

魚油식이에 의한 흰쥐체내의 생화학적 변화연구(Ⅱ)

— Lipoprotein Lipase 활성과 미토콘드리아 호흡계의 변화 —

하태열 · 정승운 · 임정교 · 조성희*

효성여자대학교 가정대학 식품영양학과

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

— Changes in Lipoprotein Lipase Activity and Mitochondrial Respiration and Structure —

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

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

=ABSTRACT=

The effect of dietary fish oil (mackerel oil : MO, eel oil : EO) on energy utilization in rats was studied with measurements of various tissue lipoprotein lipase (LPL) and liver and heart mitochondrial respiration. Fatty acid composition of mitochondrial inner membrane matrix was also investigated. Dietary fat level was 10% (w/w) and reference groups were fed soybean oil (SO), repeseed oil (RO) and beef tallow (BT).

Activity of LPL was about 60% higher in post-heparin plasma and 2 to 3 times higher in adipose tissue of BT group than fish oil or vegetable oil group. But there was no significant difference between fish oil and vegetable oil groups.

Inclusion of EO above 2% (w/w) in dietary fat with filler oil of BT, markedly reduced both post-heparin plasma and adipose tissue LPL. Effects of MO and EO were not different in adipose tissue LPL, but EO was more effective than MO, in reducing post-heparin plasma LPL when mixed fat with varying amount of fish oil was used.

Hepatic mitochondria isolated from fish oil-fed group showed the lowest rate of respiration but had P/O ratio comparable to SO and BT groups. On the other hand, cardiac mitochondria of fish oil group showed no difference in all the mitochondrial respiration parameters observed. RO group had lowest P/O ratio both in hepatic and cardiac mitochondria. Fatty acid compositions of mitochondrial lipid differ between SO, RO, BT and MO groups, notably in the content of C_{22:1} fatty acid.

* 한국과학재단 연구비보조로 이루어짐.

접수일자 : 1984년 9월 28일.

서 론

식이지방의 구성지방산은 지질대사관련 효소들의 활성을 변화시켜 조직내의 각종 유리 지방산의 pool size의 차이를 초래하여 합성되는 지질의 지방산에 그 구성지방산의 반영도가 비교적 빠른 시일 내에 크게 또는 작게 나타나고 있다^{1~7)}. 식이지방에 따른 세포막 인지질의 구성 변화는 막의 기능인 효소계⁸⁾ 및 hormone receptor 등⁹⁾의 작용에 영향을 미쳐 이로 인한 지질대사의 2차적인 변화가 특이지방에 대해 우호적으로 표현되어 나타나기도 한다. 세포내의 유리지방산의 pool은 식이에서 오는 지방산의 산화속도, elongation-desaturation의 정도, de novo synthesis, 그 외의 지방산의 utilization 정도에 따라 결정되며 식이에서 섭취된 식물유 및 어유는 특히 lipogenic enzyme을 감소시켜¹⁰⁾ 지방의 de novo synthesis량이 저하되고 경화魚油 식이가 desaturase 활성을 감소한다¹¹⁾고 보고되었다.

Erucic acid($C_{22:1}$)가 특이하게 많이 포함된 채종유의 섭취는 심장내의 지상축적¹²⁾을 가져온다는 것은 잘 알려진 사실이며 erucyl CoA의 늦은 산화속도¹³⁾가 전체 지방산의 산화를 지연시켜 지방의 합성으로 유도된다고 설명되고 있으나 mitochondrial membrane 지질변화⁵⁾에 따른 전반적인 에너지 생산계의 속도차이도 이유로 지적된다. 반면 Small 등¹⁴⁾과 Connock 등¹⁵⁾에 의하여 발견된 peroxisome의 지방산 산화 효소들은 채종유 섭취로 저하된 mitochondria의 지방산 산화를 보완하여 줄 수 있는 가능성도 시사하고 있다¹⁶⁾.

魚油에도 erucic acid의 이성체로 사료되는 $C_{22:1}$ 의 지방산이 상당량 있어⁶⁾ 魚油식이에 따른 체지질대사 변화가 흥미롭고, 또한 필수지방산의 개념이 단순히 항피부병인자나 성장요인으로부터, 체내 지질대사의 평형을 유지시키는 식이지방의 구성으로 확대되어감에 따라 魚油에 포함된 여러 종류의 지방산의 체내 변화가 주목되며 특히 w3계열의 지방산의 종합적인 영양평가에 魚油식이 실험의 의의가 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 魚油식이에서 체내지방산의 유용에 관계되는 요인의 변화를 관찰하고자 혈청 및 조직의 lipoprotein lipase의 활성을 측정하고 간장 및 심장조직 mitochondria 산화능력을 조사하고, 동시에 mitochondria inner membrane 분획 지질의 지방산 조성을 분석하였다. 魚油에 대한 비교군으로 콩기름, 채종유 및 쇠기름을 사용하여 서로 다른 지방간의 차이를 보았다.

실험재료 및 방법

1) 실험재료

실험동물은 Sprague-Dawley 종의 체중 110g 내외의 흰쥐 숫컷을 사용하였고, 실험식이조제에 사용된 vitamin mix와 salt mix는 Bio-Serv(Frenchtown, N.J. U.S.A.)에서, 생화학용 시약은 Sigma Chemical Co.에서 기타 일반시약은 특급을 사용하였다. 식이지방으로 사용한 고등어유는 시중에서 신선한 고등어를 구입하여 익힌 후 압착기에 의하여 짠 다음 상층에 분리된 기름부분을 채취하여 사용하였고, 콩기름, 채종유 및 쇠기름은 시중에서 구입하였고, 장어유는 제일사료주식회사에서 구입하였다.

2) 실험식이조제 및 동물의 사육

구입한 흰쥐를 한 cage 당 2마리씩 넣고 환경에 적응시키기 위해 3일간은 일반 배합사료(제일사료주식회사)를 공급한 후 식이지방의 함량을 10% (w/w)로 하는 앞의 논문과 같은 구성¹⁰⁾을 가진 식이를 조제하여 2주간 사육하였다. 실험지방에 따라 고등어유(mackerel oil), 장어유(eel oil), 콩기름(soybean oil), 채종유(rapeseed oil)와 쇠기름(beef tallow)군으로 나누고, 魚油함량을 변화시킬 때 filler oil은 beef tallow를 사용하여, 역시 앞의 논문과 마찬가지로 魚油함량에 따라 0, 2, 5, 10% 군으로 나누어 사육하였다. 실험유지의 지방산 조성은 Table 1과 같다.

3) Lipoprotein lipase활성도 측정¹⁷⁾

실험동물의 꼬리정맥에 2500 unit heparin을 투여한 후 곧 pentobarbital로 마취시켜 10~15분 뒤에 심장을 절제하여 얻게 되는 혈액을 sodium citrate가 들어 있는 tube에 신속히 채취하여 냉동 원심분리(4000rpm)함으로 혈장(post-heparin plasma)을 얻었다. 심장과 지방조직(1g 정도)을 절취하여 0.025M NH₃/NH₄Cl(pH 8.1) 냉용액 2ml을 가한 후 Potter-Elvehjem homogenizer로 분쇄하여 역시 lipoprotein lipase의 분석시료로 사용하였다.

효소활성 측정을 위한 기질은 triolein(0.2g)을 lecithin(1.5mM, 10ml)을 가하여 ultrasonication으로 분산시킨 후 62°C에서 처리한 혈청을 동량 가함으로써 제조되었다. 효소 반응은 20% albumin(pH 8.5) 0.4ml, 0.5 M(NH₄)₂SO₄ 0.1ml과 앞서 제조한 기질 0.1ml을 혼합하여 효소분석시료 0.2ml을 가한 후 총용량을 1ml로 조정하여 37°C에서 1시간동안 incubation시킴으로 수행되

Table 1. Fatty acid composition of experimental fat and oil

(unit: %)

Fatty acid ¹	Makerel oil	Eel oil	Soybean oil	Rapeseed oil	Beef tallow
14 : 0	2.6	2.5	-	1.0	2.4
15 : 0	0.5	0.4	-	-	0.2
16 : 0	20.5	19.4	10.1	3.3	26.1
16 : 1	5.8	8.8	-	-	-
16 : 2	1.1	1.4	-	-	-
18 : 0	6.8	6.2	8.1	0.7	23.5
18 : 1	25.4	41.8	26.1	18.8	42.5
18 : 2	1.8	1.6	47.7	12.6	3.6
18 : 3	0.3	0.5	8.0	6.8	-
20 : 0	6.0	4.9	-	9.6	1.7
Unknown	2.6	2.0	-	-	-
22 : 1	7.4	0.8	-	47.2	-
24 : 1	1.5	6.8	-	-	-
Unknown	18.7	2.9	-	-	-

¹ Carbon number: number of double bonds.

고 이 때 생성되는 glycerol의 양을 chromotropic acid로 발색시켜 570nm에서 비색정량하였다.

4) Mitochondria 및 Inner Membrane Matrix Fraction 분리^{18,19)}

간장조직은 sucrose/EDTA(0.25mM/1mM)¹⁸⁾ 심장조직은 sucrose/EDTA(0.25mM/10mM)¹⁹⁾ 냉용액(0~4°C)에서 절게 자르고 서너차례 셋어 혈액을 없앤 후 homogenize하여 600×g에서 5분간 냉동원심분리하여 얻은 상정액을 다시 12,000×g에서 10분간 냉동원심분리하여 mitochondria분획을 얻고, 다시 상기의 냉용액으로 분산시켜 wash 한 후 8,800×g에서 원심분리하여 얻은 갈색의 mitochondrial pellet을 소량의 용액에 분산시켜 respiration조사에 사용하였다. 일부의 mitochondrial 분산액(mitochondrial protein 50mg/ml)에 digitonin 용액(2% w/v digitonin, 220mM D-mannitol, 70mM sucrose, 2mM N-2-hydroxylethyl-piperazine-N'-ethane sulfuric acid, 0.05% BSA, pH 7.4)을 가하여 0°C에서 15분간 mixing함으로써 처리한 후, 회석하여 9,600×g에서 두번 10분간 원심분리하여 침전 시킴으로써 mitochondrial inner membrane matrix fraction 을 얻었다.

4) Mitochondrial Respiration 측정^{3,19)}

Mitochondria의 산소소모량 및 respiration 지수는 Gilson oxygraph(Model 5/6 H)에 의하여 37°C에서 측정하였다. 기본 respiration medium은 15mM KCl, 30mM K-Pi, 25mM TRIS(pH 7.4), 45mM sucrose, 10mM mannitol, 5mM MgCl₂, 7mM EDTA, 0.2% w/v albumin, 20mM glucose, 0.015mM cytochrome C, 0.5mM NAD를 포함하였으며 기질로는 10mM pyruvate plus 2 mM malate를 사용하여 총용량 2ml 내에서 수행되었다. Respiration은 기본 medium을 37°C로 정형시킨 후 0.5~1.0mg의 단백질을 포함하는 mitochondrial suspension을 가하고, 기질 그 다음 220nmole의 ADP를 첨가함으로 state 3 respiration을 일으키고 ADP가 다소모된 후 state 4 respiration을 계속 측정하였다. P/O ratio는 첫번째 state 3 respiration에서, 또 RC(respiratory control)은 state 3와 state 4의 respiration 율의 비로써 조사되고, 이때 산소의 용해도는 37°C에서 0.39 μg/ml로 측정하였다²⁰⁾. 단백질의 측정은 Lowry법²¹⁾을 따랐다.

6) 식이지방 및 mitochondrial inner membrane matrix 분획의 지방산구성 측정

식이지방은 그대로, mitochondrial inner membra-

Table 2. Effect of dietary fat and oil on activities of lipoprotein lipase in plasma and adipose tissue after two-week feeding

	Mackerel oil	Eel oil	Soybean oil	Rapeseed oil	Beef Tallow
nmoles glycerol/mg protein/hr					
Plasma	16.1 ± 0.7 ^a	16.0 ± 1.0 ^a	20.2 ± 1.1 ^b	14.5 ± 1.0 ^a	24.8 ± 0.9 ^c
Adipose tissue	243.7 ± 9.0 ^a	294.0 ± 21.1 ^a	255.0 ± 13.6 ^a	454.7 ± 16.6 ^b	811.5 ± 26.9 ^c
Heart(2)	80 - 95	42 - 90	66 - 93	24 - 101	115 - 130

a, b, c: Values within a row not sharing with the same superscripts, are significantly different each other at $p < 0.05$.

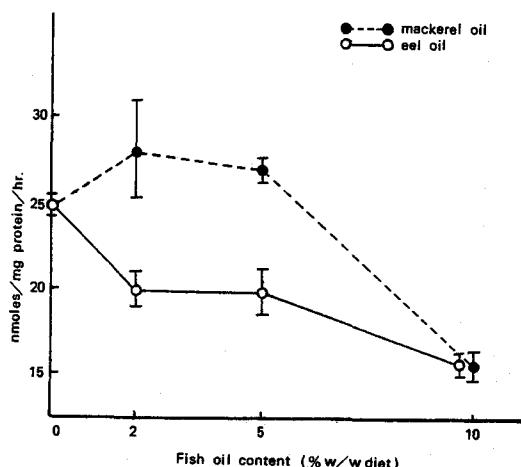


Fig. 1. Changes in post-heparin plasma lipoprotein lipase activity of rats fed different levels of mackerel oil or eel oil. Beef Tallow was used as filler oil to have 10% fat in diet.

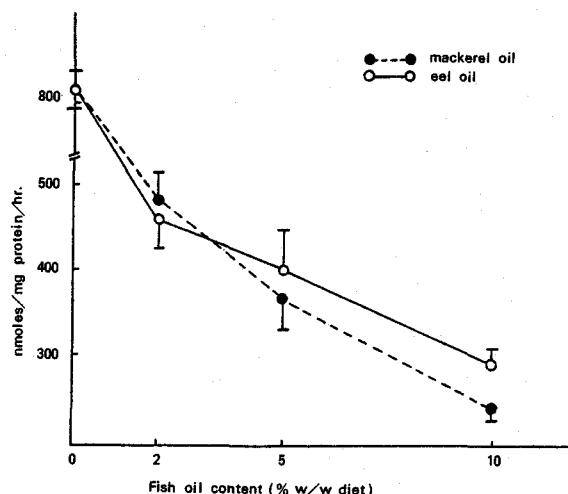


Fig. 2. Changes in adipose tissue lipoprotein lipase activity of rats fed different levels of mackerel oil or eel oil. Conditions were same as described in Fig. 1.

ne matrix 분획 (약 3%의 분산액)은 Folch 법²²에 의하여 지질을 추출 정제한 후 methylation¹⁰ 시켜 petroleum ether로 추출한 것을 수차례 세척하여 얻은 시료를 gas-chromatography로 정량 분석하였다.

7) 통계 처리

실험 분석의 유의도는 Students't-test로 판정하였다.

실 험 결 과

1) Lipoprotein lipase 활성도

실험 식이가 끝난 후 얻은 post-heparin plasma lipoprotein lipase의 활성은 Table 2에 표시한 바와 같이 쇠기름군이 가장 높고, 콩기름, 魚油군, 채종유군들

은 서로 비슷하며 쇠기름군의 활성에 약 60% 수준이었다. 지방조직의 활성도는 그 차이가 상당하여 쇠기름군이 쇠물유 및 어유군에 비해 2~3배가 높았다. 심장조직의 효소활성은 측정수가 적어 분명히 말하기는 어렵우나 대체로 쇠기름이 높았고, 고등어유군이 그 다음의 수준으로 혈장 및 지방조직에서 발견한 만큼의 차이는 없었다고 보겠다.

쇠기름과 어유를 배합한 혼합유에서 魚油 함량을 총여이의 0, 2, 5, 10%로 증가시켰을 때의 혈장 lipoprotein lipase 활성도 변화가 Fig. 1에서 보여준다. 장어유를 魚油로 사용하였을 때는 魚油의 양이 2%일 때부터 활성이 저하되었으나 고등어유를 사용하는 배합유에서는 쇠기름 단일군 (어유함량 0%)에 비해 활성변화가 없이 고등어유 단일 존재시에만 낮았다. 지방조직의 효소의 활

Table 3. Oxidative activity of hepatic and cardiac mitochondria isolated from rats fed SO, RO, BT or MO

Diet	Rate of oxygen uptake		Respiratory Control	P/O Ratio	ATP Synthesized
	State 3	State 4			
	ng atom O/mg protein/min			nmole/mg protein/min	
Liver	SO	58.9 ± 7.0 ^a	15.5	3.81 ± 0.52	2.39 ± 0.22 ^a 141
	RO	57.9 ± 14.8 ^a	21.4	2.70 ± 0.18	2.22 ± 0.04 ^b 129
	BT	40.6 ± 5.1 ^b	13.1	3.11 ± 0.36	2.32 ± 0.12 ^a 94
	MO	33.7 ± 5.1 ^b	9.6	3.52 ± 0.04	2.78 ± 0.31 ^a 94
Heart	SO	332 ± 50	82	4.04 ± 0.30 ^a	2.66 ± 0.24 883
	RO	370 ± 65	74	4.98 ± 0.40 ^a	2.26 ± 0.20 836
	BT	310 ± 23	63	4.90 ± 0.44 ^a	2.68 ± 0.25 831
	MO	351 ± 44	57	6.11 ± 0.52	2.51 ± 0.23 881

SO: soybean oil, RO: rapeseed oil, BT: beef tallow, MO: mackerel oil.

a, b: Values within a row not sharing with the same superscripts, are significantly different each other at p < 0.05.

Table 4. Relative fatty acid composition of lipid extracted from hepatic and cardiac mitochondria inner membrane matrix of rats fed SO, RO, BT or MO

Fatty acid ¹ (%w/w)	LIVER				HEART			
	SO	RO	BT	MO	SO	RO	BT	MO
12:0	0.7	0.5	0.2	0.7	1.1	0.9	1.9	0.6
14:0	2.0	0.9	2.3	2.2	2.9	2.1	2.1	4.2
16:0	24.1 ^a	15.4 ^b	16.6 ^b	18.6 ^a	15.4	10.6	11.9	14.9
16:1	0.9	-	-	0.7	0.6	0.7	1.0	0.4
18:0	38.0	42.0	43.3	39.1	38.7	44.7	40.6	33.7
18:1	10.1 ^a	20.2 ^b	19.2 ^b	18.9 ^b	10.4 ^a	18.1 ^b	16.3 ^b	19.8 ^b
18:2	13.3 ^a	6.9 ^b	10.3 ^a	7.1 ^b	22.0 ^a	10.2 ^b	18.1 ^a	16.5 ^b
18:3	-	-	-	tra.	0.3	1.6	-	-
20:0	-	-	-	0.4	tra.	tra.	0.3	-
20:4	8.1 ^a	10.6 ^b	6.3 ^a	5.9 ^a	6.6	5.1	4.4	5.4
22:1	-	-	-	0.7	-	1.5	-	-
Unknowns	2.8	3.5	1.8	5.7	3.0	4.5	3.4	4.5

¹ Carbon number : number of double bonds.

SO: soybean oil, RO: rapeseed oil, BT: beef tallow, MO: mackerel oil.

a, b: Values within a row not sharing with the same superscripts are significantly different each other at p < 0.05.

성(Fig. 2)은 어유의 종류에 관계없이 함량이 2%일 때부터 뚜렷이 저하되고 있음을 보였다.

2) Mitochondrial Respiration

Mitochondria 조사실험에서는 魚油로 MO군만 사용하고 비교군들은 SO, RO, BT 군들을 모두 사용하였다. 이렇게 4종류의 다른 식이지방을 섭취한 쥐들의 간

장조직과 심장조직에서 분리한 mitochondria의 산화기능이 Table 3에 나타나 있다. 콩기름(SO)군 및 채종유(RO)군에 비해 쇠기름(BT)군과 고등어(MO)군이 간장조직의 state 3 및 state 4 respiration이 낮았으나 심장조직에서는 비슷하였다. 심장 mitochondria의 RC(respiratory control) 지수가 Clandinin³⁾ 및 Blomst-

rand²⁷) 보다 약간 높은 값을 가졌지만, 본 실험에서 사용한 mitochondrial protein이 그들의 것보다 높기 때문으로 간주된다. 간장 mitochondria의 RC 값이 채종유균이 낮았고, 심장 mitochondria의 RC 값은 고등어유균이 특히 높았다. 두 조직 모두에서 채종유균의 P/O가 뚜렷히 낮았지만 고등어유균은 비교적 높은 값을 유지하였다.

3) Mitochondrial Inner Membrane 지질의 지방산 조성

간장 및 심장조직 mitochondria의 inner membrane matrix 부분의 지질 구성 지방산의 조성(Table 4) 도 전체 조직지질의 지방산 조성⁶과 마찬가지로 식이지방의 구성이 어느정도 반영되어 콩기름군에서 linoleic acid, arachidonic acid가 높았고 C_{22:1} 지방산이 고등어유균에서는 간장조직 mitochondria에, 채종유균은 심장조직 mitochondria에서 주로 발견되는 점도 일치하는 점이다. 구성 지방산의 P/S ratio는 간장조직이 0.49~0.57, 심장조직 0.64~0.79로 큰 차이는 발견할 수 없었으나 oleic acid 함량이 콩기름군과 다른 식이지방군간에 상당히 커졌다.

고 찰

섭취된 지방은 혈관 및 조직세포막에 존재하는 lipoprotein lipase에 의하여 조직내로 전입하지만 지방조직 효소가 insulin²⁸에 의하여 활성이 증가되는 반면 post heparin plasma lipoprotein lipase 및 심장조직 효소는 insulin/glucagon 비율이 낮을 때 증가한다고 알려져 있다^{24,25}. 포화지방산 함량이 높은 쇠기름군이 대체로 모든 조직의 lipoprotein lipase 수준을 증가시켰으며 지방조직의 효소활성이 콩기름 및 어유에 비해 2~3배인데 반하여 post-heparin plasma lipoprotein lipase나 심장조직효소에서 차이는 1.6배 미만에 그쳐 포화지방의 섭취는 체내 지질대사를 lipogenic state로 유도한다고 판단할 수 있으며 이것은 앞서 논문의 쇠기름군의 간장조직 lipogenic enzyme 활성이 높았던 것¹⁰과 같은 방향으로 간주할 수 있겠다. 魚油와 식물유균간의 lipoprotein lipase 활성도는 뚜렷하지 않아 이 효소의 활성도에 미치는 식이지방의 영향이 단순히 불포화도의 문제로 해석할 수 있겠으나 특이지방산의 specific action도 배제할 수 없다.

魚油군은 간장조직 mitochondria에서만 다소 respiration이 낮았으나 P/O ratio는 간장 및 심장조직 모두

에서 높은 수준을 유지하여 energy coupling system은 콩기름, 쇠기름군과 같은 효율로 작용하는 것이 채종유균의 낮은 P/O ratio와 대조를 이룬다. 이것은 심장 mitochondrial inner membrane 인지질에 C_{22:1} 지방산이 魚油군에서는 채종유균과 같이 뚜렷히 발견되지 않고 간장조직에서 발견되었다는 점과 연관이 있는 듯 하다. 채종유와 魚油에서 발견되는 C_{22:1} 지방산은 서로 이성체(positional isomer), 채종유 C_{22:1} ω9, 고등어유 C_{22:1}, ω11 일 가능성이 높아 이성체간의 조직 특이성을 보여준다 하겠다. 콩기름군이 타유지군에 비해 oleic acid(C_{18:1}) 함량이 현저히 낮았으나 oleic acid(C_{18:1}) 함량과 측정한 respiration 지수간에는 연관을 맺기 어려운 점은 plasma membrane의 adenylate cyclase 활성과 membrane 인지질 내의 oleic acid 함량과의 정비례관계를 보고²⁶ 한 결과와 상이하나 서로 다른 호소계이므로 직접 비교는 어렵다 하겠다.

Respiratory control 지수가 mitochondrial inner membrane 인지질의 P/S ratio와 약간의 관련이 있는 듯 하나 지방산의 좀더 상세한 분석을 통하여 본 연구에서 검출하지 못한 미량의 많은 지방산을 정확히 정량함으로써 확실한 상관관계를 찾을 수 있는 것으로 사료되며, 다른 계열의 지방산(ω3, ω6, ω9)^{5,7,27}, membrane 인지질간의 비, 그리고 cholesterol 함량⁹도 조사해야 할 과제로 남아있다.

요 약

다섯 종류의 실험유지로 고등어유, 장어유, 콩기름, 채종유 및 쇠기름을 사용하여 면이의 10%(w/w)되는 조제식이를 2주간 훈취에게 시행하여, 혈장, 심장, 지방조직의 lipoprotein lipase의 활성도, mitochondrial respiration 측정하고, mitochondrial membrane matrix 지질의 지방산구성을 조사하였다.

Lipoprotein lipase의 활성은 혈장에서는 쇠기름군이 식물유 및 어유군에 비해 약 60%정도 높고, 지방조직에서는 거의 3배가량 높았으나, 식물유와 어유군 간에는 차이가 없었다.

각 군간에 mitochondrial respiration율은 심장조직에서는 차이가 별로 없었고, 채종유군이 P/O ratio가 심장, 간장조직에서 모두 낮았고 魚油군의 간장조직 mitochondrial respiration이 타조직에 비해 낮았다.

Mitochondrial inner membrane matrix 분획의 지질 지방산조성은 콩기름군에서 C_{18:2}, C_{20:4} 함량이 높고 고등어유군은 C_{22:1}가 간장조직에서 발견되는 반면 채종

유군은 동일 지방산이 심장 mitochondria에서 발견되었다.

REFERENCES

- 1) Ruiter, A. & Jongbleod, A.W.: *The influence of dietary mackerel oil on the condition of organs and on blood lipid composition in the growing pig*. Am. J. Clin. Nutr. 31: 2159-2166, 1978.
- 2) Von Lossonczy, T.O., Ruiter, A., Bronsgeest-Schoutte, H.C., Van Gent, C.M. & 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.
- 3) Clandinin, M.T.: *The role of dietary long chain fatty acids in mitochondrial structure and function. Effects on rat cardiac mitochondrial respiration*. J. Nutr. 108: 273-281, 1978.
- 4) Opstvedt, J., Svaar, H., Hansen, P., Pettersen, J., Langmark, F.T. & Barlow, S.M.: *Comparison of lipid status in the hearts of piglets and rats on short term feeding of marine oils and rapeseed oils*. Lipids 14: 356-371, 1979.
- 5) Innis, S.M., & Clandinin, M.T.: *Dynamic modulation of mitochondrial inner-membrane lipids in rat heart by dietary fat*. Biochem. J. 198: 155-167, 1981.
- 6) 임정교·조성희: *식이지방이 흰쥐의 혈청 지질상태 및 조직지방산 분포에 미치는 영향*. 한국영양학회지, 16(1): 10-20, 1983.
- 7) Blomstrand, R. and Svensson, L.: *The effects of partially hydrogenated marine oils on the mitochondrial function and membrane phospholipid fatty acids in rat heart*. Lipids 18: 151-170, 1983.
- 8) Innis, S.M. & Clandinin, M.T.: *Dynamic modulation of mitochondrial membrane physical properties and ATPase activity by diet lipid*. Biochem. J. 198: 167-175, 1981.
- 9) Foot, M., Cruz, T.F. & Clandinin, M.T.: *Influence of dietary fat on the lipid composition of rat brain synaptosomal and microsomal membranes*. Biochem. J. 208: 631-640, 1982.
- 10) 정승은·하태열·임정교·조성희: *魚油식이에 의한 흰쥐체내의 생화학적 변화 연구 (I), 간장조직내 지방합성효소의 변화*. 한국영양학회지 (예 제출), 1984.
- 11) Svensson, L.: *The effect of dietary partially hydrogenated marine oils on desaturation of fatty acids in rat liver microsome*. Lipids 18: 171-178, 1983.
- 12) Abdellatif, A.M.M.: *Cardiopathogenic effects of dietary rapeseed oil*. Nutr. Rev. 30: 2-6, 1972.
- 13) Christoffersen, B.O. & Christiansen, R.Z.: *Studies on the mechanism of the inhibitory effects of erucylcarnitine in rat heart mitochondria*. Biochim. Biophys. Acta 388: 402-412, 1975.
- 14) Small, G.M., Burdett, K., and Connock: *Localization of carnitine acyltransferases and acyl-CoA β -oxidation enzymes in small intestinal microperoxisome of normal and clofibrate treated mice*. Biochem. Int. 7: 263-272, 1983.
- 15) Connock, M.J. & Perry, S.R.: *Detection of acyl-CoA oxidation enzymes in peroxisomes of mouse heart*. Biochem. Int. 6: 545-551, 1983.
- 16) Norseth, J. & Thomassen, M.S.: *Stimulation of microperoxisomal β -oxidation in rat heart by high-fat diets*. Biochim. Biophys. Acta 751: 312-320, 1983.
- 17) Korn, E.D.: *Lipoprotein lipase (Clearing Factor)* in: *Methods in Enzymology*, 5: 542-545, Academic press, New York and London, 1962.
- 18) Jonson, D. & Lardy, H.: *Isolation of liver or kidney mitochondria* in: *Methods in Enzymology* (Estabrook, R.W. & Pullman, M.E. eds.) vol. 10: 94-96 Academic Press, New York, 1967.
- 19) Renner, R., Innis, S.M., & Clandinin, M.T.: *Effects of high and low erucic acid rapeseed oils on energy metabolism and mitochondrial function of the chick*. J. Nutr. 109: 378-387, 1979.
- 20) Estabrook, R.W.: *Mitochondrial Respiratory control and the polarographic measurement of ADP : O ratios* in *Methods in Enzymology* (Estabrook R.W. & Pullman, M.E. eds.) vol. 10: 41-47, Academic Press, New York, 1967.
- 21) Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. & Randall, R.J.: *Protein measurement with Folin phenol reagent*. J. Biol. Chem. 93: 265-275, 1957
- 22) Folch, J., Lees, M. & Sloane-Stanley, G.H.: A

- simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. *J. Biol. Chem.* 226: 497-509, 1957.
- 23) Cunningham, V.J. & Robinson, D.S.: Clearing factor lipase in adipose tissue. *Biochem. J.* 112: 203-209, 1969.
- 24) Aktin, E., & Meng, H.C.: Release of Clearing factor lipase (lipoprotein lipase) in vivo and from isolated perfused hearts of alloxan diabetic rats. *Diabetes* 21: 149-156, 1972.
- 25) Stam, H. & Hulsmann, W.C.: Effects of hormones, amino acids and specific inhibitors on rat heart heparin-releasable lipoprotein lipase and tissue neutral lipase activities during long term perfusion *Biochim. Biophys. Acta* 794: 72-84, 1984.
- 26) Neelands, P.J. & Clandinin, M.T.: Diet fat influences liver plasma-membrane lipid composition and glucagon-stimulated adenylate cyclase activity. *Biochem. J.* 212: 573-583, 1983.
- 27) Robblee, N.M. & Clandinin, M.T.: Effect of dietary fat level and polyunsaturated fatty acid content on the phospholipid composition of rat cardiac mitochondrial membranes and mitochondrial ATPase activity. *J. Nutr.* 114: 263-269, 1984.