

ω3계 지방산의 영양생화학적 기능

이 양 자

연세대학교 생활과학대학 식품영양학과

Nutritional and Biochemical Roles of ω3 Series Fatty Acids

Lee, Yang Cha

Department of Food & Nutrition, College of Human Ecology, Yonsei University, Seoul, Korea

서 론

인류가 농사를 지어 먹기 이전에는 ω3계 지방산인 α-LNA, EPA, DHA가 풍부한 식생활을 영위 하였으나, 농사를 지으면서부터 그리고 산업혁명 이후, 식생활의 변천으로 ω6계와 포화지방산이 증가하는 편으로 기울어져왔다. 오늘날 서양의 선진 제국은 이러한 식생활의 변천과 함께 과식과 운동부족으로 인한 비만, 스트레스, 흡연등의 문제가 겹쳐서 심각한 만성질환 만연의 현실에 직면하고 있다¹⁾. 우리나라도 빠르게 산업화되면서 서양 여러나라의 전철을 밟고 있으므로, 심각한 문제를 미연에 예방하기 위하여 '영양'적 접근을 통한 지혜로운 방향 제시가 그 어느 때보다 필요한 시점에 와 있다.

ω3(n-3)와 ω6(n-6)계 지방산의 구조와 전환과정

1929년 무지방식을 사용한 동물실험에서 필수 지방산이 지적되었을 때는, ω6계인 linoleic acid(LA, C18 : 2, ω6)를 중심으로 필수성이 강조되었다. ω3계 지방산인 α-linolenic acid(α-LNA, C18 : 3, ω3)가 분리된 지는 약 100년전의 일이나, α-LNA와 이로부터 생성되는 eicosapentaenoic acid(EPA, C20 : 5, ω3)와 docosahexaenoic acid(DHA, C22 : 6, ω3)가

학자들의 관심을 끈 것은 약 20여년전의 일이다. DHA가 뇌와 신경조직 발달에 필수적이라는 점과 탄소 20개의 ω6계 arachidonic acid(AA, C20 : 4, ω6)와 ω3계 지방산인 EPA(C20 : 5)로부터 만들어지는 eicosanoids의 생물학적 기능이 서로 다르다는 것이 알려지면서 이 분야의 연구는 매우 활발하여졌으며, 최근 ω3계 지방산에 관한 연구 및 고찰 논문이 많이 발표되었다²⁻¹⁷⁾.

사람의 조직에 있어서, ω3계의 전구체인 α-LNA(C18 : 3, ω3)가 그 생성물인 long chain polyunsaturated fatty acids(LCPUFA)인 DHA로 전환되는 효율이 낮은 것으로 알려져 있다. ω6계 지방산의 전구체인 LA(C18 : 2)와 ω3계 지방산의 전구체인 α-LNA(C18 : 3)는 이들 구조의 유사성으로 인해 각각의 서로 다른 LCPUFA(C22 : 6, ω3와 C20 : 4, ω6) 합성을 저해하는 것으로 알려졌으며, 과량의 C18 : 2(ω6)가 ω3계 지방산의 전환에 영향을 주는 것 보다는 과량의 C18 : 3(ω3)가 C18 : 2(ω6) → C20 : 4(ω6)로의 전환에 더 큰 영향을 준다고 알려졌다(Fig. 2). 이러한 C18 : 3의 저지능력은 C18 : 2(ω6) 농도가 일정하게 유지될 때 dose-dependent하게 나타나므로, C18 : 3(ω3)뿐만아니라 C18 : 2(ω6) 자체 농도도 C18 : 2(ω6) → C20 : 4(ω6)의 전환에 영향줄을 알 수 있다. 그리고 C18 : 3(ω3)보다 ω3계의 LCPUFA가 더 큰 영향을 줄 수 있음이 보고 되었다¹⁸⁾.

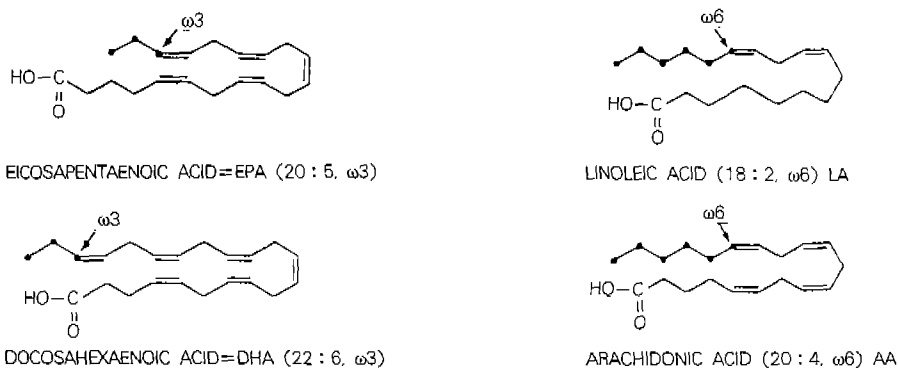


Fig. 1. Structures of some ω6 and ω3 series fatty acids.

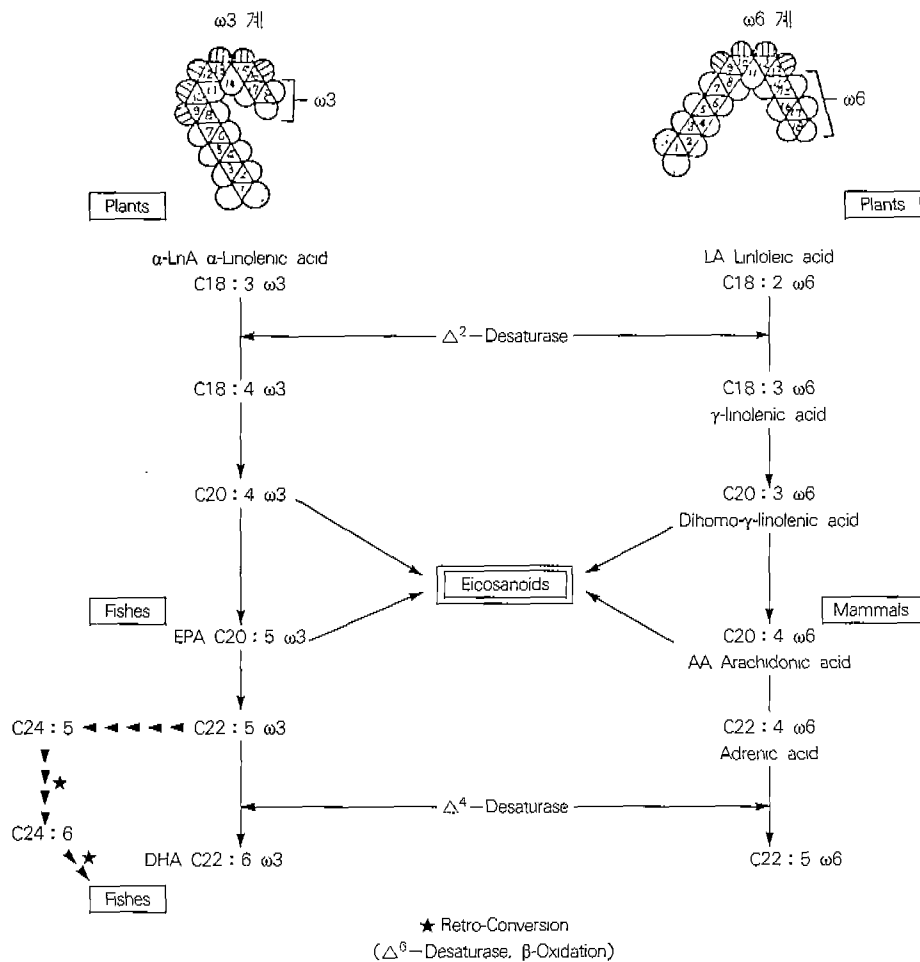


Fig. 2. The elongation and desaturation of ω6 and ω3 series fatty acids.

α -LNA(C18 : 3, ω 3)가 DHA(C22 : 6, ω 3)로 전환되는 과정에서, desaturation과 elongation 과정을 거칠 때 마지막의 4-desaturase 과정을 거치지 않고 retroconversion(즉 C24 : 6에서 C22 : 6으로 역진행) 과정(Fig. 2)이 있음이 보고되었다¹⁹⁾²⁰⁾. 즉, Rat liver microsome system을 이용한 연구에서 ω 3계의 DHA 합성이 C22 : 5, ω 3보다 C24 : 6, ω 3가 먼저 만들어진 후 역과정(retroconversion)을 거쳐 DHA가 만들어질 수 있음이 알려졌다¹⁹⁾, 그리고 ω 6계에서도 C22 : 4(ω 6)와 C22 : 5(ω 6)가 β -oxidation을 포함한 역반응을 통해 C20 : 4(ω 6)로 전환될 수 있음이 보고되었다²⁰⁾.

이러한 retroconversion이 일어날 때 β -oxidation 과정을 거쳐서 탄소수 2 unit이 적어진 후, DHA(C22 : 6, ω 3)와 AA(C20 : 4, ω 6)가 세포 membrane lipid 인지질로 incorporation되는 것으로 여겨지고 있다. 이러한 retroconversion 과정이 뇌조직등 다른 조직에서도 일어나는 일반적인 과정인지 그 범위와 의의에 대해 더 자세한 연구가 요구된다.

ω 3/ ω 6계 지방산의 기능

1. 생체막 조직(Biological Membranes)

우리 몸의 모든 세포의 막조직(membrane system)이 완전할 때 체내의 기능은 정상으로 유지된다. 이러한 생체막 조직의 필수 구성성분인 인지질은 생체막에 위치한 효소의 활성화, 생체막을 통한 물질의 이동, 생체막 수용체의 기능 및 신경 조직에서의 메세지 전달(neural signalling) 등에

광범위하게 관여하므로 실질적으로 생명의 유지에 중추적인 역할을 수행한다고 볼 수 있다. Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 생체막 조직에서 인지질은, 이중층을 이루고 있어 여러 물질의 투과도를 조절해주며, 이 막조직에 결합된 단백질, 당단백질(glycoprotein), 당지질(glycolipid)등과 함께 물질의 이동, 수용체와의 결합등 섬세하고 미묘한 메세지 전달과 조절작용에 일익을 담당하게 된다. 콜레스테롤도 인지질과 함께 생체막조직의 필수 성분으로서 중요한 역할을 한다. 최근 세포막 구성분의 한 종류인 인지질(inositol phospholipid)의 대사물질이 호르몬의 second messenger로 작용함이 알려졌다. 뇌 조직에도 다량 존재하는 인지질은 모든 세포막 조직의 필수 요소로서 β -위치의 탄소(2번째 탄소)에는 주로 필수 지방산(PUFA, ω 6 또는 ω 3계)이 오게 마련이다. 특히 ω 3계 지방산인 DHA는 망막(reina) 외부막(outer membrane) 조직에 존재하는 인지질의 α -위치(1번 탄소)에도 결합되어 있는 것으로 알려졌다. 필수 지방산의 결핍시, β 위치에 oleic acid(C18 : 1, ω 9)로부터 만들어진 5, 8, 11-eicosatrienoic acid(C20 : 3, ω 9)등 다른 지방산으로 대체되어 세포막의 절묘한 구조와 기능에 장애를 주게 된다. 이런 의미에서 모든 세포의 세포막 구성분이 계속 새것으로 대체되어 기능을 원만하고 활발하게 해주기 위해서, 적절히 균형된 필수지방산의 공급은 매우 중요하다 하겠다.

화학적 물리적 환경조건에 의한 영향이 유전적 기전에 의한 영향을 앞설 수 있다는 진화이론이 나오면서 영양이 진화에 미치는 영향이 강조되고

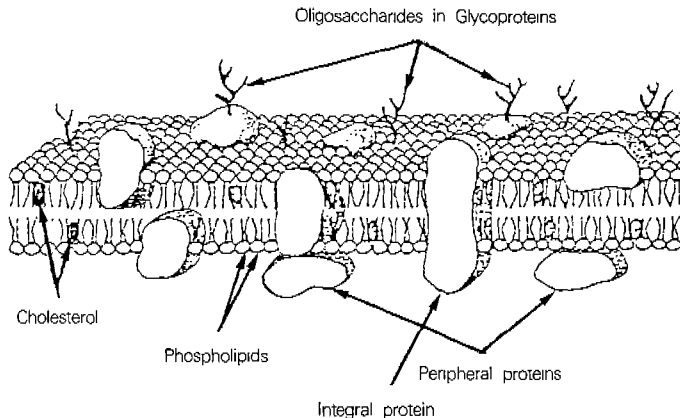


Fig. 3. Biological membrane.

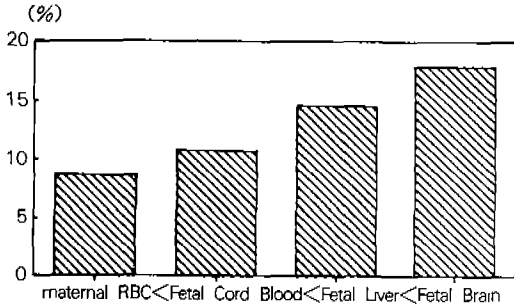


Fig. 4. Biomagnification of DHA in phospholipids.
 Ref : Crawford MA et al, J Intern. Med. 225 (suppl 1) : 166, 1989. (38)
 Recited from Nettleton JA, J Am Diet Assoc 93 : 59, 1993. (12)

있다. 남조류(blue green algae)에서 광합성의 부산물과 물의 photolysis 산물인 O_2 가 유리되면서 산화반응이 가능해졌고, 서서히 동물 생명체가 진화되었다고 여겨진다²¹⁾. 남조류(blue green algae, cyanobacteria)는 oxygenic phototrophs로서, $\omega 3$ 계 지방산(다른 procaryote는 주로 불포화지방산과 단일불포화지방산을 함유함)과 β -carotene, α -tocopherol, vitamin C를 생산한다. 동물은 $\omega 3$ 계 지방산이 풍부한 환경에서 진화된 것으로 보인다²¹⁾. 동물은 photoreceptor를 가지게 되었는데 인지질의 주성분으로 DHA를 이용한다. 망막의 rod세포에는 총 지방산의 50~60%가 DHA이며, DHA는 rhodopsin과 G-Protein이 존재하는 막층을 구성하고 있는 인지질의 주성분이 된다. α -LNA가 존재하는 식물

계에는 β -carotene도 함께 존재하며 이들은 각각 DHA와 Retinol이 되어 동물의 rod cell의 photoreceptor의 구성분이 되어 vision과정에 참여하게 되는 것이다. 광합성에 의해 만들어지는 α -tocopherol과 ascorbic acid도 함께 존재하며, O_2 공존 환경하에 rod 세포를 보호하는 것으로 여겨진다. Photoreception과정은 동식물계에서 다 중요하며, 식물계에서는 light를 화학적 물질로 전환하며 동물계에서는 light를 electrical energy로 전환시킨다. Signal transduction에 관여하는 synaptic membrane에는 DHA가 많이 함유되어 있고, Ca^{++} 운반(signal activation)에는 inositol phosphoglyceride(IPG)가 관여하며 IPG에는 $\omega 6$ 계인 C20 : 4가 많이 함유되어 있음이 특이하다²¹⁾²²⁾.

2. DHA($\omega 3$ 계)와 AA($\omega 6$ 계)의 균형과 두뇌 발달
 사람의 뇌가 발달되는 동안 불포화지방산(Long Chain Polyunsaturated Fatty Acids=LCPUFA)인 $\omega 3$ 계 DHA와 $\omega 6$ 계인 AA가 대뇌와 소뇌에 임신 제 3기 동안 3~5배 증가되며 이 추세는 출생 후도 당분간 계속된다²³⁾²⁴⁾. 사람 두뇌의 최대 성장기가 태아기와 영아기임은 잘 알려진 사실이며, 사람의 임신기와 수유기가 비교적 긴것은 두뇌의 올바른 발달을 위해 유익한 점이다. DHA 절반 가량이 출생 이전에 축적되고 있으며, DHA는 두뇌와 망막, 특히 시냅스 막(synaptic membrane)과 광수용체(photoreceptor)막에 많이 존재한다. $\omega 3$ 계 지방산

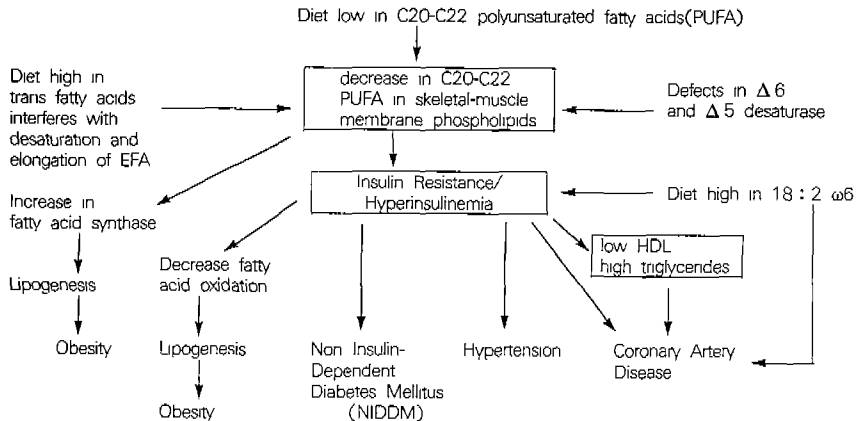


Fig. 5. A hypothetical scheme of the effects of dietary C20-C22 PUFAs on the composition of the C20-C22 PUFAs in skeletal muscle membrane phospholipids.
 Recited from Simopoulos AP, Nutr Today Jan/Feb, pp12-16, 1994. (13)

부족시 광수용체 세포의 기능 변화로 망막에 이상이 생기며, 두뇌기능에도 영향을 준다는 것이 지적되었다²⁵⁾. Vision에 관여하는 rhodopsin 분자에서 비타민 A와 함께 인지질에 함유되어 있는 DHA의 구체적인 역할 규명이 매우 필요하게 되었다. 흥미있는 사실은 동물의 종류를 막론하고 뇌조직 inner membrane을 구성하는 ω 6계와 ω 3계 지방산의 비율이 약 1:1이 되는 것이다²⁶⁾²⁷⁾. 최근 사람의 혈청 인지질을 구성하는 지방산, 즉 ω 3(EPA+DHA), ω 6(AA)의 비율이 약 1:1로 밝혀져서 흥미롭다²⁸⁾.

뇌조직의 phosphatidyl ethanolamine과 phosphatidyle serine에는 총지방산의 30~65%가 DHA로 구성되어 있으므로 이들을 'supra-enes'라고도 부른다. 특기할 것은 DHA가 풍부한 rod 세포의 outer segment phosphatidyl choline에 C24-C36(이중결합 4-6)의 지방산의 존재가 밝혀져 이들의 기능에 대한 연구도 시급히 요구된다²⁹⁾.

임신 말기와 수유기에 있어서 필수 지방산의 요구량은 각각 총열량 섭취의 1~2%와 2~4%로 증가하게 된다. 우유에는 필수 지방산이 총열량의 1%보다 적게 함유되어 있고, 영아는 장사슬 불포화지방산(LCPUFA)을 합성하는 능력이 잘 발달되어 있지 않으므로, 장사슬 불포화지방산을 함유하고 있을 뿐 아니라 총열량의 10~12% 가량의 필수 지방산을 함유하고 있는 모유의 공급이 매우 중요하다. 특히 미숙아나 분유를 먹여 키우는 아이들에게는 ω 3계와 ω 6계 지방산의 충분하고 균형된 공급을 위한 대책이 시급히 세워져야 한다. 그런데 모유는 어머니의 영양상태에 영향을 받으므로(Table 1), 임신기나 수유기동안은 물론 정상시의 균형된 식생활을 통해 바람직한 성분을 가진 모유를

공급할 수 있도록 항상 힘써야 하겠다. 최근의 연구에서 분유로 자란 영유아가 모유로 자란 영유아보다 뇌피질의 DHA 수준이 더욱 낮아져 있음이 보고되기도 하였다.

ω 3계 지방산인 α -LNA(C18:3)로부터 DHA의 전환이 얼마나 효과적으로 일어나느냐 하는 것은 많은 연구자들의 관심의 대상이 되고 있다. 뇌세포에서 α -LNA로부터 EPA를 거쳐 DHA로의 전환이 원활하지는 않지만 가능하며, α -LNA가 매우 쉽게 산화되어 대사될 수 있는 점등이 알려지면서 식물성 식품(들깨, 콩, 채소등)에서 얻을 수 있는 α -LNA의 필요량에 관한 연구도 ω 6계 LA와의 균형면과 절대량 측면에서 활발히 전개되고 있다⁴⁾. 임신기간에 ω 6계 arachidonic acid(AA, C20:4)로부터 prostaglandin(PG)의 합성이 활발하여 임신부와 태아에 중요한 영향을 미칠 수 있으며, ω 6계인 AA의 부족시 분만에 이상이 있음도 지적되었다¹¹⁾. 따라서 두뇌 발달시기에 있어서 ω 3계인 DHA와 ω 6계인 AA의 적절한 균형이 요구된다고 하겠다. 출생후 두뇌조직 완성기까지 필수 지방산을 함유하는 인지질 합성이 급격히 증가하므로, 임신부와 태아 및 영아에 있어서 필수 지방산 공급의 필수성을 재삼 강조하게 된다. 최근의 연구에서 α -LNA(C18:3, ω 3)는 아무리 많은 양을 식이를 통해 공급하더라도 뇌조직에는 매우 소량 존재함이 알려져³⁰⁾, blood brain barrier의 엄격한 조절작용과 α -LNA가 매우 빠른 속도로 산화된다는 점을 상기시킨다. 산화물이 genetic expression과 differentiation과정을 촉진시킬 가능성에 대한 최근의 제안³¹⁾³²⁾은, eicosanoid 대사 과정이 과산화물을 포함하는 과정이라는 점과 연결되어 새로이 시사하는 점이 많다. 어느 정도가 최소한의 필요한 산화수준인지에 대한 연구가 요

Table 1. Comparison between ω 6 & ω 3 series fatty acids in maternal milk

	Korean (33)		Korean (34)		Maternal Milk (35)	
	Early milk (2-5 days)	Mature milk (12 wks)	Early milk	Mature milk	Vegan	Omnivore
C18:2(ω 6)	10.4	11.8	10.2	8.3	317	69
C20:4(ω 6)	1.01	0.38	0.88	0.83	7.2	5.4
C18:3(ω 3)	0.32	0.10	0.22	0.18	15.0	8.0
C20:5(ω 3)	0.46	0.12	0.28	0.32	0.4	2.0
C22:6(ω 3)	1.11	0.32	0.92	0.65	2.3	5.9

Ref: Moon, SJ et al, (33), Lee, YW et al, (34), Sanders TAB et al. (35)

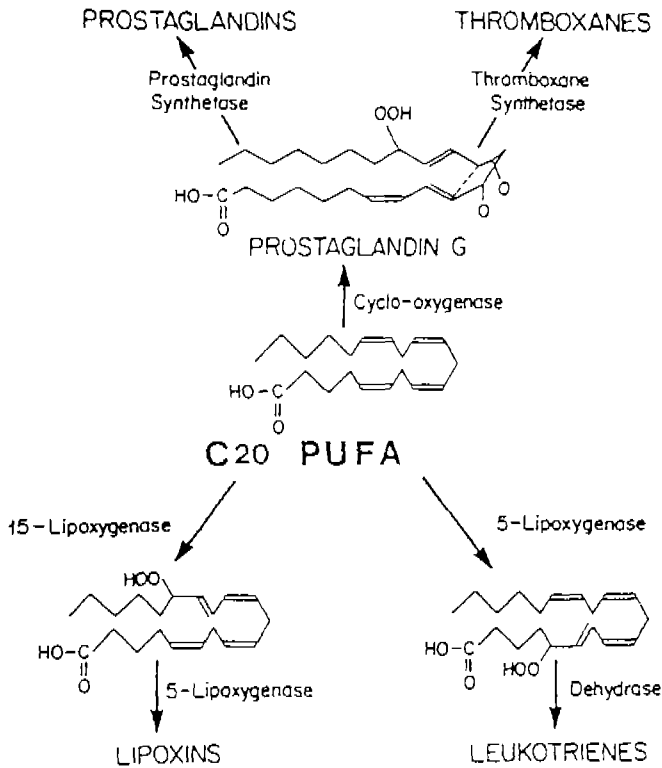


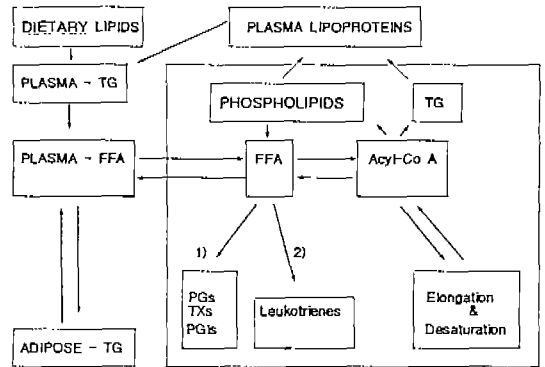
Fig. 6. Biosynthesis of eicosanoids.

구된다.

동물실험에서, 어미는 임신전부터 지방조직에 저장해두었던 ω 3계 지방산을 태반이나 모유를 통해 새끼에게 공급해 줄을 알게 되었다. 지방조직의 저장 지방산의 동적 작용이 강조된다³⁶⁾³⁷⁾. 실제로 어미와 태아간에는 아래 Fig. 4와 같이 DHA 농도에서 biomagnification 현상이 존재함이 제안되었다. 이러한 관계가 DHA뿐 아니라 태아가 필요로 하는 모든 물질에 적용되는지는 더욱 연구되어야 한다³⁸⁾.

3. 미숙아와 ω 3/ ω 6계 지방산

모체 태반으로부터 DHA와 다른 ω 3계 지방산이 태아로부터 이동하는 시기를 임신 3기로 볼 때, 미숙아의 원만한 뇌발달을 위해 ω 3계 지방산의 공급에 각별히 유의해야 한다. 최근 조산아(임신 32주 이전 출생)의 연구에서 ω 3계 지방산 공급을 총열량의 1%로 하는 것으로는 부족하다고 하며, 또 다른 조산아 연구(<1.5kg)에서 DHA(C22 : 6, ω 3)의 공급이 심리운동 발달 지수(psychomotor de-



1) Cyclo-oxygenase pathway 2) Lipoxygenase pathway

Fig. 7. Availability of nonesterified fatty acids(NEFA). Recited from Lands, FASEB J, p2532, 1992.

velopment index(PDI))와 양의 상관 관계로 나타나 두뇌 발달 과정에 DHA가 중요함을 지적해 주었다. 그러나 EPA가 너무 많아지면 ω 6계 AA의 요구량을 증가시킬지 모른다고 지적하였다³⁹⁾.

Umbilical artery(배꼽 주위의 동맥)의 endothelium 인지질 성분조사에서 ω 6계의 AA는 출산시

체중 및 머리둘레와, 그리고 DHA는 뇌발달의 성숙도와 밀접한 관계가 있는 것으로 알려지고 있다²¹⁾. 따라서 이들 학자들은, 수유부의 DHA 섭취 증가가 유아의 DHA 섭취를 증가시키고 뇌 발달에 도움을 줄 것이라고 주장했으며 Neuringer등⁴⁰⁾도 미숙아와 유아를 위한 분유에 DHA를 강화해야 함을 제안했다. 출산체중 1.85kg이하의 미숙아에게 출생 후 72시간 이내에 모유를 먹인 경우와 모유를 먹이지 않은 두 그룹의 비교에서 7세 반에서 8세 사이에 조사한 IQ값에 차이가 났다는 보고도 있다⁴¹⁾. 사람의 경우, 임신기와 수유기가 비교적 길어서 신생아를 위한 영양적 지원을 잘 할 수 있다는 특징을 이에 선행해야겠다. 영유아 사망율은 감소 추세에 있으나, 정신박약이나 시각장애자 출산이 같은 추세가 아님에 더욱 유의해야 한다.

4. 식이 지방산과 혈청지질 농도

식이 지방산의 양과 종류가 혈청지질 농도에 영향을 미친다는 것은 이미 알려진 사실이지만 이 분야의 활발한 연구활동에 힘입어 그 구체적인 내용과 지침은 변천되어 왔다⁴²⁻⁵⁴⁾.

*SFA : ↑ Serum Total Cholesterol

PUFA : ↓ Serum Total Cholesterol

Oleic acid(C18 : 1) Neutral
 Stearic acid(C18 : 0)

*SFA(C12, 14, 16 : 0) : ↑ Total Serum Cholesterol by
 ↑ Serum LDL

*SFA, Stearic acid(C18 : 0) : Neutral(재확인)

지침 : P/S ratio

*Oleic acid(C18 : 1) : ↓ LDL

*SFA, Palmitic acid(C16 : 0) :

Neutral, 조건(C18 : 2 섭취 >6%)

*MUFA (a large amount) :

↑ Serum Cholesterol(Taiwan Study)

지침 : P/M/S ratio

*PUFA & MUFA :

SFA를 대치하면 - ↓ LDL

당질을 대치하면 - 효과 다름

*ω6와 ω3계 지방산의 균형 :

북그린랜드 에스키모 study

지침 : P/M/S ratio
ω6/ω3 ratio

섭취 지방질의 양(量) 못지않게 그 질(質)적 균형이 중요함을 강조해 왔다. 즉 polyunsaturated/saturated(P/S) 지방산 비율이 약 1로 균형이 되어야 하며, 고지혈증인 경우 P/S 비율을 2 : 1까지도 권장해 왔다⁴²⁾⁴³⁾. 그러나 monounsaturated(M) 지방산의 중립적 역할이 오히려 polyunsaturated 지방산과 유사한 효과가 있음이 보고되면서⁴⁴⁾⁴⁵⁾ P/M/S의 균형을 강조하게 되었고, 정상인을 위해서는 이 비율이 약 1 : 1 : 1이 바람직하다고 제안되기도 하였다⁴⁶⁾⁴⁷⁾. 그 후 ω3계 지방산의 필수성이 강조되면서 C18 : 3, ω3/C18 : 2, ω6 전구체의 비율 또는 (C20 : 5 + C22 : 6), ω3/C20 : 4, ω6의 product 비율등이 자주 거론되게 되었다. 따라서 P/M/S 비율은 물론, 동시에 P 자체의 균형인 ω6/ω3계 지방산의 비율이 모두 적절해야 함이 강조되면서, P/M/S 비율은 약 1 : 1 : 1 그리고 ω6/ω3계 비율은 잠정적으로 모유의 비율 범위인 4/1~10/1을 권장하고 있다⁴⁷⁻⁵⁵⁾. 한편 palmitic acid(C16 : 0)⁵⁶⁾와 stearic acid(C18 : 0)⁵⁷⁾와 같은 포화지방에 대한 새로운 인식에 대하여 전체 지방산의 균형을 중심으로 더욱 연구되어야 하겠다.

1) ω3계 지방산과 혈청 콜레스테롤 농도 .

ω3계 지방산과 혈청 콜레스테롤 농도와의 관계에서 그 기전을 몇가지 소개하면 아래와 같다⁵⁸⁾. 첫째, ω3계 지방산을 많이 섭취하게 되면, 간에서는 지방산의 산화가 촉진되고, AA(C20 : 4, ω6)의 합성이 감소되는 동시에 VLDL 합성과 분해의 감소가 일어나게 된다. ω3계 지방산의 영향으로, particle의 크기가 보다 작은 VLDL이 합성, 분리된 후, VLDL remnant를 거쳐 LDL로 빠른 속도로 전환된다. 이 크기가 작은 VLDL이 간의 apo-B/E receptor에 LDL과 경쟁적으로 작용하여, 혈장에 남은 LDL이 증가하게 된다. 따라서 VLDL-TG는 감소시키지만, LDL-cholesterol은 증가될 수 있다는 것이다. 둘째, ω3 FA-rich diet에 의해 생성된 인지질(PL)의 sn-2 위치는 ω3-FA로 esterify되고 PUFA에 의한 LCAT 활성의 감소로 인해 PL과 LCAT의 작용이 감소되면, cholesterol의 esterification이 감소되고 동시에 HDL-cholesterol

농도가 감소될 수 있다는 것이다. 셋째, cholesterol ester transfer protein(CETP)는 HDL에 새로이 생성된 CE를 VLDL과 LDL에 재분배하는 역할을 하는 것으로 알려졌다. 그런데 cholesterol과 saturated fat이 많은 diet(atherogenic diet)은 CETP의 증가와 VLDL과 LDL 농도의 증가를 초래하게 된다. 그런데 EPA는 이 증가된 CETP를 감소시켜, 이미 증가된 LDL 농도를 낮추어 주며 한편, HDL-cholesterol 농도는 증가시킬 수 있다는 점이다.

이상에서 언급한 것처럼 ω 3계 지방산이 혈청 cholesterol 농도에 미치는 영향은 다양하며, LDL-cholesterol 농도에 영향을 주지 않거나 또는 높혀줄 수 있다는 사실에 주목해야 한다. HDL이 간에서 대사될 때 HDL particle 자체가 receptor mediated endocytosis에 의해 간으로 uptake되는지 HDL의 cholesterol 성분만이 간으로 uptake되는지 그 기전은 아직 불분명하다⁴⁹⁾.

2) ω 3계 지방산과 혈청 중성지방(TG) 농도

LCPUFA ω 3계 지방산은 고지혈증 특히 혈중 TG 농도를 낮추는 효과가 있음이 잘 알려졌다⁴⁷⁻⁵⁰⁾. 따라서 한국처럼 고지방 식사에 의한 고TG혈증의 문제가 큰 지역에서 ω 3계 지방산의 섭취를 통한 TG-lowering 효과를 얻음은 매우 바람직하다고 하겠으나, 한편 생선기름의 과량 및 장기 투여의 경우 높은 불포화도때문에 좋지 못한 결과가 초래될 수 있고, LDL-cholesterol 치는 오히려 높혀줄 수 있음에 유의해야 한다.⁵¹⁻⁵³⁾⁵⁵⁾. Hyperglyceridemia 환자에게 4.5g, 7.5g, 12g의 ω 3계 지방산을 3주 간격으로 6주간씩 주었을 때 낮은 dose 즉, 4.5g을 준 경우 hypolipidemic 효과가 가장 큰 것으로 평가된 바, 더 낮은 양의 fish oil을 장기간 줌으로써 고지혈증환자에게 도움이 되는 길을 모색함이 바람직하다고 제안하였다. 하루에 ω 3계 지방산을 4.5g 섭취하는 것은, 지방을 10% 정도 함유한 고등어나 연어와 같은 등푸른 생선을 200g 섭취하는 양과 대등하다⁴⁸⁾⁵¹⁾. 혈청 TG 농도가 높으면 Total-Chol/HDL-Chol 비율이 높을 수 있다. Total-Chol/HDL-Chol은 남녀를 막론하고 심혈관질환과 밀접한 관계가 있다. 혈청 TG 농도가 높은 경우 Total-Chol/HDL-Chol 비율이 3.5 이상이면 심혈관질환의 위험성이 있다고 보아야 하며, 특히 혈중 TG 농도와 심혈관질환과의 관계는 여성의 경우 더욱 밀접하다는 점에 유의해야 한다

⁵⁹⁾. 따라서 폐경된 여성은 체중증가와 함께 혈청 Chol과 TG 농도가 높아지므로 반드시 운동지침을 포함한 식이지침을 따라야 한다. 결국, ω 3계 지방산이 혈청 중성지방을 낮추는 데는 큰 효과가 있으나 높아진 콜레스테롤 수준을 낮추기 위한 최상의 수단은 되지 못한다. 최근 중국의 연구⁶⁰⁾에서 단일불포화지방산이 혈청 TG를 높일 뿐아니라 간의 콜레스테롤 함량을 높여줄 수 있음이 발표되어 관심을 끈다.

3) LCPUFA(C20, C22) 섭취와 질병과의 관계
최근 Simopoulos가 제안한 C20, C22 PUFA와 insulin resistance 및 몇가지 만성질환과의 관계를 Fig. 7에 제시하였다.

5. Eicosanoid와 ω 6/ ω 3계 지방산

ω 6계 LA와 ω 3계 α -LNA는, 탄소 20개의 지방산 즉 C20 : 3, ω 6, C20 : 4, ω 6(AA), C20 : 5, ω 3(EPA)의 전구체가 되고 이 탄소 20개의 3계열의 prostaglandins(PGs) 즉, PGF₁, PGF₂, PGF₃ 등의 전구체가 된다. 이들 산화적 생성물은 강한 local 호르몬으로 작용하며 세포에서 중요한 기능을 담당하게 된다. Hypothalamic 그리고 pituitary 호르몬의 분비에 pulsatile/irregular하게 영향을 주므로써 여러가지 체내대사와 기능에 관여할 것으로 간주되고 있다⁽⁹⁾.

ω 6계 C20 : 4, AA로부터의 eicosanoids 합성은 급격히 빠른 속도로 일어나서 specific 한 receptor를 활성화시키는 데, 이러한 작용은 eicosanoids를 selective하게 불활성화시키는 효소가 작용하기 전에 일어나야 한다. 그러므로 eicosanoid 합성의 조절에 영향을 줄 수 있는 요소이며, eicosanoid-mediated pathophysiology에 영향을 줄 수 있는 것이다.

세포의 기능에 대한 eicosanoids의 조절작용은 짧은 시간동안(pulsatile, irregular) 일어나는 것으로 조직내에 활성을 띤 eicosanoids의 수준은 매우 낮다. 따라서 eicosanoids-mediated 작용이 일어나기 위해서는 다음과 같은 조건이 요구된다고 볼 수 있다⁶¹⁾.

1) Eicosanoid는 불활성화 속도를 증가하는 속도로 만들어져야 한다. 2) Eicosanoid는 specific receptor를 충분히 occupy해야 한다. 3) Eicosanoid receptor는 조절작용을 성사시키기 위해 바로 다음 과정과 연결되도록 signal을 전달할 수 있어야 한다.

이러한 까다로운 요구 조건에도 불구하고, 오히려 eicosanoid overaction에 대해 알려지고 있으며, $\omega 6$ 계 eicosanoid의 과잉 생산이 혈전증, 관절염, 부정맥, 고혈압, 천식 등과 연결이 있음이 지적되고 있다.

조직 인지질에서 가수분해되는 PUFA의 양은 식이 지방산의 영향을 받지 않지만 eicosanoid 합성에 사용되는 지방산은 단연 AA(20 : 4, $\omega 6$)가 많다. Fig. 8에 나타난 바 조직 인지질의 $\omega 6$ 계 지방산 함량(미국, 일본, 그린랜드의 경우 각각 75, 50, 22%)이 thromboxane(TX)과 연결된 혈전증에 의한 사망률을 반영한다고 한다. $\omega 6$ 계 함량이 매우 높은 미국과 서양제국에서는 동물성지방의 섭취를 낮추고 $\omega 3$ 계 지방산의 섭취비율을 증가시킬 필요가 있다. $\omega 6$ 계 eicosanoid와 관련된 기능은 조직에 존재하는 AA(20 : 4, $\omega 6$)농도에 영향을 받고, 이 AA는 또한 식이지방의 $\omega 6/\omega 3$ 지방산 비율에 영향을 받게 된다.

식이 EPA와 DHA는 AA와 PL합성에서 경쟁하며 따라서 cyclo-oxygenase의 반응에 영향을 미친다. 아래의 Fig. 9에 나타난 바와 같이 EPA는 AA에 비해 혈전 형성을 감소시키는 방향으로 유도하게 된다.

6. EPA와 DHA의 서로 다른 역할

미국아 연구에서의 연구결과 지능과 운동기능

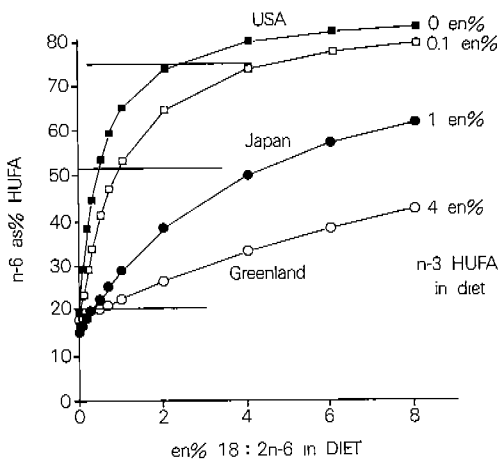


Fig. 8. The proportion of $\omega 6$ eicosanoid precursors maintained in phospholipids(HUFA : Highly unsaturated fatty acids).
Recited from Lands. FASEB J, p2533, 1992. (11)

발달에 있어서 DHA는 양의 관계를, EPA는 음의 관계를 보여 주어 이들 $\omega 3$ 계 LCPUFA의 서로 다른 기능을 지적해 주고 있다. 과량의 $\omega 3$ 계, EPA는 $\omega 6$ 계 C20 : 4인 AA의 작용을 저해하므로 AA의 요구량을 증가시키는 것으로 간주된다³⁰⁾.

혈청 인지질의 EPA는 혈압과 TG 농도를 낮추어 주며 HDL-Chol과 HDL 성분인 Apo-A-I 농도를 높여주는 반면, DHA는 HDL-Chol과 Apo-A-I 농도를 낮추어 주고 TG농도에는 변화를 주지 않는 것으로 나타났다³⁹⁾⁶¹⁾.

이러한 $\omega 3$ 계 LCPUFA인 EPA와 DHA의 기능에서의 차이는 부분적 연구를 통하여 종합적 결론을 내리는데 대한 위험성을 지적 해주며, 식이지침 설정에 있어서 과하지 않은, 적절히 조화된 권장 범위의 제시를 요구한다 하겠다.

7. 불포화 지방산의 불안정성

불포화지방은 이중 결합 구조로 인해 O_2 와 쉽게 결합할 수 있으며 과산화물의 생성이 가능하므로 과량 섭취시 과산화물, free radical 등의 생성으로 조직에 해를 줄 수 있다. 따라서 이중 결합이 많은 $\omega 3$ 와 $\omega 6$ 계 지방산의 섭취가 과다할 때에는 세포에 좋지 못한 영향을 끼칠 수 있다. 전술한 바와 같이, 남조류(blue green algae, cyanobacteria)가 $\omega 3$ 계 지방산과 α -tocopherol 및 ω -carotene, ascorbic acid를 함께 생산한다는 점이 시사하는 바가 크다.

$\omega 3$ 계 지방산은 LDL-Chol과 apo-B를 증가시킬 수 있다는 점, 그리고 oxidized LDL의 atherogenic 성질, leukotrienes 생성의 감소를 통한 immune status의 변화, bleeding 초래, 생선에 축적가능한 중금속과 chlorohydrocarbons의 오염가능성등에 관하여 계속적으로 유의하여야 한다. 이러한 단점들을 극복하고

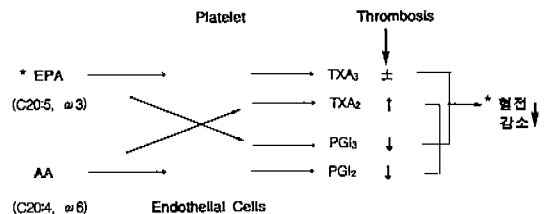


Fig. 9. Eicosapentaenoate(EPA) & arachidonate(AA) in thrombosis.
Ref : Okuyama H. Korean J Nutr 26(4) : 460, 1993. (7)

Table 2. Ratios of dietary P/S, P/M/S & $\omega 6/\omega 3$ fatty acids

Reference(Ref. No.)	Subjects (No)	Age	Fat (Cal %)	P/S(P/M/S) Ratios	$\omega 6/\omega 3$ Ratio
① Oh, KW et al.(1991)	(65) College women (189)	20-30	23.4	0.82 (0.82/0.96/1.0)	8.30
② Chung, EK & Paik, HY (1993)	(66) College women	20-30	24.9	0.71 (0.71/1.27/1.0)	9.73
③ Lee, YC et al. (1993)	(67) Industry workers (1,600)	20-60	16.9	1.60 (1.60/1.40/1.0)	8.90
④ Lee, HY & Kim, SH (1994)	(68) Adults (113)	20-80	18.4	1.09 (1.09/1.07/1.0)	6.48
⑤ Oh, KW et al. (1994)	(28) Adults (599)	> 20	17.5	1.31 (1.31/1.12/1.0)	6.02
⑥ Japan (1985)	(69) Adults		25.0	1.00	3.85
⑦ USA (1985)	(69) Adults		37.0	0.57	8.33
⑧ Denmark	(62) Adults			0.24	3.33

장점만을 최대화하기 위해 균형적 영양의 개념과 종합적 접근의 연구들이 요구되며, 특히 수많은 연구논문들에 대한 전문가의 종합적 평가를 통해 대중에게 전달되는 과정이 매우 필요함을 지적한다(63)(64).

한국인의 지방산 섭취

Table 2에는 한국인의 지방산 섭취에 대한 P/S, P/M/S 및 $\omega 6/\omega 3$ 비율이 표시되어 있다.

채소는 총 지방의 함량은 적으나, 지방산중 α -LNA(C18 : 3, $\omega 3$)의 조성이 높은 것이 있다(70)(71)(72). 최근에, 분석자료가 미비하였던 채소의 지방산을 분석하여 지방산 섭취량에 반영한 연구(총 549명 조사)(69)에 의하면, 총 지방 섭취가 17.5%(열량), P/M/S 비율이 1.3/1.1/1.0(P/S=1.3/1.0)로 나타났고, $\omega 6/\omega 3$ 지방산의 비율은 6.0으로 나타났다.

1992년 국민영양조사(보사부, 미발표자료, 74)에 의하면, 한국인의 평균 지방섭취가 16.6%(열량)로 나타났다. 서울의 여대생에 대한 조사 결과(65)(66)에 의하면, 각각 23.4와 24.9%(열량)로 나타나 지역과 계층에 따른 차이를 보여 준다. 빠른 속도로 현대화, 산업화되는 집단의 특징은 영양소의 섭취량이나 혈청 성분의 수치 등의 폭이 매우 넓은 것이다. 따라서 국민의 평균치는 낮은 편이라 하더라도 지방섭취가 상당히 높은 그룹이 존재하며, 또한 운동부족이나 스트레스 및 여러 환경적 조건들이

첨가되어, 여러가지 비만, 고지혈증, 심혈관계질환, 당뇨병등의 현대병 유발을 촉진하게 된다.

위의 Table 2와 Fig. 10에서 볼 수 있는 바와 같이, 미국은 총 지방섭취량이 높고 포화지방산의 섭취량이 크므로, 상대적으로 P/S의 비율이 0.57로 낮으며 덴마크도 0.24의 매우 낮은 비율을 보인다. 이 경우에 유의해야 할 점은 P/S 비율이 낮다고 해서 P를 늘릴 것이 아니라, S를 줄여야 한다는 점이다. 그리고 앞의 항목(Fig. 8)에서 이미 지적한 바와 같이 미국은 $\omega 6$ 계 지방산의 섭취가 너무 높아서 혈전증과 관절염등의 질환이 증가되고 있다고 경종을 울리며, 총지방섭취를 30%(열량)로 줄이는 한편, $\omega 6$ 계 지방산을 줄이자고 권장하고 있다. 따라서 혼합 식용유 개발이나 섭취지방의 trans-esteri-

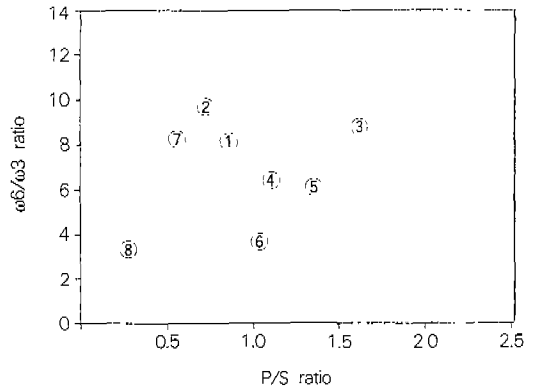


Fig. 10. Ratios of dietary P/S and $\omega 6/\omega 3$ fatty acids. Refer to Table 2.

Table 3. Requirement of ω 3 & ω 6 series fatty acids in Canada

(units : g)

Age (Yr)		ω 3 Series PUFAs	ω 6 Series PUFAs
0-1	M, F	0.5	3
1	M, F	0.6	4
2-3	M, F	0.7	4
4-6	M, F	1.0	6
7-9	M (F)	1.2(1.0)	7(6)
10-12	M (F)	1.4(1.1)	8(7)
13-15	M (F)	1.4(1.2)	9(7)
16-18	M (F)	1.8(1.2)	11(7)
19-24	M (F)	1.6(1.2)	10(7)
25-49	M (F)	1.5(1.1)	9(7)
50-74	M (F)	1.3(1.1) ¹⁾	8(7) ¹⁾
75+	M (F)	1.0(1.1) ¹⁾	7(7) ¹⁾
Preg. (+)			
1st trimester		+ 0.05	+ 0.3
2nd trimester		+ 0.16	+ 0.9
3rd trimester		+ 0.16	+ 0.9
Lactation (+)		+ 0.25	+ 1.5

1) Minimum intake, 2) Assumes moderate physical activity

Recited from Simopoulos AP. Am J Clin Nutr 54 : 456, 1991. (14)

fication등의 기술 개발에도 관심을 기울이고 있다.

따라서 한국인에게는 총 열량과 총 지방섭취량이 과다하지 않도록 할 것과, 생선, 해조류 및 채소류의 섭취를 충분히 자주하도록 권장하고, 식용유는 한 가지에만 집착하지 말고 여러가지를 다양하게 선택하여 사용할 것을 권장한다. 콩류 식품과 호박씨, 해바라기씨, 냉이, 썸바귀, 아욱등의 식품들은 식물성 ω 3계 지방산의 급원이 될 수 있다. 무엇보다도 삼면이 바다로 둘러싸인 유리한 지리적 조건을 최대한 활용하여 신선한 생선을 잘 보관, 가공하여 많이 공급할 수 있도록 힘써야 하겠다. 최근 한국인의 바람직한 지방산 섭취에 대하여 발표된바 있으며⁸⁾⁹⁾⁵⁴⁾, 캐나다에서는 제일 먼저 ω 3와 ω 6계 지방산의 권장량을 제정하였다(Table 3)¹⁴⁾.

최근 한국에서도 ω 3와 ω 6계 지방산을 중심으로 다각적인 연구들이 많이 이루어지고 있다⁷⁵⁻⁹⁷⁾. 앞으로 전문위원회가 구성되어 한국인을 위한 지방 영양의 양적, 질적인 면에서 권장 수준 설정에 대한 작업도 이루어져야 하겠다.

Table 4에는 ω 3계 지방산의 식물성 급원 식품을 몇가지 열거하였다.

Table 4. Sources of α -Linolenic Acids(ω 3)

(Vegetables & Fruits) (unit : g/100g)

	α -Linolenic acid (C18 : 3, ω 3)	Linoleic acid (C18 : 2, ω 6)
Vegetables		
어욱	1.90	0.30
냉이	0.49	0.14
케일	0.35	0.13
썸	0.32	0.18
썸바귀	0.28	0.13
미나리	0.28	0.18
갯잎	0.22	0.05
부추	0.16	0.11
썸갓	0.14	0.07
숙주	0.13	0.11
달래	0.09	0.02
뽕고추	0.08	0.17
우엉	0.06	0.15
시금치(생것)	0.06	0.02
Fruits		
금귤	0.74	0.33
꽃감	0.31	0.25
키위*	0.18	0.05
자두	0.10	0.52
참외	0.09	0.09
배	0.08	0.06

맺 는 말

영양적 환경이 유전적 기전을 능가할 수 있다는 이론이 나올 정도로 영양은 매우 중요한 분야로 부각되고 있다. 따라서 오늘날 우리나라는 급변하는 현대사회에서 더 큰 문제에 봉착하기전 효율적인 예방책 마련을 위하여 영양 연구가 그 어느 때보다 중요하고, 시급하고 활기있게 이루어져야 한다는 것을, 전문가들은 물론 국가 정책결정자를 비롯하여 온 국민이 인식하고 관심과 열정을 쏟아야 할 시점에 와 있다. ‘영양부족’, ‘영양과잉’ 및 ‘잘못된 영양지식’의 뜻이 다 내포된 새로운 ‘malnutrition’의 정의가 적용되는 우리 사회에서, 내가 누구를 위한 지침을 만들고 있는가 하는 target group에 대한 정확한 파악이 매우 중요하다. 적어도 영양학 분야에서는 서양인을 대상으로 한 최신 정보가 우리에게 매우 의미가 적을 수도, 맞지 않을 수도 있기에 우리 것을 먼저 파악하는 일이 중요하다.

ω 3계 지방산 영양과 관련하여 앞으로의 과제와 강조점을 몇가지 구체적으로 적으면 다음과 같다.

1) 뇌조직에서의 ω 3계와 ω 6계 지방산의 역할, 특히 망막조직에서의 DHA의 분자수준에서의 작용이 밝혀져야 하고, 지방산의 uptake에 대한 blood brain barrier의 역할과 기능이 연구, 규명되어야 한다.

2) 정상적 두뇌와 신경계의 발달을 위해 ω 3계의 DHA(C22 : 6)는 물론, ω 6계의 AA(C20 : 4)가 함께 중요하다. ω 3계 지방산에 관한 여러 측면에서의 연구가 ω 6계 지방산과 연계적 측면에서 이루어지고, 세부적 연구로부터의 일반화하는 경향에 유의해야 한다.

3) 모유 수유가 권장되어야 하며, 미숙아에 대한 특별한 대책이 요구된다. 직장탁아소의 제도화와 미숙아의 예방 및 이들을 위한 후속조치가 국가적 차원에서 이루어져야 하겠다.

4) 임신부와 수유부 자신들의 건강한 영양상태가 매우 중요하며, 한 걸음 더 나아가, 아버지의 건강상태도 중요함을 명심해야 한다.

5) 가정적 차원 및 상업적 차원에서의 올바른 이유보충식의 개발이 산학협동사업으로 이루어져야 한다.

6) 영유아는 물론 소아들에 대한 식생활 평가와 지침이 광범위하게 요구된다.

7) 한국인 지방산 섭취의 P/M/S 비율과 ω 6/ ω 3계 지방산의 비율에 대한 광범위한 연구 평가가 요구된다. 국민 영양조사시 예산을 확보하여 국민의 정확한 지방산 섭취를 파악하는 방안이 모색되었으면 한다.

8) 당질위주의 식사를 하는 한국인에게는 혈청 중성지방 즉, TG의 농도가 높은 사람이 많다. LC-PUFA ω 3계 지방산은 혈청 TG농도를 낮추는데 효과적이다. 갱년기 여성의 경우, 비만과 함께 hypertriglyceridemia가 초래되었을 경우 매우 중요하게 응용할 수 있다. 단, LCPUFA ω 3계 지방산은 LDL-Chol 농도를 높여 줄 수도 있음을 기억해야 한다.

9) 질병에 따른 식사내용과 혈청내의 지방산 패턴에 대한 비교 연구가 필요하다.

10) Aging 과정에서 α -LNA \rightarrow DHA로의 전환이 감소된다는 보고에 따라 노년기에 ω 3계 지방산의 보충 섭취 권장에 대해 연구되어야 하겠다.

11) 장기간 TPN이 요구될 경우, ω 6/ ω 3 LC-PUFA의 균형된 공급에도 유의해야 한다.

12) 식품분석표에서 누락된 식품, 가공식품, 수입식품, 양식식품, 비닐하우스 재배 식품 등의 급증과 다양화로 인한 정확한 식품분석 사업이 국가차원에서 지속적으로 이루어져야 한다.

13) 불포화지방의 함량이 비교적 높은 생선의 운송과 보관과정에서 산패과정을 최소화하도록 유의해야 한다.

14) 기름의 산패방지를 위해 금속, 공기, 햇빛, 고온 등에 방치되는 일이 없도록, 그리고 튀김기름의 재이용 방지에 대한 교육, 홍보가 필요하다.

15) 기름의 transesterfication이나 혼합유 개발에 있어서, 한국산 기름의 최대 활용면과 안정성면이 고려되어 연구되어야 한다.

16) 지방산을 함유하는 모든 식품의 가공, 생산 측면에서 지방산의 균형을 고려함이 바람직하다.

17) 식품(특히 식용유)의 생산 및 수출입 정책이 국민을 위한 균형된 영양공급에 기초하여 수립되어야 한다.

18) 한국인의 자료에 기초한 지방산에 대한 영양 지식은 물론, 국민 영양증진을 위한 최신 영양정

보가 쉽고 간결한 방법으로 대중매체(TV)를 통해 정기적으로 국민에게 전달되는 program 개발이 필요하다.

Literature cited

- 1) Leaf A, Weber PC. A new era for science in nutrition. *Am J Clin Nutr* 45 : 1048-1053, 1987
- 2) Proceedings of the 5th Scientific Meeting of the Society for Research on Polyunsaturated Fatty Acids(PUFA). Tokyo, Japan, Nov 11-14, 1992
- 3) The 3rd International Congress on Essential Fatty Acids and Eicosanoids, Adelaide, Australia, March 1-5, 1992
- 4) Fourteenth Marabou Symposium : The Nutritional Role of Fat, *Nutr Rev* 50(4), 1992
- 5) 3rd Toronto Workshop on Essential Fatty Acids : Alpha-linolenic acid in Human Nutrition & Disease. Toronto, Canada, May 17-18, 1991
- 6) Tichelaar HY. The significance of n-3 fatty acids. *S Afr J Food Sci Nutr* 5(3) : 67-73, 1993
- 7) Okuyama H. Nutritional biochemistry of omega-3 fatty acids : Their essentiality and importance for the prevention of chronic diseases. *한국영양학회지* 26(4) : 457-470, 1993
- 8) 장남수. 바람직한 지방산 섭취형태. *한국영양학회지* 26(4) : 486-503, 1993
- 9) 이흥규 · 신찬수. 불포화지방산 섭취와 질병. *한국영양학회지* 26(4) : 471-485, 1993
- 10) 이양자. 바람직한 지방산의 섭취. 대한영양사회, 학술세미나, 1993
- 11) Lands WEM. Biochemistry and physiology of n-3 fatty acids. *FASEB J* 6 : 2530-2536, 1992
- 12) Nettleton JA. Are n-3 fatty acids essential nutrients for fetal and infant development ? *J Am Diet Assoc* 93 : 58-64, 1993
- 13) Simopoulos AP. Fatty acid composition of skeletal muscle membrane phospholipids, insulin resistance and obesity. *Nutr Today* Jan/Feb, pp12-16, 1994
- 14) Simopoulos AP. ω 3 Fatty acid in health and disease and in growth and development. *Am J Clin Nutr* 54 : 438-463, 1991
- 15) 이양자. 유지영양의 문제점과 개선방향. *식품과학과 산업* 23 : 13-30, 1990
- 16) Burr GO, Burr MM. A new deficiency disease produced by the rigid exclusion of fat from the diet. *J Biol Chem* 82 : 345-367, 1929
- 17) Dyerberg J, Bang HO. Eicosapentaenoic acid prevention of thrombosis and atherosclerosis. *Lancet* 117-119, 1978
- 18) Hwang DH. Alpha-linolenic acid and prostaglandins. Presented at 3rd Workshop on Essential fatty acids : Alpha-linolenic acid in Human Nutrition & Disease. Toronto, Canada, May 17-18, 1991
- 19) Voss AM, Reinhart S, Sankarappa, Sprecher H. The metabolism of 7,10,13,16,19-docosapentaenoic acid to 4,7,10,13,16,19-docosahexaenoic acid in rat liver is independent of 4-desaturase. *J Biol Chem* 266(3) : 1995-2000, 1991
- 20) Sprecher H. The regulation of 20- and 22-carbon polyunsaturated fatty acid biosynthesis. In *Advances in Polyunsaturated Fatty Acid Research*. p19-22, 1993
- 21) Crawford MA. The role of dietary fatty acids in biology : Their place in the evolution of the human brain. *Nutr Rev* 50(4) : 3-11, 1992
- 22) Crawford MA, Cunnane SC, Harbige LS. A new theory of evolution : Quantum theory. The 3rd International Congress on Essential Fatty Acids and Eicosanoids. March 1-5, Adelaide, Australia, 1992
- 23) Clandinin MT, Chappell JE, Heim T, Leong S, Swyer PR, Chance GW. Intrauterine fatty acid accretion rates in human brain : Implications for fatty acid requirements. *Early Hum Devel* 4 : 121-129, 1980
- 24) Clandinin MT, Chappell JE, Heim T, Leong S, Swyer PR, Chance GW. Extrauterine fatty acid accretion rates in human brain : Implications for fatty acid requirements. *Early Hum Devel* 4 : 131-138, 1980
- 25) Connor WE, Neuringer M, Reisbick S. Essential fatty acids : The importance of ω 3 fatty acids in the retina and brain. *Nutr Rev* 50(4) : 21-29, 1992
- 26) Chung EJ, Lee KE, Bahng HR, Um YS, Kim KH, Kim JS, Lee-Kim YC. Dietary ω 3/ ω 6 fatty acids and neurotransmitter in the rat brain. In *Advances in Polyunsaturated Fatty Acid Research*, p279-280, 1993
- 27) Um YS, Chung EJ, Lee JH, Lee-Kim YC. Effects of dietary ω 3/ ω 6 fatty acid composition on phospholipids of brain synaptosome and RBC mem-

- ranes and on behavioral development of the rat. 15th International Congr of Nutrition, Adelaide, Australia, 1993
- 28) 오경원 · 이상인 · 송경순 · 김영옥 · 이양자. 성인의 지방산 섭취와 혈청 및 혈청 인지질의 지방산 조성에 관한 연구. 한국영양학회 춘계 심포지움, 1994
- 29) Aveland MI, Sprecher H. Very long chain(C24-C36) polyenoic fatty acids of the n-3 and n-6 series in dipolyunsaturated fatty acid phosphatidylcholines from bovine retina. *J Biol Chem* 262 : 1180-1186, 1987
- 30) 김미경 · 지규만 · 이양자. 어미쥐의 ω 3계 및 ω 6계 지방산식이 제 2 세대 쥐의 뇌조직 지방산 성분에 미치는 영향. *한국영양학회지* 26(6) : 661-671, 1993
- 31) Cunnane S. Alpha-linolenic acid metabolism in humans : A review presented at the 3rd Toronto Workshop on Essential fatty acids : Alpha-linolenic acid in Human Nutrition & Disease. Toronto, Canada, May 17-18, 1991
- 32) Allen RG, Venkatraj VS. Oxidants and antioxidants in development and differentiation. *J Nutr* 122 : 631-635, 1992
- 33) 문수재 · 안홍석 · 이민준 · 김정현 · 김철재 · 김상용. 수유기간에 따른 모유의 총지질, 총콜레스테롤 및 비타민 E 함량과 총지방산 조성의 변화에 관한 연구. *한국영양학회지* 26(6) : 758-771, 1993
- 34) 이윤옥 · 이민준 · 문수재. 조산모와 정상모 초유의 지질 성분에 관한 연구. 한국영양학회 춘계심포지움 발표, 1994
- 35) Sanders TAB, Ellis FR, Path FRC, Dickerson JWT. Studies of Vegans : The fatty acid composition of plasma choline phosphoglycerides, erythrocytes, adipose tissue and breast milk and some indicators of susceptibility to ischemic heart disease in vegans and omnivore controls. *Am J Clin Nutr* 31 : 805-813, 1978
- 36) Chung HY, Choi YJ, Lee JH, Lee-Kim YC. Effect of n-3/n-6 polyunsaturated fatty acid diets on fatty acid composition of mesenteric and subcutaneous fat lactating rat. The 6th Asian Congress of Nutrition, Malaysia, Abstract p390, 1991
- 37) Lin DS, Connor WE. Are the n-3 fatty acids from dietary fish oil deposited in the triglyceride stores of adipose tissue ? *Am J Clin Nutr* 51 : 535-539, 1990
- 38) Crawford MA, Doyle W, Drury P, Lennon A, Costloe K, Leighfield M, n-6 and n-3 fatty during early human development. *J Intern Med* 225(suppl 1) : 159-169, 1989
- 39) Bjerve KS. Plasma phospholipid eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid concentrations are divergently associated with plasma lipids in adults as well as with mental development in preterm infants. In *Advances in Polyunsaturated Fatty Acid Research*, p273-276, 1993
- 40) Neuringer M, Connor WE, Barstad L, Luck S. Biochemical and functional effects of prenatal and postnatal ω 3 fatty acid deficiency on retina and brain rhesus monkey. *Proc Acad Sci USA* 83 : 4021-4025, 1986
- 41) Lucas A, Morley R, Cole TJ, Lister G, Leeson-Payne C. Breast milk and subsequent intelligence quotient in children born premature. *Lancet* 339 : 261-264, 1992
- 42) 이기열 · 안홍석 · 이양자. 동맥경화증과 관련된 대사장애와 예방 및 치료 식이-지방(P/S 비율)을 중심으로-. *한국영양학회지* 12 : 9-23, 1979
- 43) Rifkind BM, Goor RS, Levy RI. Current status of the role of dietary treatment in the prevention and management of coronary heart disease. *Medical Clinics of North America* 63 : 911-925, 1979
- 44) Grundy SM. Comparison of monounsaturated fatty acids and carbohydrates for lowering plasma cholesterol. *New Engl J Med* 314 : 745-748, 1986
- 45) Grundy SM. Monounsaturated fatty acids, plasma cholesterol and coronary heart disease. *Am J Clin Nutr* 45 : 1168-1175, 1987
- 46) Schaefer EJ, Rees DG, Siguel EN. Nutrition, lipoproteins and atherosclerosis. *Am J Clin Nutr* 5 : 99-111, 1986
- 47) Harris WS, Connor WE, Inkeles SB, Illingworth DR. Dietary ω 3 fatty acids prevent carbohydrate-induced hypertriglyceridemia. *J Clin Invest* 74 : 72-89, 1984
- 48) Nestel PJ, Connor WE, Reardon MF, Connor S, Wong S, Boston R. Depression by diets rich in fish oil of very low density lipoprotein production in man. *J Clin Invest* 74 : 72-89, 1984
- 49) Harris WS, Connor WE, Inkeles SB, Illingworth DR. Reduction postprandial triglyceridemia in humans by dietary ω 3 fatty acids. *J Lipid Res* 29 :

1451-1460, 1988

- 50) Kinsella JE, Lokesh B, Stone RA. Dietary ω 3 polyunsaturated fatty acids and amelioration of cardiovascular disease : Possible mechanism. *Am J Clin Nutr* 52 : 1-28, 1990
- 51) Kestin M, Clifton P, Bellin GB, Nestel PJ. n-3 fatty acids of marine origin lower systolic blood pressure and triglycerides but raise LDL cholesterol compared with n-3 and n-6 fatty acids from plants. *Am J Clin Nutr* 51 : 1028-1034, 1990
- 52) Harris WS, Rothrock DW, Fanning A, Inkeles SB, Goodnight SH, Illingworth DR, Connor WE. Fish oil in hypertriglyceridemia : A dose-response study. *Am J Clin Nutr* 51 : 399-406, 1990
- 53) Harris WS. Fish oil and plasma lipid and lipoprotein metabolism in humans : A critical review. *J Lipid Res* 30 : 785-807, 1989
- 54) 이양자. 한국인의 고콜레스테롤 혈증과 영양. *한국지질학회지* 1(1) : 111-122, 1991
- 55) Sanders TAB, Hinds A, Pereira CC. Influence of n-3 fatty acids on blood lipids in normal subjects. *J Int Med* 225 : 99-104, 1989
- 56) Hayes KC, Khosla P, Pronczuk A, Linsley S. Dietary fatty acids and blood cholesterol. *Korean J Nutr* 24(4) : 378-392, 1991
- 57) Bonanome A, Grundy SM. Effect of dietary stearic acid on plasma cholesterol and lipoprotein levels. *N Eng J Med* 318 : 1244-1248, 1988
- 58) Norum KR. Dietary fat and blood lipids. *Nutr Rev* 50(4) : 30-37, 1992
- 59) Castelli WP. The triglyceride issue : A view from Framingham. *Am Heart J* 112 : 432-437, 1986
- 60) Chang NW, Hung PC. Effects of dietary monounsaturated fatty acids on plasma lipids in humans. *J Lipid Res* 31 : 2141-2147, 1990
- 61) Lands WEM. Biosynthesis of prostaglandins. *Ann Rev Nutr* 11 : 41-60, 1991
- 62) Bonna KH, Bjerve KS, Nordoy A. Habitual fish consumption, plasma phospholipid fatty acids, and serum lipids : The Tromso Study. *Am J Clin Nutr* 55 : 1126-1134, 1992
- 63) Dervon CA. Marine oils and their effects. *Nutr Rev* 50(4) : 38-45, 1992
- 64) Leaf A. Health claims : Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease. *Nutr Rev* 50(5) : 150-154, 1992
- 65) 오경원·박계숙·김택제·이양자. 일부 대학생의 지방산 섭취량과 섭취지방산의 ω 3, ω 6계 지방산 및 P/M/S 비율에 관한 연구. *한국영양학회지* 24(5) : 399-407, 1991
- 66) 정은경·백희영. 주요 지방급원 식품의 지방산 함량. *한국영양학회지* 26(3) : 254-267, 1993
- 67) 광동경·남혜원·정은정·장미라·문혜경·박신정·김숙영·이양자. 사업체 집단급식소 근로자의 지방질 섭취조사 연구. 대한영양사회 학술세미나, 1993
- 68) 이혜양·김숙희. 연령증가에 따른 한국성인의 영양섭취 상태가 지방대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 27(1) : 23-45, 1994
- 69) Lands WEM, Hamazaki T, Yamazaki K, Okuyama H, Sakai K, Goto Y, Hubbard VS. Changing dietary patterns. *Am J Clin Nutr* 51 : 991-993, 1991
- 70) Simopoulos AP. ω -3 fatty acids in growth and development and in health and disease : Part I : The role of ω -3 fatty acids in growth and development. *Nutr Today March/April* : 10-19, 1988
- 71) Hunter JE. N-3 fatty acids from vegetable oils. *Am J Clin Nutr* 51 : 809-814, 1990
- 72) 이양자·이희자·오경원. 상용식품중의 지방산 함량분석. 미발표자료, 1994
- 73) 식품성분표. 제 4 개정판, 농촌영양개선 연구원, 1991
- 74) 국민영양조사, 보사부, 1992(미발표 자료)
- 75) 신응남·배복선·이원정·조성희. 어유식이와 본태성 고혈압(SHR) 쥐의 혈압 및 지질 대사에 미치는 영향. *한국영양학회지* 18 : 1-13, 1989
- 76) Choi JS, Park HS. Influence of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids on plasma lipid-lowering effect and peroxidation level in rats. *한국영양학회지* 23(6) : 408-417, 1990
- 77) 홍미라. ω 6/ ω 3계 불포화지방산을 투여한 후 혈장의 지질조성과 tocopherol, malondialdehyde 형성 및 적혈구의 hemolysis 변화에 대한 kinetic 연구. *한국영양학회지* 23(2) : 81-92, 1990
- 78) 박혜선·김채종·구성자·이영순·박현서. 사람에게서 식이의 n-6 Gamma-linolenic acid와 n-3 Alpha-linolenic acid가 혈장 지질조성과 혈소판 응집반응에 미치는 영향. *한국영양학회지* 23(7) : 477-491, 1990
- 79) Nam JH, Park HS. Differential effect of n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids on plasma lipids in rats fed low and high fat diets. *한국영양학회지*

24(4) : 314-325, 1991

- 80) 조성희 · 임정교 · 최영선. 어유 섭취시 식이 비타민 E 수준에 따른 흰쥐 체내 비타민 E, A, 글루타치온 상태의 기간별 변화. *한국영양학회지* 25 : 586-596, 1992
- 81) Kim SH, Lee LH. Effect of n-3 fatty acids and vitamin A levels on humoral immunity in rats. *한국영양학회지* 25(6) : 468-475, 1992
- 82) Chai BS, Lee HK. Fatty acid composition of adipose tissue on Korean diabetics. In *Advances in Polyunsaturated Fatty Acid Research*, p203-204, 1992
- 83) Han Y, Kim K, Yim K, Choi H. Effect on dietary n-3, n-6 fatty acids on phase I drug metabolizing enzyme system in 2-acetylaminofluorene treated rat liver. In *Advances in Polyunsaturated Fatty Acid Research*, p249-250, 1992
- 84) Lee-Kim YC, Kim MK, Jung EJ, Chee KM. The requirement of α -linolenic acid for rat brain is minimal. In *Advances in Polyunsaturated Fatty Acid Research*, p279-280, 1992
- 85) 김경민 · 최혜미. 들깨유, 옥수수유의 섭취가 2-Acetylaminofluorene를 투여한 쥐 간에서 소포체막의 지방산 조성과 Cytochrome P-450 함량, Glutathione S-transferase 활성도에 미치는 영향. *한국영양학회지* 25(1) : 3-11, 1992
- 86) 김정선 · 김숙희 · 한용남. 불포화 지방산의 사육기간이 흰쥐의 항혈전장용, 혈액구성 및 혈소판의 지방산 조성변화에 미치는 영향. *한국영양학회지* 25 : 389-350, 1992
- 87) 박충실 · 최혜미. 들기름, 옥수수기름의 섭취와 2-Acetylaminofluorene 투여가 지질과산화물 및 PGE 2, TXB2 생성에 미치는 영향. *한국영양학회지* 25(5) : 351-359, 1992
- 88) Song JH. Effects of dietary selenium and fish oil on lipid peroxidation and fatty acid profile in the rat. *Korean J Nutr* 25(6) : 476-484, 1992
- 89) 박현서 · 이숙민. 식이의 n-3 지방산과 지방의 불포화도가 혈청 지질조성에 미치는 영향. *한국영양학회지* 25(7) : 555-568, 1992
- 90) 김숙희 · 홍미경. 급원이 다른 식이지방이 흰 쥐 지방대사와 혈소판 성상에 미치는 영향. *한국영양학회지* 26(5) : 513-523, 1993
- 91) 이미숙 · 김정희. 지방산 조성이 다른 식이지방이 발암물질을 투여한 쥐의 간 미토콘드리아 지질 조성과 Adenine Nucleotide Translocase 및 ATPase 활성도에 미치는 영향. *한국영양학회지* 26(5) : 532-546, 1993
- 92) 김정희 · 윤혜진 · 송지연 · 김경자. 지방산 조성이 다른 식이지방흰쥐 간 미토콘드리아 지질 조성과 Adenine Nucleotide Translocase 활성도에 미치는 영향. *한국영양학회지* 26(5) : 547-557, 1993
- 93) 김서혜 · 이일하. n-3, n-6 지방산과 비타민 A 수준이 흰 쥐의 혈청지질 농도 및 간조직에 미치는 영향. *한국영양학회지* 26(5) : 558-565, 1993
- 94) Park HS, Seo ES, Song JH, Choi CU. Effects of perilla oil rich in α -linolenic acid on colon tumor incidence : Plasma thromboxane B2 level and fatty acid profile of colonic mucosal lipids in chemical carcinogen-treated rats. *Korean J Nutr* 26(7) : 829-838, 1993
- 95) Jung, HR, Han YN, Kim SH. Hypolipidemic and antithrombotic effects of increasing intake of linolenic acid derived from perilla oil in rats. *Korean J Nutr* 26(7) : 839-850, 1993
- 96) 조성희. 지질과산화와 항산화 영향. *한국지질학회지* 3 : 23-32, 1993
- 97) 황혜진 · 정은정 · 이종호 · 지규만 · 이양자. ω 3계 및 ω 6계 지방산 식이가 흰쥐의 모유와 혈청의 지방산 성분 및 비타민 E 수준에 미치는 영향. *한국영양학회지* 27(1) : 3-11, 1994