

식이지방과 Tocopherol 첨가가 혈액의 지질 및 조직의 Tocopherol 함량과 지방산조성에 미치는 영향

남 정 혜·박 현 서

경희대학교 문리과대학 식품영양학과

Effect of Dietary Fat and Marginal Tocopherol Supplement on Plasma Lipid, Tocopherol Content and Fatty acid Composition of Rat Tissues

Nam, Jung-He and Park, Hyun-Suh

*Dept. of Foods & Nutrition, College of Liberal Arts & Science,
Kyung Hee University*

= ABSTRACT =

To observe the effect of the different level of PUFA and marginal tocopherol supplement on HDL - chol, tissue tocopherol content and fatty acid composition, the rats were supplied either safflower oil or coconut oil with or without tocopherol supplement to the experimental diet.

Plasma tocopherol level was not greatly influenced by the different dietary fat and similar effect was observed in the liver but not in the adipose tissue. HDL - chol level was reduced in the high PUFA diet regardless of tocopherol content.

No effect by tocopherol supplement was observed in the fatty acid composition of liver and adipose tissue lipid in both dietary PUFA levels. There was also no increase in the content of tissue polyenoic acid by tocopherol in the high PUFA diet. Fatty acid composition of tissue lipid was rather more influenced by dietary fat. Lauric and myristic acid contents were higher in the low PUFA diet and linoleic acid and total polyenoic acid content were higher in the high PUFA diet.

With tocopherol supplement tocopherol/PUFA ratio of tissue was increased but the ratio of high PUFA diet was significantly lower than that of low PUFA diet. Marginal tocopherol supplement could not reduce the peroxidizability index of high PUFA diet.

접수일자 : 1986년 9월 12일

서 론

실험재료 및 방법

동맥경화증 (Atherosclerosis) 과 관상동맥성 심장 질환 (Coronary Heart Disease ; CHD) 은 젊은이보다는 노인, 여자보다는 남자에게서 많이 유발되는 심장계 질환의 대표적인 예라고 할 수 있다¹⁾. 최근 혈청 및 생체 조직내의 cholesterol, TG, lipoprotein 등의 지질함량은 CHD의 발생과 진전에 관련이 있다는 많은 보고^{2,3)}가 있으며 이는 특히 식이지방의 종류와 양을 조절함으로써 어느정도 예방의 가능성도 있다고 하였다.

고 불포화지방식이나 지질의 P/S ratio가 높은 식이에 의하여 혈청내 cholesterol과 HDL-cholesterol 함량이 현저하게 감소되었다는 많은 보고^{4,5,6)}가 있었으며 본 연구팀에 의해서도 토끼에게 PUFA 함량을 다르게 하면서 다량의 tocopherol을 첨가하여 먹었을 때도 HDL-cholesterol 양은 high PUFA 식이에 의하여 감소되었다. Tocopherol은 hypocholesterolemic한 성질이 있어 사람과 토끼에게 다량투여시 CHD의 예방능력이 증진되었는데 이때 실제로 다량의 tocopherol이 투여되었기 때문에 식이내 PUFA에 의한 영향 뿐만 아니라 순수한 tocopherol에 의한 영향이 있을 가능성도 있었다^{7,8)}. Cis형의 불안정한 이중결합을 갖고 있는 PUFA는 쉽게 peroxidation에 의하여 산패가 되지만 tocopherol과 같은 항산화제가 존재하면 지방산의 산화를 방지할 수 있는 것이다^{9,10)}. 그러므로 식이내 PUFA 함량이 증가함에 따라 tocopherol의 필요량도 증가된다고 하였다¹¹⁾. 또한 Sundaram 등¹²⁾의 보고에 의하면 tocopherol이 혈청이나 조직의 지질대사에 미치는 영향이 동물의 나이에 따라 다를 지도 모른다고 하였으며, 본 연구실에서도 여자 대학생과 토끼에게 tocopherol을 다량 투여시 HDL fraction이 증진되었다^{7,8)}. 그러나 이때는 젊은 여대생과 나이가 어린 토끼를 대상으로 하여 얻은 결과이었으므로 본 연구에서는 동물의 나이가 많은(생후 40주) 늙은 쥐에서 식이내의 PUFA 함량을 변화시킴으로써 혈액과 조직의 지질함량에 미치는 영향과 또 각각의 식이에 적절한 양(40mg/kg diet)의 tocopherol을 첨가하였을 때 동물 조직의 tocopherol 양과 PUFA 조성에는 어떤 영향을 미치는 지를 검토하고자 시도하였다.

1) 실험동물

Sprague Dawley virgin female을 임신시켜 태어난 새끼중 수컷 20마리를 고형사료로 40주동안 사육한 후 체중에 따라 난피법으로 4군으로 나누었을 때 평균체중은 430±20g이었으며 이들을 각 실험식으로 4주간 사육하였다. 체중은 3일에 한번씩, 식이섭취량은 매일 같은 시간에 측정하였다.

2) 실험식이

각 실험식의 지방함량은 총 무게의 15% 수준으로 coconut oil(CO)과 safflower oil(SO)를 사용하여 Table 1 과 같이 계획하였다. 이때 불포화지방산의 급원인 SO의 함량이 높은 군을 High PUFA(H P) 군이라 하고 포화지방산의 급원인 CO의 함량이 높은 군을 Low PUFA(LP) 군이라 하였다. 또한 식이 1kg당 tocopherol 40 mg을 첨가하여 먹인 군을 각각 HPT 또는 LPT 군이라 하였다.

3) 분석방법

혈액은 실험기간 4주가 끝나는 날 12시간 - fasting 후에 단두기로 절두하여 채혈되었으며 serum은 즉시 분리되어 high density lipoprotein(HDL)을 분리하여 당일에 cholesterol 함량을 측정하였다.

Serum cholesterol 함량은 효소시약 kit(일본국제시약)에 의하여 분석되었고 HDL fraction의 cholesterol은 효소시약에 Na₂-EDTA를 농도가 8.0 mmole/L이 되도록 첨가한 후 측정하였다.

간과 지방조직의 cholesterol 함량은 Bligh & Dyer¹³⁾의 방법을 하여 지방을 추출한 뒤 McDougal 등¹⁴⁾의 방법으로 측정하였고 serum과 조직의 TG양은 Fletcher¹⁵⁾의 방법으로 각각 분석하였다.

Serum tocopherol 양은 Taylor¹⁷⁾의 방법에 의하여 dl- α -tocopherol acetate solution(1ug/ml in ethanol)을 표준용액으로 사용하여 각각 분석하였다.

간과 지방조직의 lipid 추출액중 일정량을 취하여 BF₃-MeOH를 사용하여 Morrison 등¹⁸⁾의 방법으로 methylation시킨 후 Gas Chromatography(Varian 2,700)을 이용하여 지방산 조성을 검토하였다. 이때 사용된 glass column의 size는 6'×1/4, resin은 10% EGSS-X on 80/100 chromosorb W AW로, detector는 Flame Ionization Detector(FID)를 사용하여 column과 injection temperature 200°C, detection

-식이지방과 Tocopherol 첨가가 혈액의 지질 및 조직의 Tocopherol 함량과 지방조성에 미치는 영향-

Table 1. Composition of experimental diet for rats(g/kg diet).

Diet Compositions	LP	HP	LPT	HPT
Corn Starch	560	560	560	560
Casein	200	200	200	200
DL - Methionine	3	3	3	3
Oil ¹				
Coconut oil	150	-	150	-
Safflower oil	-	150	-	150
Salt Mixture ²	32	32	32	32
Zn Mixture ³	8	8	8	8
Vitamin Mixture ⁴	10	10	10	10
α - Cellulose	37	37	37	37
DL - α - Tocopherol acetate (mg)	-	-	40	40
P/S ratio	0.02	8.2	0.02	8.2

1. Oil

Vitamin A: 3.0mg Vitamin A in 150g oil.

Vitamin D: 1.5mg Vitamin D in 150g oil.

2. Hubbel Mendel Wakeman Mixture (per 100g)

Calcium carbonate 54.3 ; Magnesium carbonate 2.50 ; Magnesium sulfate · 7H₂O 1.60 ; Sodium chloride 6.90 ; Potassium chloride 11.20 ; Potassium phosphate monobasic 21.20 ; Ferric phosphate 2.05 ; Potassium iodide 0.008 ; Manganese sulfate · H₂O 0.035 ; Sodium fluoride 0.01 ; Aluminium potassium sulfate 0.017 ; Copper sulfate · 5H₂O 0.09.

3. Zn Mixture

1.67g Zn acetate/kg Corn starch.

4. Vitamin Mixture (per 100g)

Thiamine - HCl 0.04 ; Riboflavin 0.08 ; Pyridoxine - HCl 0.05 ; Ca - Pantothenate 0.40 ; Inositol 2.00 ; Menadione 0.04 ; Niacin 0.40 ; Choline dihydrogen citrate 42.38 ; Biotin premix^a 0.30 ; Vitamin B₁₂ premix^b 1.00 ; Corn starch 53.27 ;

a Biotin premix : 1.0g biotin mixed with 99g corn starch.

b Vitamin B₁₂ premix : 1.0g vitamin B₁₂ mixed with 500g corn starch.

Abbreviations

PUFA : Polyunsaturated Fatty Acid

LP : Low PUFA diet ; HP : High PUFA diet

LPT : LP + tocopherol ; HPT : HP + tocopherol

P/S : Polyunsaturated fatty acid / Saturated fatty acid.

temperature 250°C 에서 측정하였다.

결과 및 고찰

1) Serum tocopherol

식이지방중 PUFA 함량이 증가될수록 생체내에 서 산화로부터 세포막 보호를 위하여 tocopherol 의

필요량은 더욱 증가된다는 많은 보고^{19,20}가 있었다. 본 실험에서는 식이내의 PUFA 수준에 관계없이 serum tocopherol 양은 LP 와 HP군에서 같은 수준 이었다. 이는 원래 HP군의 식이에 사용되었던 safflower oil 자체내에 함유되어 있는 tocopherol (Natural Tocopherol ; DL- α -tocopherol ; 26-32mg/100g oil) 이 있기 때문에 HP군이 실제로 LP군보다 더 높

Table 2. Effect of dietary polyunsaturated fatty acid & tocopherol supplement on serum tocopherol, cholesterol, HDL-cholesterol and triglyceride in rats

Groups	Tocopherol (ug/dl)	T-Chol (mg/dl)	HDL-Chol (mg/dl)	TG (mg/dl)
LP (5)	83.26±40.78 ^{1a}	117.87±18.55	100.36±25.54	177.73±15.54
HP (5)	83.86±34.57 ^{1b}	100.37±21.04	80.30±18.25	161.52±31.77
LPT(5)	200.65±40.09	107.28±32.56	93.67±34.18	162.22±4.84
HPT(5)	148.92±44.08	91.95±15.33	86.82±31.21	161.82±13.00
LP + HP (10)	83.56±35.65 ^{2a}	101.92±19.18	90.33±23.45	169.63±25.05
LPT + HPT(10)	177.67±47.71 ^{2b}	92.29±40.81	81.56±40.95	148.80±53.14
LP + LPT (10)	141.96±72.67	108.08±25.13	97.01±28.66	172.81±14.46
HP + HPT(10)	112.77±50.02	86.12±34.43	74.88±34.28	145.65±55.46

Mean ± S.D.

(): Number of rats.

Superscript 1: Significant at P < 0.05.

Superscript 2: Significant at P < 0.001.

Superscript a or b : Values with different alphabet within the column were significantly different by Student t- test.

T-Chol : Total Cholesterol. TG: Triglyceride.

HDL-Chol: High Density Lipoprotein Cholesterol

은 수준의 tocopherol을 함유하고 있었으므로 PUFA의 함량이 높아 tocopherol의 필요량이 증가되었다해도 serum tocopherol 양은 최소한 같은 수준으로 유지된 것으로 사려된다. 그러나 tocopherol을 첨가하였을 때는 식이구성에 관계없이 두군 다 serum tocopherol 양은 증가되었으며 HP군은 천연 tocopherol이 함유되어 있었으나 tocopherol을 첨가한 후에는 LP군보다 낮은 수준이었다. 이것은 고 PUFA에 의한 필요량의 증가가 모든 식이에 tocopherol을 첨가했을 때 비로서 그 차이를 보였을 가능성이 있었으나 통계적 유의성이 있는 차이는 아니었다. 그러나 본 연구에서는 최소로 적절한 양의 tocopherol을 투여 하였는데도, 모든 군에서 식이구성과는 무관하게 tocopherol 첨가유무에 따라 함해보면 혈액에서는 식이구성이 무엇이든간에 tocopherol을 첨가했을 때 유의성있게 증가되었으나 식이의 지방산 조성에 의해서는 혈액의 tocopherol 양에는 유의성있는 영향을 주지 못하였다. 따라서 Catignani & Fuller의 보고²¹⁾에서처럼 이로 인하여 조직에서의 uptake는 어떠한지 관찰하기에는 좋은 조건이 아닌가 사려된다.

2) Tissue tocopherol

Table 3에서 보는 바와 같이 간과 지방조직의 단위무게당 tocopherol 함량은 tocopherol을 첨가하였을 때 모든 조직에서 LPT군은 LP군에 비하여, HPT군은 HP군에 비하여 약간 증가되었다. 간조직의 tocopherol 양은 지방조직내의 tocopherol 양에 비하여 훨씬 낮은 수준이었으나 serum tocopherol의 변화와 비슷하였다. 그러나 지방조직은 serum tocopherol의 변화와는 무관하였다. 이는 Bieri 등의 보고²²⁾에 의하면 비만인 늙은 쥐에게 식이 1kg당 40mg의 dl- α -tocopheryl acetate를 첨가하여 먹인 결과 간조직의 총 tocopherol 함량에 비하여 지방조직의 tocopherol 양은 약 6배나 저장할 수 있다고 하였다. 본 실험에서도 사용된 동물이 비만한 늙은 쥐로써 훨씬 많은 지방이 지방조직에 있어 간조직에서 보다 지방조직의 tocopherol 수준이 유의성있게 훨씬 높았다.

3) Serum cholesterol

Serum에서는 각 군간에 큰 차이는 없었으나 HP

-식이지방과 Tocopherol 첨가가 혈액의 지질 및 조직의 Tocopherol 함량과 지방조성에 미치는 영향-

Table 3. Effect of dietary polyunsaturated fatty acid & tocopherol supplement on tissue tocopherol and its ratio to polyenoic acids

Tissues	Groups	Tocopherol (ug/g wet)	Tocopherol (ug)
			PUFA (g)
Liver	LP (5)	3.68±1.50	33.67±17.20
	HP (5)	3.23±1.99	12.99± 5.20
	LPT (5)	5.68±0.96 ^{1a}	49.91±12.63 ^{3a}
	HPT (5)	2.72±1.32 ^{1b}	10.63± 3.66 ^{3b}
	LP + HP (10)	3.46±1.68	24.43±16.92
	LPT + HPT (10)	4.20±1.90	29.27±21.52
	LP + LPT (10)	4.68±1.59	41.79±15.62 ^{2a}
	HP + HPT (10)	2.97±1.62	11.81± 4.42 ^{2b}
Adipose	LP (5)	24.37± 3.26 ^{2a}	88.65±12.51 ^{1a}
	HP (5)	32.80± 6.01 ^{2b}	71.05±13.18
	LPT (5)	33.28± 8.69 ^{2b}	140.51±32.60 ^{1b}
	HPT (5)	38.34±11.90	84.23±15.13
	LP + HP (10)	27.83± 5.64 ^{2a}	79.85±15.26 ^{1a}
	LPT + HPT (10)	37.47± 7.89 ^{2b}	112.37±38.13 ^{1b}
	LP + LPT (10)	28.57± 6.34 ^{1a}	114.58±35.91 ^{2a}
	HP + HPT (10)	36.72± 8.26 ^{1b}	77.64±15.07 ^{2b}

Mean ± S.D.

(): Number of rats.

Superscript 1 : Significant at P < 0.05.

Superscript 2 : Significant at P < 0.01.

Superscript 3 : Significant at P < 0.001.

Superscript a or b: Values with different alphabet within the column were significantly different by Student t- test.

군은 LP 군에 비해서, HPT 군은 LPT 군에 비해서 감소된 경향을 보였으나 통계적인 유의성은 없었다 (Table 2). 이와같은 결과는 사람과 쥐에서 식이내 PUFA 함량을 증가시켰을 때 serum cholesterol 을 감소시킬 수 있었다는 보고²³⁾와 일치하였으나 감소의 정도가 적은 것은 동물의 나이가 많아 식이내 PUFA에 의한 영향이 적었을 것이며, 투여된 tocopherol 도 최소 필요량이었으므로 그 차이가 거의 없었던 것으로 사려된다.

HDL-cholesterol 양은 high PUFA 군(HP, HPT) 이 low PUFA 군 (LP, LPT) 에 비하여 더 낮았으며 tocopherol 을 첨가하였을 때에는 PUFA 에 의한 영향이 줄었다. 이와같은 결과는 토끼실험에서도 관찰

되었는데 (7) high PUFA 식이에 의하여 HDL-cholesterol 양은 감소되었으나 이 high PUFA 식이에 다량의 tocopherol 을 첨가시 HDL-cholesterol 양이 약간 되었었는데 (7) high PUFA 식이에 의하여 HDL-cholesterol 양은 감소되었으나 이 high PUFA 식이에 다량의 tocopherol 을 첨가시 HDL-cholesterol 양이 약간 증가되어 오히려 PUFA 에 의한 감소가 줄었다고 하였다.

본 연구에서 tocopherol 을 적은 양 첨가해주었을 때 토끼 실험에서와 같이 통계적인 유의성은 없었지만 serum HDL-cholesterol 양이 약간 증가되었다.

4) Serum TG

Serum TG 양은 HP 군은 LP 군에 비하여, HPT

Table 4. Fatty acid composition of total lipids from liver of rats fed the different dietary fats with or without tocopherol supplement

Fatty acid	LP (5)	LPT (5)	HP (5)	HPT (5)
12:0	1.50±1.18	0.35±0.56	-	-
14:0	3.77±2.20 ^{1a}	2.39±0.48	0.49±0.09 ^{1b}	
16:0	38.87±6.05	38.57±2.60	40.28±6.23	42.53±4.16
16:1	2.38±2.21	4.08±1.25	-	-
18:0	22.38±5.81	22.44±5.43	23.73±5.03	19.11±6.40
18:1	17.13±6.55	20.00±5.51	10.62±2.31	13.73±3.78
18:2	10.95±2.58 ^{1a}	12.18±1.86 ^{2a}	24.17±9.14 ^{1b}	24.63±3.50 ^{2b}
18:3	trace	trace	trace	trace
20:0	0.29±0.04	trace	trace	trace
22:0	1.78±0.98	trace	trace	trace

Mean ± S.D. Values are expressed in the relative % of total fatty acid.

(): Number of rats.

Superscript 1 : Significant at P < 0.05.

Superscript 2 : Significant at P < 0.01.

Superscript a or b : Values with different alphabet within the same row were significantly different by Student t-test

Table 5. Fatty acid composition of total lipids from liver of rats fed the different dietary fats with or without tocopherol supplement

Fatty acid	LP+ HP(10)	LPT+ HPT(10)	LP+LPT(10)	HP+ HPT(10)
12:0	1.88±0.96 ^{1a}	0.87±0.60	1.54±0.95	
14:0	3.04±2.29	2.39±0.48	3.08±1.67 ^{1a}	1.23±1.71 ^{1b}
16:0	39.57±5.84	40.56±3.88	38.72±4.39	41.40±5.13
16:1	3.96±0.56 ^{1a}	2.04±2.31 ^{1b}	3.23±1.92	-
18:0	23.04±5.17	20.77±5.86	22.40±5.30	21.42±5.95
18:1	13.88±5.79	16.86±5.53	18.57±5.90 ^{1a}	12.18±3.38 ^{1b}
18:2	17.56±9.41	18.41±7.07	11.57±2.22 ^{2a}	24.40±6.53 ^{2b}
18:3	trace	trace	trace	trace
20:0	0.98±0.28	trace	0.14±0.30	1.16±0.17
22:0	0.89±0.82	trace	0.78±0.08	trace

Mean ± S.D.

(): Number of rats.

Values are expressed in the relative % of total fatty acids.

Superscript 1 : Significant at P < 0.05.

Superscript 2 : Significant at P < 0.001.

Superscript a or b : Values with different alphabet within the same row were significantly different by Student t-test

-식이지방과 Tocopherol 첨가가 혈액의 지질 및 조직의 Tocopherol 함량과 지방조성에 미치는 영향-

Table 6. Fatty acid composition of total lipids from adipose tissue of rats fed the different dietary fats with or without tocopherol supplement

Fatty acid	LP (5)	LPT (5)	HP (5)	HPT (5)
12:0	9.71±1.11 ^{1a, 3a}	12.41±1.45 ^{1b, 3a}	0.95±0.55 ^{3b}	0.45±0.18 ^{3b}
14:0	4.84±0.70 ^{3a}	5.81±0.84 ^{3a}	1.23±0.26 ^{3b}	1.07±0.04 ^{3b}
16:0	15.73±1.56	19.47±2.83	18.80±4.27	17.31±1.57
16:1	9.51±1.26 ^{1a}	7.48±0.05 ^{1b}	3.87±0.84	4.22±0.33
18:0	2.96±0.28	2.78±0.51	2.36±1.64	2.89±0.33
18:1	29.26±2.84	27.92±1.21 ^{1a}	28.26±3.15	24.37±1.88 ^{1b}
18:2	27.38±5.54 ^{2a}	23.74±6.23 ^{3a}	44.10±4.12 ^{2b}	50.02±5.04 ^{3b}
18:3	0.31±0.02	0.42±0.03	0.10±0.01	-
20:0	trace	trace	trace	trace
22:0	trace	trace	0.21±0.01	0.33±0.07

Mean ± S.D.

(): Number of rats.

Values are expressed in the relative % of total fatty acid.

Superscript 1: Significant at P < 0.05.

Superscript 2: Significant at P < 0.01.

Superscript 3: Significant at P < 0.001.

Superscript a or b: Values with different alphabet within the same row were significantly different by Student t-test.

군은 LPT군에 비하여 약간 낮은 수준이었으며, tocopherol을 첨가하였을 때에도 거의 같은 수준으로 유지되었다 (Table 2). 식이내의 PUFA 양에 의하여 serum TG 양이 감소된 Kannel등²⁰의 보고와는 달리 본 실험에서는 사용된 동물의 나이가 많아 식이내 PUFA의 영향을 적게 받았을 가능성도 있으며, tocopherol도 적은 양으로써 순수한 tocopherol의 영향은 볼 수 없었다. 또한 식이중의 coconut oil 이나 safflower oil의 지방산중 palmitic acid나 stearic acid의 함량은 큰 차이가 없고 다만 PUFA 함량이 크게 다르게하여 투여하였는데도 serum TG에는 큰 영향을 미치지 않았다. Harris 등²⁰의 보고에서처럼 생선유의 ω-3 지방산보다 serum TG 감소에는 큰 효과가 없었다고 사려된다.

5) Fatty acid composition

동물조직의 지방산 조성은 체내의 생합성에 의해서 뿐만 아니라 식이로 섭취하는 지방산의 종류에 따라 영향을 받는다. 동물의 식이로 사용된 coconut oil에는 safflower oil에 비하여 lauric acid와 myristic acid가 높은 반면에 safflower oil에는 linoleic acid가 훨씬 많이 함유되어 있으므로 동물에게 투

여한 후에도 LP군에는 lauric acid와 myristic acid가 다른 지방산 양에 비해서는 낮은 수준이나 유의성있게 높았으며, 그 반면에 linoleic acid는 별 차이가 없었다. 그러나 oleic acid는 LP군에서 약간 더 높았는데 이는 Hamilton 등²⁰의 보고에서처럼 체내에서 합성이 가능했기 때문이 아닌가 한다. Table 5와 8에서 위의 결과를 다시 정돈해 보면 식이중 PUFA 함량에 관계없이 tocopherol을 첨가해 주어도 모든 지방산 분포에는 영향을 미치지 못하였으며, 특히 polyenoic acid 양에도 변화가 없었다. 포화지방산의 양은 약간 감소 되었으며 monoenoic acid의 양은 약간 높아졌으나 통계적 유의성은 없었다. 그러나 tocopherol의 첨가와 무관하게 low PUFA군에 비해 high PUFA군의 polyenoic acid 함량은 유의성있게 높았으며 low PUFA군에서는 포화지방산으로부터 monoenoic acid가 더 합성되어 high PUFA군보다 유의성 있게 높았다.

지방조직의 지방산 조성은 (Table 6) 간에서처럼 지방산 lauric acid와 myristic acid의 양이 LP군에서 유의성 있게 높았다. palmitoleic acid는 LP군에서 더 높았으나 palmitic, stearic, oleic acid 양에는 차이가 없었으며 linoleic acid 양은 HP

Table 7. Fatty acid composition of total lipid from adipose tissue of rats fed different dietary fats and tocopherol supplement

Fatty acid	LP+ HP (10)	LPT+HPT (10)	LP+ LPT (10)	HP+ HPT (10)
12: 0	5.33± 4.75	6.43± 4.46	11.06±1.88 ^{1a}	0.70±0.46 ^{1b}
14: 0	3.03± 1.99	3.44± 2.59	5.32±0.88 ^{1a}	1.15±0.19 ^{1b}
16: 0	17.26± 3.40	18.39± 2.41	17.10±2.91	18.05±3.09
16: 1	8.92± 1.96	7.80± 3.57	8.49±4.19	6.47±1.89
18: 0	3.91± 1.86	2.83± 0.39	2.87±0.40	2.99±0.43
18: 1	28.82± 2.89	26.15± 2.40	28.59±2.14	26.38±3.29
18: 2	35.74± 10.02	36.88±15.00	25.56±5.79 ^{1a}	47.06±5.31 ^{1b}
18: 3	trace	trace	1.45±0.30	trace
20: 0	trace	trace	trace	trace

Mean ± S.D.

() : Number of rats.

Values are expressed in the relative % of total fatty acid.

Superscript 1 : Significant at P < 0.001.

Superscript a or b : Values with different alphabet within the same row significantly different by Student t - test.

Table 8. Effect of dietary PUFA on fatty acid content and peroxidizability index (PI) of liver lipids in rats.

Groups	C ₁₂ -C ₂₂ Saturated	Monoenoic	Polyenoic	PI
LP (5)	68.56±10.69	20.33±9.58	10.95±2.58 ^{1a}	11.46±2.68 ^{1a}
LPT (5)	63.75± 7.69	24.04±6.61 ^{1a}	12.18±1.86 ^{2a}	12.77±1.95 ^{2b}
HP (5)	65.19± 9.36	10.62±2.31	24.17±9.14 ^{1b}	24.43±9.14 ^{1b}
HPT (5)	61.63± 5.59	13.73±3.78 ^{1b}	24.63±3.50 ^{2b}	24.97±3.52 ^{2b}
LP + HP (10)	66.88± 9.84	15.47±8.32	17.56±9.41	17.95±9.33
LPT + HPT(10)	62.69± 6.43	18.90±7.46	18.41±7.07	18.87±6.97
LP + LPT(10)	66.15± 9.14	22.20±8.02 ^{2a}	11.57±2.22 ^{3a}	12.12±2.32 ^{3a}
HP + HPT(10)	63.41± 7.51	12.18±3.38 ^{2b}	24.40±6.53 ^{3b}	24.70±6.54 ^{3b}

Mean ± S.D.

() : Number of rats.

Superscript 1: Significant at P < 0.05.

Superscript 2: Significant at P < 0.01.

Superscript 3: Significant at P < 0.001.

Superscript a or b : Values with different alphabet within the column were significantly different by Student t - test.

PI: Peroxidizability Index = (% of monoenoic acids × 0.025) + (% of dienoic acids × 1) + (% of trienoic acids × 2) + (% of tetraenoic acids × 4) + (% of pentaenoic acids × 6) + (% of hexaenoic acids × 8).

-식이지방과 Tocopherol 첨가가 혈액의 지질 및 조직의 Tocopherol 함량과 지방조성에 미치는 영향-

Table 9. Effect of dietary PUFA on fatty acid content and peroxidizability index(PI) of liver lipids in rats

Groups	C ₁₂ -C ₂₂ Saturated	Monoenoic	Polyenoic	PI
LP (5)	33.24± 2.76 ^{1a}	38.76± 2.79	27.69± 5.00 ^{2a}	28.66± 4.94 ^{1a}
LPT (5)	40.50± 2.49 ^{1b}	35.40± 6.05	24.15± 5.89 ^{1a}	25.04± 5.75 ^{2a}
HP (5)	23.54± 4.04 ^{1b}	32.26± 6.54	44.21± 4.05 ^{2b}	45.12± 3.85 ^{1b}
HPT (5)	21.80± 1.76	28.59± 4.33	50.02± 5.04 ^{1b}	50.74± 4.94 ^{2b}
LP + HP (10)	28.39± 6.09	35.51± 5.81	35.99± 9.39	36.89± 9.71
LPT + HPT (10)	31.13± 10.18	32.00± 6.08	37.14± 14.59	37.89± 14.60
LP + LPT (10)	29.77± 15.46	37.08± 4.71 ^{2a}	25.90± 4.91 ^{2a}	26.85± 5.33 ^{2a}
HP + HPT (10)	22.67± 3.03	30.42± 5.50 ^{2b}	47.24± 4.95 ^{2b}	47.91± 5.09 ^{2b}

Mean ± S.D.

(): Number of rats.

Superscript 1: Significant at P < 0.01.

Superscript 2: Significant at P < 0.001.

Superscript a or b: Values with different alphabet within the column were significantly different by Student t-test.

군에서 역시 더 유의성 있게 높았다 (P < 0.01). 그러나 간에서와는 다르게 포화지방산의 함량이 낮은 반면에 monoenoic acid와 polyenoic acid의 함량이 상대적으로 더 높게 분포되어 있었다. 간에서처럼 Table 7과 9에서 다시 정돈해 보면 식이내 tocopherol을 첨가했을 때 지방산 분포에는 아무런 영향이 없었으며, 간에서처럼 식이지방의 지방산조성에 의하여 더 영향을 받았다.

Table 3에서 보는 바와 같이 tocopherol 첨가했을 때 간과 지방조직의 tocopherol (ug) / PUFA (g) 비율은 LP군에 비해서 LPT군에서 더 높으나 통계적으로 지방조직에서만 유의성이 있었으며, high PUFA군에서는 거의 차이가 없었다. 그러므로 식이구성과 무관하게 tocopherol을 첨가한 군끼리 합해서 비교해 보면 간에서는 tocopherol을 첨가해도 그 비율은 증가되지 않았으나 지방조직에서는 더 많은 tocopherol이 저장되어 그 비율이 유의성 있게 증가되었다 (P < 0.05). 그러나 high PUFA군에서는 조직의 polyenoic acid의 함량이 증가되어 low PUFA군에 비하여 간과 지방조직 모두 유의성 있게 tocopherol / PUFA 비율이 감소되었다. 지방조직에는 간 조직에 비하여 지방의 함량이 높음에 따라 tocopherol의 양도 더욱 많이 저장되어 있으나 이것이 혈액의 tocopherol 수준과는 무관하였으므로 이 저장된 tocopherol이 어

느정도 혈액의 tocopherol 수준을 유지해 줄 수 있는 지 본 연구로서는 그 대사를 규명할 수 없었다.

Witting¹⁹이 보고한 것처럼 조직의 지방산 조성에서 peroxidizability index(PI)를 계산해 보면 (Table 8과 9) 간과 지방조직 모두 low PUFA군에 비해 high PUFA군에서 polyenoic acid의 함량이 더 높은 것에 비해서 PI의 값도 높았다. 이 때 tocopherol 첨가에 의해서 지방산 조성에 큰 영향을 주지 못한 것과 같이 PI값도 변화되지 않았다. 본 연구에서는 측정되지는 않았지만 다른 보고에 의하면 10% 수준의 coconut oil이나 corn oil을 먹여 보고했을 때 PUFA 함량에 비해서 간의 Endoplasmic Reticulum의 lipid peroxide 함량이 더 높았으며 이때 tocopherol을 첨가했을 때는 PUFA 양이 높을수록 tocopherol에 의한 감소가 뚜렷했다. 그러므로 PUFA의 섭취가 높으면 그 만큼 PI값이 증가되고 lipid peroxide 생성이 증가되었을 가능성이 있었고 그에 따라 tocopherol 사용율이 더 높았을 것으로 보며 조직에 남아있는 tocopherol의 함량도 감소된 것으로 사려된다.

결 론

본 연구에서는 노년기의 늙은 쥐에게 식이지방 중

coconut oil과 safflower oil을 사용하여 식이내 PUFA 함량을 변화시키고 적절한양의 tocopherol을 첨가한 식이를 투여했을 때 식이지방의 PUFA 함량이 혈액의 tocopherol 및 그 이외의 지질조성에 미치는 영향과 또 조직내의 지방산 조성에는 어떠한 영향을 미치는 지를 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Serum tocopherol 함량은 식이내의 PUFA 양에 의한 영향은 없었으나 tocopherol을 첨가하였을 경우 식이구성에 관계없이 두 군 (LP, HP)에서 모두 유의성있게 증가되었다. 간과 지방조직의 단위 무게당 tocopherol 함량은 tocopherol을 첨가하였을 때 두군 모두 약간 증가되었다. 간 조직의 tocopherol 양은 지방조직내의 tocopherol 양에 비하여 훨씬 낮은 수준이었으나 serum tocopherol의 변화와 비슷하였으며 지방조직은 무관하였다.

2) Serum total cholesterol과 HDL-cholesterol 함량은 high PUFA 식이에 의하여 감소된 경향을 보였으며, high PUFA 식이에 tocopherol을 첨가해 줌으로서 serum cholesterol 양은 더욱 낮은 수준을 유지하였다.

3) Serum TG 함량은 식이중 PUFA 함량이 높았을 때 약간 낮은 수준이었으며, tocopherol의 첨가에 의해서 더욱 낮아지지는 않았다.

4) 간 조직의 지방산조성은 식이 중 PUFA 함량에 관계없이 tocopherol을 첨가했을 때 polyenoic acid 양에는 변화가 없었으나 tocopherol의 첨가와 는 무관하게 low PUFA군에 비해 high PUFA군의 polyenoic acid 함량이 유의성있게 증가되었다.

지방조직의 지방산 조성은 lauric acid와 myristic acid의 양이 LP군에서 더 높았던 반면에 monoenoic acid와 polyenoic acid의 함량이 상대적으로 더 높았다. 식이내 tocopherol을 첨가했을 때 지방산분포에는 그다지 영향이 없었으며, 간에서 처럼 식이지방의 지방산 조성에 의하여 더 영향을 받았다.

5) Tocopherol을 첨가했을 때 간과 지방조직의 tocopherol(ug) / PUFA(g) 비율은 low PUFA군에서 더 높으나 high PUFA군에서는 거의 차이가 없었다. 식이구성과 무관하게 tocopherol을 첨가한 군끼리 합해서 비교해보면 간에서는 tocopherol을 첨가해도 그 비율이 증가되지 않았으나 지방조직에서는 더 많은 tocopherol이 저장되어 유의성있게 증가되었다.

6) 간과 지방조직 모두 low PUFA군에 비해 high PUFA군의 polyenoic acid의 함량에 비례해서 peroxidizability index의 값이 높았으며 이때 tocopherol 첨가에 의한 영향은 없었다.

REFERENCES

- 1) Pometta, D., Micheli, H., Raymond, L., Oberhaensli, I. & Suenram, A.: *Decreased HDL - cholesterol in prepubertal and pubertal children of CHD patients. Atherosclerosis* 36:101-109, 1980.
- 2) Shekelle, R.B., Shryock, A. M., Oylesby, P., Mark, L., Jeremiah, S., Shnguey, L. & Raynor, W.J.: *Diet, serum cholesterol, and death from coronary heart disease. N. Engl. J. Med.* 304: 65-70, 1981.
- 3) Nicoli, A., Miller, N.E. & Lewio, B.: *High density lipoprotein metabolism. Adv. Lipid Res.* 17: 53-105, 1980.
- 4) Vega, G.L., Groszek, E., Wolf, R. & Grundy, S. M.: *Influence of polyunsaturated fats on composition of plasma lipoproteins and apoproteins. J. Lipid Res.* 23: 811-822, 1982.
- 5) Paul, R., Ramesha, C.S. & Ganguly, J.: *On the mechanism of hypocholesterolemic effects of polyunsaturated lipids. Adv. Lipid Res.* 17: 155-171, 1980.
- 6) Park, H.S.: *Effect of dietary fat level and P/S ratio on HDL - chol, total cholesterol and triglyceride in plasma and selected tissues of rats. Korean J. Nutr.* 15: 47-53, 1983.
- 7) Park, H.S. & Park, B.S.: *Effect of tocopherol supplementation on HDL subfraction and lipoprotein pattern in rabbits fed high polyunsaturated fatty acids. Korean J. Nutr.* 18: 29-35, 1985.
- 8) Park, H.S. & Choi, K.H.: *Effect of cholesterol feeding on HDL - cholesterol, total cholesterol, and triglyceride of plasma and tissues of rats fed the different dietary fat level and P/S ratio. Korean J. Nutr.* 17: 281-289, 1984.

- 9) Horwitt, M.K. : *Vitamin E ; a reexamination* .
Am. J. Clin. Nutr. 29: 569-572, 1976.
- 10) Tappel, A.L. : *Vitamin E. Nutr. Today*. Jul /
Aug. 1973
- 11) Horwitt, M.K., Harvey, C.C., Duncan, G.D. &
Wilson, W.C. : *Effect of limited tocopherol in-
take in man with relationships to erythrocyte
hemolysis and lipid oxidations*. *Am. J. Clin.
Nutr.* 4: 408-413, 1956.
- 12) Sundaram. G.S., Manimekalai, S., London, R.
S. & Goldstein, P. : *Effect of α -tocopherol
on serum hormone and lipoprotein cholesterol
levels in young and adult female rats*. *Ann. N.
Y. Acad. Sci.* 393: 190-192, 1982.
- 13) Bligh, E.G. & Dyer, W.J. : *A rapid method
of total lipid extraction and purification*. *Can.
J. Biochem. Physiol.* 37: 911-917, 1959.
- 14) McDougal, D.B. & Farmer, H.S. : *A fluoro-
metric method for total serum cholesterol*. *J.
Lab. & Clin. Med.* 50: 485-488, 1957.
- 15) Fletcher, M.J. : *A colorimetric method for est-
ablishing serum triglyceride*. *Clin. Chem. Acta.*
22: 393-398, 1968.
- 16) Storer. G.B. : *Fluorometric determination of to-
copherol in sheep plasma*. *Biochem. Med.* 11:
71-80, 1974.
- 17) Taylor, S.L., Lamden, M.P. & Tappel, A.L. :
*Sensitive fluorometric method for tissue tocopher-
ol analysis*. *Lipids*. 11: 530-538, 1976.
- 18) Morrison, W.R. & Smith, L.M. : *Preparation
of fatty acid methylesters and dimethylacetals
from lipids with boron fluoride-methanol*. *J.
Lipid Res.* 5: 600-608, 1964.
- 19) Witting, L.A. : *Vitamin E-PUFA relationship
in diet and tissues*. *Am. J. Clin. Nutr.* 27:
952-959, 1974.
- 20) Bieri, J.G. & Poukka, K.H. : *In vitro hemo-
lysis as related to rat erythrocyte content of α -
tocopherol and PUFA*. *J. Nutr.* 100: 557-564,
1968.
- 21) Catignani, G.L. & Fuller, P.A. : *Tissue α -to-
copherol levels in normal, obese and hyperlipi-
demic rats*. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 203: 167-
168, 1972.
- 22) Bieri, J.B. & Evarts, R.P. : *Effect of plasma
lipid levels and obesity on tissue stores of α -
tocopherol*. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 149:
500-502, 1975.
- 23) Chen, L.H., Liao, S. & Packett, L.V. : *Inter-
action of dietary vitamin E and protein level
or lipid source with serum cholesterol level in
rats*. *J. Nutr.* 102: 729-732, 1972.
- 24) Kannel, W.B., Dawber, J.R., Friedman, W.E. &
Mcnamara, D.M. : *Risk factors in coronary
heart disease - The Framingham study*. *Ann.
Int. Med.* 6: 888-899, 1974.
- 25) Harris, W.S., Connor, W.E. & McMurry, M.
P. : *The comparative reductions of the plasma
lipids and lipoproteins by dietary polyunsatur-
ated fats : Salmon oil versus vegetable oils*.
Met. 32: 179-184, 1983.
- 26) Hamilton, D.W., Lea, E.J.A., & Jones, S.P. :
Dietary fatty acids and ischaemic heart disease.
Acta. Med. Scand. 208: 337-341, 1980.