid를 섭취시켜 간장조직의 glucose - 6 - phosphate dehydrogenase (G6 PDH) 와 malic enzyme의 활성을 조사하였고, 비교군에는 콩기름, lard 및 쇠기름을 섭취시키고 魚油 섭취의 定量의 관계를 고찰하고자 魚油 함량을 총 먹이에 0 ~ 10% (w/w)로 변화시키고 이 때는 콩기름 또는 쇠기름으로 지방의 총량을 먹이무게의 10 (w/w)로 되게끔 조절하였다.

실험재료 및 방법

1) 실험동물 및 재료

실험동물은 체중 100g 정도의 흰쥐(male, Lewis 種 (실험 1과 2), Sprague - Dawley 種 (실험 3))를 사용하였고, 생화학용 시약은 Sigma Chemical Co. (St. Louis, Missouri, U.S.A)에서 lard, vitamin mix 와 Salt mix는 Bio - Serv Inc. (Frenchtown, N.J. U. S.A.)에서 魚油로 쓰인 고등어유와 장어유는 제일 사료 주식회사, 콩기름과 쇠기름은 시중에서 구입하였고 그 외 모든 시약들은 특급을 사용하였다.

2) 실험식이 조제 및 동물의 사육

(1) 실험 1

흰쥐 (Lewis 種)를 환경에 적응시키기 위해 일반 배합 사료 (제일사료 주식회사)로 3 일간 사육시킨 후, Table 1에 표시한 바와 같이 지방함량이 10% (w/w) 되는 식이조성을 가진 실험식이도 3, 6, 9, 13 일간 사육하였다. 식이지방으로는 고등어유 (mackerel oil), 장어유 (eel oil) 콩기름 (soybean oil), lard, 쇠기름 (beef tallow)을 사용하였고 이들의 지방산조성은 Table 2와 같다.

(2) 실험 2

기본 식이 조제는 실험 1에서와 같으며 고등어유와 lard를 혼합하여 총 지방함량을 10% (w/w)로 일정히 하되 고등어유의 함량에 따라 0, 0.5, 1, 2, 5 및 10%群으로 나누어 10 일간 사육하였다.

(3) 실험 3

실험 2와 같은 방법으로 콩기름과 쇠기름에 魚油를

Table 1. Composition of experimental diet

Component	g/100g
Starch	43
Sucrose	10
Glucose	10
Casein	20
Vitamin Mix ¹⁾	2
Salt Mix ²⁾	4
Cellulose	1
Fat or Oil	10

- 1) Vitamin fortification mixture obtained from Bioserv. Inc. Frenchtown, N.J., U.S.A., provided the following (per kg mixture); Vitamin A (200,000 I.U./g), 4.5g, Vitamin D(400,000 I.U./g), 0.25g, Alpha-tocopherol, 5g, Ascorbic acid, 45g, i-Inositol, 5g, Choline chloride, 75g, Menadione, 2.25g, P.A.B.A., 5g, Niacin, 4.5g, Riboflavin, 1.00g, pyridoxine HCl, 1.00g, Thiamin HCl, 1.00g, Ca pantothenate, 3.00g, Biotin, 20.00mg, Folic acid, 90.00mg, Vitamin B, 1.35mg.
- 2) Salt mixture used had following composition; (g per kg mixture) Ca, 5.9139, Cl, 7.6062, Cu, 0.03105, I, 0.0019, Fe, 0.0519, Mg, 0.49232, Mn, 0.0167, Mo, 0.0007 P, 3.9432, K, 4.9288, Se, 0.00023, Na, 4.9287, S, 6763, Zn, 0.0048, Ca : P (1.5 : 1).

- 魚油식이에 의한 흰쥐체내의 생화학적 변화연구(I)-

Table 2. Fatty acid composition of experimental fat and oils⁷⁾

Fatty acid ¹⁾	Mackerel oil	Eel oil	Soybean oil	Lard	Beef tallow
14 : 0	2.6	2.5	-	1.7	2.4
15 : 0	0.5	0.4	-	-	0.2
16 : 0	20.5	19.4	10.1	28.5	26.1
16 : 1	5.8	8.8	-	-	-
16 : 2	1.1	1.4	-	-	-
18 : 0	6.8	6.2	8.1	12.3	23.5
18 : 1	25.4	41.8	26.1	39.7	42.5
18 : 2	1.8	1.6	47.7	14.5	3.6
18 : 3	0.3	0.5	8.0	1.1	-
20 : 0	6.0	4.9	-	0.5	1.7
Unknown	2.6	2.0	-	-	-
22 : 1	7.4	0.8	-	1.8	-
24 : 1	1.5	6.8	-	-	-
Unknown	18.7	2.9	-	-	-

1) Carbon number : number of double bonds.

Table 3. Effects of various dietary fat and oils on growth of rats for two weeks¹⁾²⁾

Dietary Fat	Mackerel oil	Eel oil	Soybean oil	Lard	Beef tallow
Weight gain(g/day)	5.4 ± 0.1	5.8 ± 0.1	5.6 ± 0.1	5.1 ± 0.5	5.9 ± 0.1
Food intake(g/day)	18.1 ± 0.0	19.1 ± 0.1	17.6 ± 0.1	17.5 ± 0.9	20.1 ± 0.1
Weight gain	0.30	0.29	0.32	0.29	0.30
Food intake					

1) Average initial body weight of rats was 110g.

2) Values shown are means (15 rats) ± S.E.M.

각각 혼합해서 총지방 함량을 10%로 하고, 魚油의 함량에 따라 0, 2, 5, 10%群으로 흰쥐 (Sprague Dawley)를 나누어 2주간 사육하였다.

실험기간 중 먹이는 자유로 섭취시켰으며 그 섭취량은 매일, 체중은 격일로 오전 일정시간에 각각 측정하였다.

3) 분석시료의 조제

실험식이도 일정기간 사육한 다음 Pentobarbital로 마취시켜 복부를 절단하여 채취한 간장조직 약 0.5g 을 sucrose/EDTA (0.25 M/mM) 냉용액 (0~4°C)에서 잘게 짤라 혈액을 씻어 낸 다음 同冷용액 8 ml 를 가하여 Potter-Elvehjem homogenizer로 분쇄한 것을 600×g에서 10분간 냉동 원심분리한 후 그 상정액 (post-mitochondrial supernatant PMS)을 효소 활성의 측정시료로 사용하였다.

4) 효소활성도의 측정

Glucose-6-phosphate dehydrogenase의 활성은 Bergmeyer법¹⁴⁾에 의하였으며, Tris buffer (pH 7.4), 37mM, glucose-6-phosphate(disodium salt) 7.4mM, NADP 0.07mM, MgCl₂ 7.4mM을 함유하는 반응액 (2 ml)에 간장조직의 PMS 0.1 ml를 가하여 NADPH의 생성물을 double beam spectrophotometer (Shimadzu, UV-200)로 340nm에서 기록 측정하였다.

Malic enzyme의 활성은 Ochoa¹⁵⁾법에 따라 Triethanolamine (pH 7.4) 68mM L-malate (pH 7.4) 0.51 mM, MnCl₂ 4.7 mM, NADP 0.1mM을 함유하는 2ml의 반응액에 간장조직의 PMS 0.1 ml를 가하고 역시 생성되는 NADPH의 양을 기록 측정하였다.

5) 단백질定量

간장조직 PMS의 단백질량은 Lowry¹⁶⁾법에 의해 측정하였으며 bovine serum albumin (Fraction V)을 표준물질로 사용하였다.

6) 통제 처리법

결과의 유의도는 Students' t-test로 판정하였다.

실 험 결 과

1) 성장율

Table 3에 나타난 바와 같은 초기무게 100g 내외에서 실험기간동안 1일평균 증가량은 5.5g으로群간의 차이는 별로 없었으며 식이섭취량도 비슷하여 이들로부터 계산한 사료효율도 서로 0.3정도로 같은 값을 보여 주었다.

2) 食餌脂肪種類에 따른 간장조직내 Lipogenic enzyme의 활성도 변화

(1) Glucose-6-phosphate Dehydrogenase

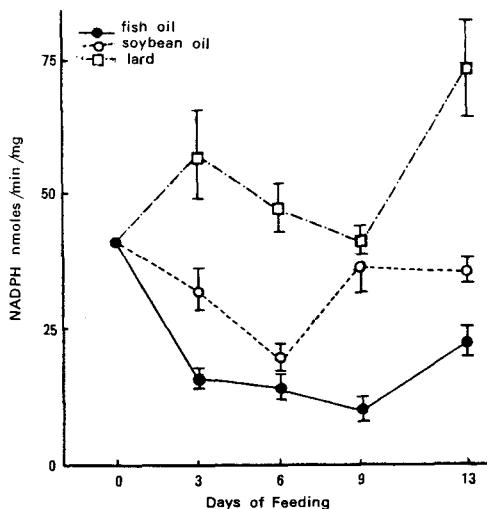


Fig. 1. Activities of hepatic glucos-6-phosphate dehydrogenase from rats fed experimental diet containing 10% various fats for 13 days (실험 1)

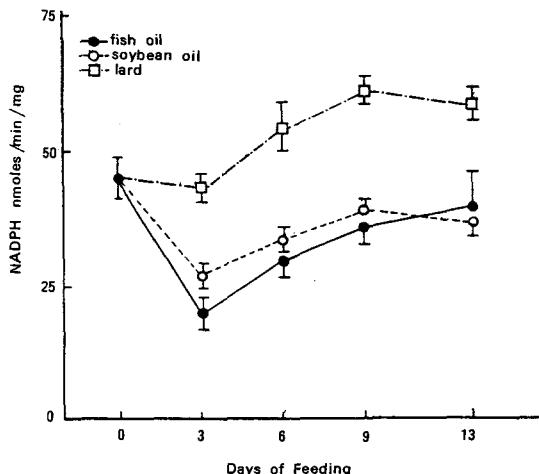


Fig. 2. Activities of hepatic malic enzyme from rats fed experimental diet containing 10% various fats for 13 days (실험 2).

서로 다른 실험지방(고등어유, 콩기름, lard)으로 약 2주간 사육한 흰쥐의 간장조직내 효소활성도는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 동물유인 lard군이 다른 두군에 비해 높은 값을 유지하였으며 魚油군과 콩기름군 식이 3일 만에 감소가 뚜렷하였고, 콩기름군이 6일 이후 9, 13일에 다시 증가하는데 반하여 魚油군은 나머지 기

Table 4. Effect of the level of dietary mackerel oil on hepatic enzyme activities after 10 days feeding(실험 2)

Group	Fish oil (%)	Glucose-6-phosphate dehydrogenase	Malic enzyme
		NADPH nmoles/min/mg protein	
	0	39.1 ± 3.1	59.7 ± 3.5
	0.5	37.7 ± 0.9	53.0 ± 2.7
	1	38.7 ± 4.3	53.3 ± 5.8
	2	33.7 ± 3.3*	56.8 ± 1.9*
	5	19.6 ± 2.9**	47.6 ± 4.6**
	10	13.5 ± 1.3**	37.6 ± 2.5**

* Significant at $p < 0.05$

** Significant at $p < 0.01$

Table 5. Effect of the level of dietary fish oil on activities of hepatic G6PDH after two-weeks feeding(실험 3).

Sources of Fish Oil	Levels of Fish Oil(%)	Filler Oil	
		Soybean Oil	Beef Tallow
		NADPH nmoles/min/mg protein	
	0	35.2 ± 0.9	90.7 ± 2.7
Eel Oil	2	26.3 ± 1.2*	34.3 ± 1.7
	5	18.7 ± 0.4*	25.6 ± 0.4*
	10 ^{a)}	15.4 ± 0.4*	
Mackerel Oil	2	24.4 ± 0.1*	39.7 ± 1.0*
	5	17.6 ± 1.3*	30.3 ± 0.5*
	10 ^{a)}	32.4 ± 2.7*	

a) 10% Fish oil with no filler oil.

* Significant at $p < 0.05$.

간동안 계속 낮은 활성을 유지하였다.

(2) Malic Enzyme

간장조직내 malic enzyme의 활성은(Fig. 2) 3일째에 魚油군과 콩기름군이 lard군에 비하여 50%정도 현저히 감소하였으며 그 이후 약간 증가하였으나 나머지 식이기간 동안 3일 섭취시 보여준 활성의 차이가 계속 유지되었다. 魚油군과 콩기름군간의 유의적인 차이는 없었다.

3) 魚油함량에 따른 간장조직내 Lipogenic Enzyme의 활성도변화

(1) Glucose-6-phosphate Dehydrogenase

魚油를 총먹이의 0.5~10%(W/W)로 변화시키며 lard(Table 4) 또는 콩기름, 쇠기름(Table 5)으로 식이지방을 10%로 일정하게 유지시켜 10일 내지 14일 섭취시켰을 때, 魚油의 함량이 2%일 때부터 효소의活性이 뚜렷이 감소하여 5%, 10%로 증가시켰을 때 지속적인 감소가 보여졌으나 실험 3의 조건에서 (Table 5) 10%의 고등어유군은 콩기름군과 차이가 나타나지 않았다. 이것은 실험재료에서 언급한대로 흰쥐의 strain의 차이에 기인하는 것으로 사료된다. 역시 실험 3의 조건에서 쇠기름군은 콩기름 및 두 종류의

Table 6. Effect of the level of dietary fish oil on activities of hepatic malic enzyme after two - weeks feeding (실험 3).

Sources of Fish Oil	Levels of Fish Oil (%)	Filler Oil		
		Soybean Oil	Beef Tallow	NADPH nmoles/min/mg protein
Eel Oil	0	61.3 ± 3.1	84.4 ± 1.1	
	2	44.3 ± 3.0*	49.4 ± 2.0*	
	5	22.8 ± 0.7*	45.9 ± 1.8*	
	10 ^{a)}	42.7 ± 0.9*		
Mackerel Oil	2	63.8 ± 2.5	67.2 ± 2.2	
	5	22.8 ± 0.7*	45.9 ± 1.8*	
	10 ^{a)}	55.5 ± 2.4		

a) 10 % Fish oil with no filler oil.

* Significant at p < 0.05.

魚油군에 비해 2~3배나 높았으며 魚油첨가시 감소율의 증가도 매우 컸다.

(2) Malic Enzyme

Glucose-6-phosphate dehydrogenase의 활성도 변화와 마찬가지 경향이었으나 감소율은 glucose-6-phosphate dehydrogenase 활성변화에 서보다 작았다. 장어유 (eel oil)를 魚油로 사용하였을 경우 (Table 6)는 2%의 魚油를 포함하였을 때부터 활성도 감소를 볼 수 있었으나 고등어油를 魚油로 사용하였을 때는 (Table 4와 Table 6) 魚油가 5% 포함되었을 때 뚜렷이 감소하였고 10%로 증가되어도 실험 3의 쓰여진 Spraue-Dawley strain의 쥐에서는 오히려 증가하여 콩기름 단독군이 갖는 활성을 나타나는 것이 특이하였다.

고 찰

본 연구결과를 고찰하면 食餌중의 魚油섭취가 lard 섭취보다 간장조직의 glucose-6-phosphate dehydrogenase와 malic enzyme의 활성도를 현저하게 낮추었다. 이러한 현상은 이미 前연구자들의 결과¹¹⁾와 일치하는 경향으로, 魚油의 높은 불포화도에 기인한다고 하겠다. 그러나 같은 불포화지방인 食物油군과 비교해 볼 때, 魚油군의 효소가 같거나 또는 더 낮았다는 것이 중요하며, 魚油食餌후 간장조직의 지방산합성효소 활성도가 이번 연구를 통하여 처음 측정되었다는 의미가 있다. 간장조직의 lipogenic enzyme들(glucose-6-phosphate dehydrogenase, malic enzyme, citrate lyase, fatty acid synthetase, acetyl CoA carboxylase)의 활성은 영양^{10~13, 17, 18)} 및 체내 hormone의 변화^{9, 19}로 효소단백질의 합성이 유도 또는 억제되며 apo-holoenz-

yme^{20, 21)}의 transformation을 통한 활성화도 일어난다고 제시되었다. Glucose-6-phosphate dehydrogenase와 malic enzyme은 inducible enzyme으로 효소단백질합성증가가 효소활성을 높이는 가장 중요한 요인이며, 따라서 효소의 specific activity는 식이에 따라 변화가 없음이 잘 알려져 있다²²⁾. 이 효소들의 활성은 絶食후 無脂肪-高炭水和物 식이時에 최대로 증가되며¹²⁾ 食餌內 지방첨가는 이러한 급격한 효소활성증가를 저해한다^{9~11)}. 대체로 식이를 바꾸면 2~3일 후에 새로운 steady-state에 이른다고 Tepperman²³⁾ 및 Gozukara²⁴⁾는 보고하였다. 본 실험결과에서도 魚油 및 식물유등의 불포화지방섭취로 효소활성도가 감소된 것을 식이 3일후에 뚜렷이 볼 수 있었고, 그 이후로는 대체로 낮은 수준이 유지됨을 알 수 있었다. 불포화지방중 polyunsaturated fatty acid의 양이 증가에 따라 효소활성이 dose-response curve를 그리며 감소하지만¹¹⁾ monounsaturated fat을 섭취시켰을 때는 포화지방보다 효소 활성이 현저히 낮아지는 않았다²²⁾. 본 실험에서 사용한 고등어油 및 장어유의 총불포화지방산 함유도가 50~60%로 콩기름의 75%보다 낮았으며 불포화지방의 구성에 monounsaturated fatty acid (C16: 1, C18: 1, C20: 1, C22: 1등) 가半 이상을 차지한다는 점을 고려할 때 魚油식이에 따른 효소활성강화 효과는 주목하여야 할 것으로 사료된다. 본 연구의 지방산분석 결과⁷⁾가 식이유지 내의 모든 지방산 종류와 함량을 분명히 밝히지는 못했지만, 他 연구자⁸⁾의 보고에서 魚油에는 여러 종류의 ω 3 지방산과 그 밖의 very long chain fatty acid가 다양하게 들어 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 특이지방산들의 단독적인 또는 종합적인 작용의 효과가 상당히 큰 것으로 간주된다. 세포내의 pool에 존재하는 유리지방산의 구성은 식이지방산과 체내 de novo synthesis 및 desaturation-elongation 등의 경로로서 생성되는 지방산의 양으로 결정된다. 그러므로 지방산 합성의 감소는 세포내 pool에 존재하는 지방산의 구성을 변화시키고 triglyceride 구성에도 변화를 초래 할 것이다. 이미 식물유 섭취시 간장 조직에서 동물유의 섭취시보다 지방합성을이 감소되었다는 보고²⁵⁾가 있어 합성되는 지방량과 구성지방의 차이가 lipoprotein 형성시 apoprotein에 대한 친화력에 차이를 가져와 혈액으로 분비되는 lipoprotein pattern 변화를 주는 要因이 될 수 있다고 있다는 사료되는 바이다.

요 약

魚油食餌가 간장조직내 lipogenic enzyme의 활성도에 미치는 영향을 조사하고자 고등어유를 食餌의 10% (w/w) 되게 먹이를 조제하여 13일동안 사용한 흰쥐의 간장조직의 glucose-6-phosphate dehydrogenase와 malic enzyme의 활성도는 lard를 섭취한 群보다 3~6일의 섭취로 훨씬 저하되었으며 콩기름에 비하여는 같거나 또는 약간 낮은 값을 보였다. 고등어 또는 장어유를 魚油로 사용하여 먹이의 0~10%로 함량을 변화시키며 총지방량을 10%로 일정히 하고자 콩기름 또는 쇠기름을 배합유로 사용하였을 때 glucose-6-phosphate dehydrogenase의 활성은 魚油가 2% 포함하였을 때부터 malic enzyme의 활성은 5% 포함하였을 때, 魚油를 포함하지 않은 群에 비하여 감소를 보였다.

REFERENCES

- 1) Shore, V.G., Kraus, R.M., Butterfield G., Deshaies, Y., & Lindgren, F.T.: Effects of dietary polyunsaturated : saturated fat ratio of human serum lipoproteins. *Arteriosclerosis* 1:386a, 1981.
- 2) Becker, N., Illingworth, D.R., Alaupovic, P., Connor, W.E., & Sundberg, E.S.: Effects of saturated, monounsaturated, and w -6 polyunsaturated fatty acids on plasma lipids, lipoproteins, and apoproteins in humans. *Am. J. Clin Nutr.* 37 : 355 - 360, 1983.
- 3) Steinberg, L.Y., Mauldin, R.E. & Mathaias, M. M.: The Effect of dietary lipids on clotting times and rat serum and urine prostaglandin concentrations. In : *Essential Fatty Acids and prostaglandins*, ed. Holman. R.T. pp485 - 490 *Pergamon press, New York*, 1982.
- 4) Innis, S.M., & Clandinin, M.T.: Dynamic modulation of mitochondrial inner - membrane lipids in rat heart by dietary fat. *Biochem. J.* 193 : 155 -167, 1981.
- 5) Von Lossonczy, T.O., Ruiter, A., Bronsgeest-Schoutte, H.C., Van Gent, C.M. and Hermus, R.J.J.: The effect of a fish diet on serum lipid in healthy human subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* 31 : 1340 -1346, 1978.
- 6) Innami, S.: *Hyperlipidemia and Diet : Function of polyunsaturated fatty acid w3 series*, *Human Science*, 4 : 795 -802, 1980.
- 7) 임정교·조성희 : 식이지방의 흰쥐의 혈청 지질 상태 및 조직지방산 분포에 미치는 영향. *한국영향학회지* 16(1): 10 -20, 1983.
- 8) Ackman, R.G.: *Fatty acid composition of Fish Oils in Nutritional Evaluation of Long-chain Fatty Acids in Fish oil*, Barlow, S.M. & Stansby, M.E. eds., pp.25-88, Academic Press 1982.
- 9) Gibson, D.M., Lyons, R.T., Scott, D.F. & Muto, Y.: *Synthesis and degradation of the lipogenic enzyme of rat liver*, *Adv. Enz. Reg.* 10: 187 -204, 1972.
- 10) Slayton, C.A. & Szepesi, B.: *The role of a high fat diet in the repression of two rat liver enzymes*. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 144: 876 -881, 1973.
- 11) Carrozza, G., Livrea, G., Caponetti, R. & Manasseri, L.: *Responses of rat hepatic fatty acid synthesis and activities of related enzymes to changes in level of dietary fat*. *J. Nutr.* 109 : 162 -170, 1979.
- 12) Muto, Y. & Gibson, D.M.: *Selective dampening of lipogenic enzymes of liver by exogenous polyunsaturated fatty acids*. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 38 : 9 -15, 1970.
- 13) Musch, K., Ojakian, M.A. & Williams, M.A.: Comparison of γ -linolenate and oleate in lowering activity of lipogenic enzymes in rat liver: Evidence for a greater effect of dietary linolenate independent of food and carbohydrate intake. *Biochim. Biophys. Acta* 337, 343 - 348, 1974.
- 14) Bergmeyer, H.U., in Methods of enzymatic analysis, Bergmeyer, H.U. ed.: *2nd English Ed.*, 458 -459, Academic Press, Inc. New York and London 1974.
- 15) Ochoa, S., in Methods in Enzymology, Lowenstein, J.M. ed.: *13* : 230 -237, Academic Press, Inc., New York, 1969.
- 16) Lowry, O.H., Rosebrough, W.J., Farr, A.L. & Randall, R.J.: *Protein measurement with Folin phenol reagent*, *J. Biol. chem.* 93 : 265-275, 1957.
- 17) Niemeyer, H., Clark-Turri, L., Garces, E. &

- Vergara, F.E. : Selective response of liver enzymes to the administration of different diets after fasting. *Arch. Biochem. Biophys.* 98 : 77-85, 1962.
- 18) Baldwin, R.L., Ronning, M., Radanories, C. & Plange, G : Effect of carbohydrate and fat intakes upon the activities of several liver enzymes in rats, guinea pigs, piglets and calves. *J. Nutr.* 90 : 47-55, 1966.
- 19) Novello, F., Guama, J.A. & Mclean, P. : The pentose phosphate pathway and glucose metabolism. Hormonal and dietary control of the oxidative and non-oxidative reactions of the cycle in liver. *Biochem. J.* 111 : 713-725, 1969.
- 20) Volpe, J.J. & Vagelos, P.R. : Mechanisms and regulation of biosynthesis of saturated fatty acids. *Physiol. Rev.* 56 : 339-419, 1976.
- 21) Bloch, K. & Vance, D. : Control mechanisms in the synthesis of saturated fatty acids. *Ann. Rev. Biochem.* 46 : 263-298, 1977.
- 22) Schwartz, R.S. & Abraham, S. : The effect of dietary fat on the activity, content, rates of synthesis, and degradation and translation of messenger RNA coding for malic enzyme in mouse liver. *Arch. Biochem. Biophys.* 221:206-215, 1983.
- 23) Tepperman, H.M., & Tepperman, J. : On the response of hepatic glucose-6-phosphate dehydrogenase activity to changes in diet composition and food intake pattern. *Adv. Enz. Reg.* 1 : 121-136, 1963.
- 24) Gozukara, E.M., Frolich, M. & Hotten, D. : The effect of unsaturated fatty acids on the rate of synthesis of rat liver glucose-6-phosphate dehydrogenase. *Biochim. Biophys. Acta* 286 : 155-163, 1972.
- 25) Irritani, N. & Fukuda, E. : Effect of corn oil feeding on triglyceride synthesis in the rat. *J. Nutr.* 110 : 1138-1143, 1980.