報 文

魚油とコーン油の配合比率を異にした油脂を 投与したラットの脂肪酸組成

滝田 聖親, 早川 享志, 中村 カホル
福富 麻子, 印南 敏

東京農業大学農学部栄養学科

Effects of Different Combinations of Fish Oil and Corn Oil in the Diets on Lipid Metabolism in Rats

Toshichika TAKITA, Takashi HAYAKAWA, Kaoru NAKAMURA,
Asako FUKUTOMI and Satoshi INNAMI

*Department of Nutrition, Faculty of Agriculture, Tokyo University
of Agriculture, Setagaya-ku, Tokyo 156*

Nippon Eiyō Shokuryō Gakkaishi (*J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.*) 42, 227~234 (1989)

The lipid contents of plasma and liver and the fatty acid compositions of plasma, platelets, liver, testes and epididymal adipose tissues were measured in rats fed diets containing different combinations of fish oil and corn oil. While no significant differences were observed in plasma triglyceride levels among the experimental groups, plasma cholesterol level decreased as the proportion of dietary fish oil increased. However the levels of cholesterol and phospholipid in the liver increased with an increasing proportion of dietary fish oil. In plasma, liver and testes, the percentages of $C_{20:5}$ ($n-3$) and $C_{22:6}$ ($n-3$) were reduced as the proportion of dietary fish oil decreased and the percentages of $C_{18:2}$ ($n-6$) and $C_{20:4}$ ($n-6$) increased as the proportion of dietary corn oil increased. In platelets, the percentage of $C_{18:2}$ was high and that of $C_{20:4}$ was low in the groups receiving more than 50% fish oil, while opposite results were seen in the groups receiving more than 75% corn oil. The $C_{20:4}/C_{18:2}$ ratios varied in each tissue and also among the dietary groups receiving different combinations of fish oil and corn oil.

(Received June 17, 1988)

従来より動脈硬化性疾患は飽和脂肪酸の摂取量が多く、多価不飽和脂肪酸 (PUFA) の摂取量の少ない場合に発症しやすいことがすでに知られている。PUFAとしては $n-6$ 系 PUFA と $n-3$ 系 PUFA とがあるが、最近まで、動脈硬化性疾患を予防するうえで重要視されてきたものは、植物油に多く含まれる、 $n-6$ 系 PUFA のリノール酸であった。

ところが、Dyerberg ら¹⁾²⁾のエスキモー人に関する疫学調査以来、魚油に含まれる $n-3$ 系の PUFA であるエイコサペンタエン酸 (EPA) とドコサヘキサエン酸 (DHA) の生理作用が注目されるようになった³⁾⁴⁾。

EPA や DHA は血清総コレステロール (TC) およびトリグリセライド (TG) の低下、HDL-コレステロール (HDL-Chol) の上昇といった血清脂質改善作用を有することが明らかにされている⁵⁾⁶⁾。さらに、EPA はトロンボキサン (TXA_2) やプロスタグランジン H_2 (PGH_2) の合成を低下させ⁷⁾⁸⁾、あるいは TXA_2 や PGH_2 による血小板凝集反応を阻害し⁹⁾¹⁰⁾、血小板凝集による血栓生成を防止しうると考えられている。このような観点から PUFA のなかでも $n-3$ 系 PUFA の重要性が最近見直されてきている。

しかし、 $n-3$ 系 PUFA の必要量や、適切な $n-3P/n-6P$ 比などに関する基礎的研究は少ないが、Mouri ら¹¹⁾は、試験油脂中の魚油の配合割合が高まるのに対応して

血清脂質が有意に低下することを認め、Lee ら¹²⁾は、種々の脂質パラメータが食事脂質の P/S 比および *n*-3P/*n*-6P 比により微妙に調節されており、両比に最適比率が存在するだろうと示唆している。そこで、今回はこれらの問題を解明する基礎的研究としてラットを用い、魚油とコーン油の配合割合を段階的に変えた場合の脂質代謝変動について検討したので報告する。

実験方法

1. 実験動物および飼育条件

4 週齢の SD 系の雄ラットを 1 週間、基本飼料で予備飼育後、1 群 6 匹とし、ステンレス製ケージに 1 匹ずつ入れた。すべての飼育は 12 時間明暗交替（明 08:00～20:00）の恒温（温度 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $50 \pm 5\%$ ）の飼育室で行い、飼料および水は自由摂取とし、飼育期間は 3 週間とした。

飼育終了後、午前 6 時に餌を抜き取り、午後 1 時にネブタール麻酔下で、心臓より採血し、常法により血小板を分離した。頸椎脱臼による屠殺後、肝臓、睪丸および副睪丸周辺脂肪組織を摘出し分析に供した。

2. 飼料組成

試験油脂を除く飼料組成は、カゼイン 20.0%，DL-メチオニン 0.3%，コーンスターチ 60.0%，セルロース粉末 5.0%，ミネラル混合（AIN-76）3.5%，ビタミン混合（AIN-76）1.0% および重石石酸コリン 0.2% とした。試験油脂は魚油（sardine-body oil）とコーン油の配合割合の異なる 5 種の油脂を用い、それぞれ 10% レベル含むように調製した。魚油とコーン油の配合比率は I 群が 100:0、II 群が 75:25、III 群が 50:50、IV 群が 25:75 および V 群が 0:100 とした。なお、魚油の脂肪酸組成は、 $\text{C}_{14:0}$ 5.6%， $\text{C}_{16:0}$ 15.2%， $\text{C}_{16:1}$ 7.5%， $\text{C}_{18:0}$ 2.5%， $\text{C}_{18:1}$ 17.3%， $\text{C}_{18:2}$ (*n*-6) 1.3%， $\text{C}_{18:4}$ (*n*-3) 2.4%， $\text{C}_{20:1}$ 8.3%， $\text{C}_{20:5}$ (*n*-3) 13.2%， $\text{C}_{22:1}$ 6.3%，

$\text{C}_{22:5}$ (*n*-3) 1.7% および $\text{C}_{22:6}$ (*n*-3) 10.7% である。コーン油の脂肪酸組成は、 $\text{C}_{16:0}$ 10.4%， $\text{C}_{18:0}$ 1.7%， $\text{C}_{18:1}$ 25.4%， $\text{C}_{18:2}$ (*n*-6) 60.8% および $\text{C}_{18:3}$ (*n*-3) 0.7% である。また、各群の *n*-3P/*n*-6P 比と P/S 比は、それぞれ I 群が 14.8 と 1.3、II 群が 1.4 と 1.9、III 群が 0.5 と 2.5、IV 群が 0.2 と 3.5 および V 群が 0.0 と 4.9 であった。

3. 分析法

肝臓と血漿中の TC、リン脂質 (PL)、TG および血漿中の HDL-Chol は和光純薬製のキットを用いて測定した。

脂肪酸組成はクロロホルム：メタノール混液で抽出後、三フッ化ホウ素メタノール法でメチル化後、島津 GC-7A 型ガスクロマトグラフを用いて測定した。分析は Silar-5CP ガラスキャピラリーカラム (40 m) を用い、カラム温度 200°C 、注入口温度 250°C 、キャリアガスにはヘリウムガスを用いて行った。

ピークの同定は標品との保持時間の比較、同族体の炭素数と保持時間の関係を利用して行った。

実験結果は、平均と標準誤差で表した。各群の有意差の検定を分散分析法および Student's *t*-test を用いて行った。

結 果

1. 血漿と肝臓脂質の変動

1) 血漿脂質 飼料脂質の魚油とコーン油の配合比率を変えた場合の血漿脂質の変動は Table 1 に示した。

血漿 TC と HDL-Chol はコーン油の配合比率が増加するにつれて上昇することが認められた。TC の低下作用は *n*-3 系 PUFA が、HDL-Chol の上昇作用は *n*-6 系 PUFA がそれぞれ強い傾向を示した。

TG と PL は各群間に有意差が認められなかった。

2) 肝臓脂質 魚油とコーン油の配合比率の異なる飼

Table 1. Effects of different combinations of fish oil and corn oil in diets on plasma lipid concentrations (mg/dl).

Lipids	Group				
	I	II	III	IV	V
TC	52.7 $\pm$ 2.5 ^a	58.6 $\pm$ 3.9 ^a	56.0 $\pm$ 2.7 ^a	61.5 $\pm$ 3.2 ^{ab}	67.8 $\pm$ 2.3 ^b
HDL-Chol	44.6 $\pm$ 1.3 ^a	48.3 $\pm$ 3.5 ^b	46.2 $\pm$ 1.7 ^a	51.3 $\pm$ 1.1 ^{ab}	61.0 $\pm$ 1.8 ^{bc}
TG	85.0 $\pm$ 6.5	104.5 $\pm$ 8.2	106.6 $\pm$ 6.2	115.8 $\pm$ 10.0	99.8 $\pm$ 9.2
PL	86.5 $\pm$ 3.7	96.0 $\pm$ 4.6	93.8 $\pm$ 3.5	101.8 $\pm$ 6.8	105.3 $\pm$ 4.2

The percentages of dietary fish oil and corn oil for the groups: (I) 10:0, (II) 7.5:2.5, (III) 5.0:5.0, (IV) 2.5:7.5, (V) 0:10. TC, total cholesterol; HDL-Chol, HDL-cholesterol; TG, triglyceride; PL, phospholipid.

Values are means $\pm$ SE. (*n*=6). Values in a horizontal line not sharing a common superscript letter are significantly different at *p*<0.05.

Table 2. Effects of different combinations of fish oil and corn oil in diets on liver lipid concentrations (mg/g liver).

Lipids	Group				
	I	II	III	IV	V
TC	2.3±0.1 ^a	2.4±0.1 ^a	2.0±0.1 ^b	2.0±0.1 ^b	1.7±0.1 ^b
TG	27.4±2.1	35.1±5.1	26.8±1.5	29.5±1.5	31.0±2.0
PL	31.0±1.2 ^a	27.9±0.6 ^{ab}	25.5±1.0 ^b	27.4±0.7 ^{ab}	25.7±0.9 ^b

The percentages of dietary fish oil and corn oil for the groups : (I)10:0, (II)7.5:2.5, (III)5.0:5.0, (IV)2.5:7.5, (V)0:10. TC, TG, PL: See footnote in Table 1.

Values are means±SE. (n=6). Values in a horizontal line not sharing a common superscript letter are significantly different at $p<0.05$.

Table 3. Effects of different combinations of fish oil and corn oil in diets on fatty acid composition of plasma lipids (%).

Fatty acids	Group				
	I	II	III	IV	V
C _{14:0}	1.2±0.1 ^a	1.0±0.1 ^{ac}	0.9±0.1 ^{bce}	1.0±0.2 ^{ace}	0.6±0.0 ^{bde}
C _{16:0}	23.6±0.4 ^a	23.0±0.8 ^{ac}	21.0±0.7 ^{bce}	21.7±1.0 ^{ace}	19.6±0.3 ^{bde}
C _{16:1}	4.0±0.2 ^a	3.6±0.2 ^a	2.3±0.2 ^b	2.6±0.3 ^b	1.6±0.2 ^c
C _{18:0}	8.6±0.4	7.8±0.3	7.8±0.4	8.3±0.6	9.1±0.3
C _{18:1}	16.4±0.6 ^a	15.6±1.1 ^a	15.2±0.8 ^a	14.9±1.3 ^{ab}	12.1±0.9 ^b
C _{18:2} (n-6)	4.9±0.3 ^a	13.2±0.3 ^b	21.2±0.4 ^c	23.8±1.0 ^c	25.1±1.1 ^c
C _{20:4} (n-6)	5.3±0.4 ^a	6.1±0.5 ^a	8.8±0.8 ^b	13.7±1.2 ^c	26.2±1.8 ^d
C _{20:5} (n-3)	17.3±0.8 ^a	11.8±1.2 ^b	7.1±0.7 ^c	3.4±0.2 ^d	—
C _{22:5} (n-3)	4.4±0.2 ^a	4.2±0.3 ^a	3.6±0.4 ^{ab}	2.5±0.3 ^b	—
C _{22:6} (n-3)	12.7±0.5 ^a	11.7±0.7 ^{ab}	10.5±0.3 ^b	6.4±0.2 ^c	1.1±0.1 ^d
C _{20:5} /C _{20:4} ratio	3.30±0.22 ^a	1.93±0.11 ^b	0.87±0.14 ^c	0.26±0.04 ^d	—

The percentages of dietary fish oil and corn oil for the groups : (I)10:0, (II)7.5:2.5, (III)5.0:5.0, (IV)2.5:7.5, (V)0:10. Values are means±SE. (n=6). Values in a horizontal line not sharing a common superscript letter are significantly different at $p<0.05$.

料を投与した場合の肝臓脂質の結果は Table 2 に示した。

TC はコーン油の配合比率が増加するにつれて有意に低下を示し、血漿コレステロールと異なる傾向を示したが、TG では変動が認められなかった。PL では、コーン油の配合割合の増加により低下傾向を示した。

2. 脂肪酸組成の変動

1) 血漿脂肪酸組成 血漿脂肪酸組成の結果は Table 3 に示した。飼料脂質の魚油とコーン油の配合比率の変化にともない変動したおもな脂肪酸は C_{16:0}, C_{16:1}, C_{18:0}, C_{18:1}, C_{18:2}, C_{20:4}, C_{20:5} および C_{22:6} であった。このうち、C_{18:0}, C_{16:1}, C_{18:1}, C_{20:5} および C_{22:6} の割合はいずれも魚油の配合割合が減少するにつれて低下を示した。C_{18:2} と C_{20:4} のそれぞれの割合は、コーン油の

配合割合が高まるにつれて著しい増加を認め、C_{18:0} の割合は、魚油とコーン油の配合割合を変化させても変動を認めなかった。

C_{20:5}/C_{20:4} 比は飼料脂質の魚油の配合割合が低下するにつれて減少し、魚油とコーン油の配合割合が 50:50 の場合に 0.87 と 1 に近い値を示した。

2) 血小板の脂肪酸組成 Table 4 に飼料脂質の魚油とコーン油の配合割合を変えた場合の血小板の脂肪酸組成の変動を示した。

変動を示したおもな脂肪酸は、C_{16:0}, C_{18:1}, C_{18:2}, C_{20:4} および C_{20:5} であった。C_{16:0} の割合と C_{18:0} の割合は、魚油の配合割合が 50% 以上の範囲では変動せず、魚油 25% レベル以下でやや上昇し、一定値を保っていた。C_{18:2} の割合は、魚油の配合割合が 50~100% で高

Table 4. Effects of different combinations of fish oil and corn oil in diets on fatty acid composition of platelet lipids (%).

Fatty acids	Group				
	I	II	III	IV	V
C _{14:0}	2.9±0.4 ^{abc}	2.6±0.3 ^a	2.4±0.1 ^b	2.6±0.2 ^{abc}	2.4±0.2 ^c
C _{16:0}	23.0±1.2 ^a	20.3±0.7 ^a	21.1±1.1 ^a	25.5±1.3 ^{ab}	25.8±0.7 ^b
C _{16:1}	5.4±0.5	5.9±0.7	5.2±0.4	5.1±0.6	4.1±0.3
C _{18:0}	8.2±0.6 ^{ab}	7.7±0.3 ^{ab}	7.0±0.3 ^a	12.4±1.3 ^{ab}	12.9±0.6 ^b
C _{18:1}	36.2±2.1 ^a	38.9±2.6 ^a	39.8±2.2 ^a	32.3±2.3 ^b	28.6±1.8 ^b
C _{18:2} (<i>n</i> -6)	10.9±1.1 ^a	10.1±0.4 ^a	10.2±0.2 ^{ab}	5.8±0.6 ^{bc}	6.8±0.4 ^c
C _{20:4} (<i>n</i> -6)	2.7±0.6 ^a	2.6±0.4 ^{ab}	3.5±0.6 ^{ab}	6.4±0.9 ^b	11.0±1.2 ^c
C _{20:5} (<i>n</i> -3)	4.9±0.8	3.1±0.4	2.4±0.5	1.5±0.4	—
C _{20:5} /C _{20:4} ratio	1.82±0.10 ^a	1.21±0.05 ^b	0.69±0.05 ^c	0.24±0.04 ^d	—

The percentages of dietary fish oil and corn oil for the groups : (I)10 : 0, (II)7.5 : 2.5, (III)5.0 : 5.0, (IV)2.5 : 7.5, (V)0 : 10. Values are means±SE. (*n*=6). Values in a horizontal line not sharing a common superscript letter are significantly different at *p*<0.05.

Table 5. Effects of different combinations of fish oil and corn oil in diets on fatty acid composition of liver lipids (%).

Fatty acids	Group				
	I	II	III	IV	V
C _{14:0}	1.2±0.1	1.0±0.0	1.0±0.1	0.8±0.2	0.8±0.0
C _{15:0}	0.3±0.1	0.2±0.1	0.1±0.1	0.1±0.0	—
C _{16:0}	21.8±0.4 ^a	23.6±0.6 ^{bd}	23.6±0.4 ^b	24.4±0.2 ^b	22.0±0.4 ^{ad}
C _{16:1}	4.1±0.4 ^a	4.0±0.4 ^a	2.6±0.1 ^b	3.1±0.5 ^{abc}	2.0±0.2 ^c
C _{18:0}	10.1±0.8	9.0±0.4	10.6±0.6	10.4±0.6	10.4±1.0
C _{18:1}	16.9±0.6	17.5±0.7	16.5±0.7	18.4±1.3	17.7±0.8
C _{18:2} (<i>n</i> -6)	3.9±0.2 ^a	11.1±0.3 ^b	17.4±0.5 ^c	20.1±1.2 ^c	24.7±1.7 ^d
C _{20:4} (<i>n</i> -6)	4.3±0.4 ^a	4.6±0.2 ^a	7.1±0.3 ^b	10.7±0.5 ^c	16.0±1.0 ^d
C _{20:5} (<i>n</i> -3)	10.6±0.4 ^a	7.0±0.5 ^b	4.4±0.4 ^c	1.5±0.1 ^d	—
C _{22:5} (<i>n</i> -3)	7.4±0.5 ^a	5.5±0.3 ^b	3.6±0.5 ^c	1.7±0.3 ^d	0.1±0.1 ^e
C _{22:6} (<i>n</i> -3)	17.7±0.6 ^a	15.1±0.9 ^b	12.3±0.5 ^c	7.7±0.2 ^d	1.9±0.2 ^e
C _{20:5} /C _{20:4} ratio	2.58±0.26 ^a	1.54±0.13 ^b	0.63±0.08 ^c	0.14±0.02 ^d	—

The percentages of dietary fish oil and corn oil for the groups : (I)10 : 0, (II)7.5 : 2.5, (III)5.0 : 5.0, (IV)2.5 : 7.5, (V)0 : 10. Values are means±SE. (*n*=6). Values in a horizontal line not sharing a common superscript letter are significantly different at *p*<0.05.

く、ほぼ同一の値を示し、25%の時に減少したが、魚油0%でも25%レベルとはほぼ同様な値であった。C_{20:4}の割合は、魚油の配合割合が50~100%の範囲で大きな変動がみられず、25%以下で著しい増加を示した。C_{20:5}の割合は、魚油の配合割合が減少するにつれて低下を示した。C_{20:5}/C_{20:4}比は他の組織と同様に、魚油の配合割合が減少するにつれて低下し、魚油の配合割合が

100%の群で2に近い値を示した。

3) 肝臓の脂肪酸組成 魚油とコーン油の配合比率の変化にともなう、肝臓脂肪酸組成の変動はTable 5に示した。

肝臓脂肪酸の中でC_{16:0}とC_{18:1}の含有割合は比較的高率であったが、両脂肪酸の割合は魚油とコーン油の配合割合を変化させても著明な変動を示さなかった。*n*-6

Table 6. Effects of different combinations of fish oil and corn oil in diets on fatty acid composition of testes lipids (%).

Fatty acids	Group				
	I	II	III	IV	V
C _{14:0}	1.7±0.2	0.8±0.3	0.8±0.2	0.9±0.2	1.2±0.1
C _{16:0}	34.1±0.8	32.9±1.9	34.1±0.5	37.0±3.7	32.4±0.5
C _{16:1}	3.1±0.4 ^a	2.5±0.7 ^{ab}	1.7±0.3 ^b	1.3±0.2 ^b	1.2±0.1 ^b
C _{18:0}	6.3±0.2	6.7±0.3	6.3±0.2	7.6±1.0	6.4±0.2
C _{18:1}	17.8±0.5 ^{ab}	17.4±1.7 ^{be}	14.3±0.6 ^c	11.2±1.0 ^d	12.5±0.5 ^d
C _{18:2} (n-6)	3.1±0.2 ^a	6.9±0.7 ^b	7.8±0.7 ^b	7.2±0.9 ^b	8.6±1.0 ^b
C _{20:3} (n-6)	1.0±0.1	1.2±0.1	1.2±0.1	1.1±0.1	1.0±0.0
C _{20:4} (n-6)	11.1±0.4 ^a	11.6±0.7 ^a	12.6±0.5 ^b	13.1±1.1 ^{ab}	14.8±0.4 ^b
C _{20:5} (n-3)	2.0±0.2 ^a	1.1±0.3 ^b	0.3±0.1 ^c	0.2±0.1 ^c	—
C _{22:4} (n-6)	1.2±0.1 ^a	1.4±0.1 ^{ab}	1.7±0.1 ^{bc}	2.0±0.2 ^c	2.7±0.1 ^d
C _{22:5} (n-6)	10.5±0.4 ^a	11.8±1.4 ^{ab}	14.9±0.8 ^{bc}	15.1±1.2 ^{bc}	17.0±0.6 ^c
C _{22:5} (n-3)	0.8±0.1	0.5±0.2	—	—	—
C _{22:6} (n-3)	6.0±0.3 ^a	3.7±0.3 ^b	3.0±0.1 ^c	2.0±0.2 ^d	0.9±0.1 ^e
C _{20:5} /C _{20:4} ratio	0.19±0.03 ^{ab}	0.10±0.03 ^b	0.02±0.01 ^c	0.01±0.01 ^c	—

The percentages of dietary fish oil and corn oil for the groups : (I)10 : 0, (II)7.5 : 2.5, (III)5.0 : 5.0, (IV)2.5 : 7.5, (V)0 : 10. Values are means±SE. (n=6). Values in a horizontal line not sharing a common superscript letter are significantly different at $p < 0.05$.

系 PUFA の C_{18:2} と C_{20:4} の割合は、飼料脂質のコーン油の配合割合が高まるにつれて著しく増加することを認めた。n-3 系 PUFA の C_{20:5} と C_{22:6} の割合は、飼料脂質の魚油の配合割合が減少するにつれて低下を示した。

また、C_{20:5}/C_{20:4} 比も飼料脂質の魚油の配合割合が減少するにつれて低下を示した。

4) 睪丸の脂肪酸組成 睪丸脂肪酸組成の変動は Table 6 に示した。魚油とコーン油の配合比率の変化にともなって変動のみられたおもな脂肪酸は C_{18:1}, C_{18:2}, C_{20:4}, C_{20:5}, C_{22:5} (n-6) および C_{22:6} であった。C_{18:2} と C_{20:4} の割合は、コーン油の配合割合が増加するにつれて上昇し、C_{18:1}, C_{20:5} および C_{22:6} の割合は、魚油の配合割合が低下するにつれて減少を示した。しかし、肝臓と血漿に比較して、各脂肪酸の変動幅は小さく、また C_{20:5} と C_{22:6} の取り込みも低く、C_{16:0}, C_{18:1} および C_{22:5} (n-6) の含有割合が著しく高いという点において他の組織と異なる脂肪酸パターンを示した。また、C_{20:4} は常に C_{18:2} よりも高値を示し、この点においても他の組織と異なるパターンが認められた。C_{20:5}/C_{20:4} 比は他の組織と同様、飼料脂質の魚油の配合割合が低下するにつれて減少を示したが、他の臓器の場合と比べて、比は小さかった。

5) 副睪丸周辺脂肪組織の脂肪酸組成 Table 7 に結

果を示すように、飼料中の魚油とコーン油の配合比率の変化にともなって変動したおもな脂肪酸は C_{16:0}, C_{16:1}, C_{18:2}, C_{20:5} および C_{22:6} であった。

飼料脂質の魚油の配合割合が減少するにつれて、C_{16:0}, C_{16:1}, C_{20:5} および C_{22:6} の割合は低下することを認めた。C_{18:2} の割合は、コーン油の配合割合が高まるにつれて著しい増加を示した。C_{18:0}, C_{18:1} と C_{20:4} の割合は、飼料脂質の魚油とコーン油の配合割合が変化するにもかかわらず、ほとんど変動がみられなかった。全体的に C_{16:0} と C_{18:1} が高値を、C_{20:4} は著しい低値を示した。

また、C_{18:3} 以上の PUFA が他の組織に比して著しく少ない点において、異なる傾向を認めた。

C_{20:5}/C_{20:4} 比は他の組織と同様、魚油の配合割合が減少するにつれて低下を示した。C_{20:5}/C_{20:4} 比は C_{20:4} の割合が少ないため、他の組織より高値を示した。

3. 魚油とコーン油の配合割合と C_{20:4}/C_{18:2} 比の関連性

飼料脂質の魚油とコーン油の配合割合を変化させた場合の各組織の C_{20:4}/C_{18:2} 比の変動を Fig.1 に示した。

血漿と肝臓においては魚油の配合割合が 50 および 75 % の場合、C_{20:4}/C_{18:2} 比は最小値を示し、魚油の配合割合が 75% を越えても、50% 未満でも上昇するという、類似のパターンを示した。

血小板においては、魚油の配合割合が 50% 以上の場

Table 7. Effects of different combinations of fish oil and corn oil in diets on fatty acid composition of epididymal lipids (%).

Fatty acids	Group				
	I	II	III	IV	V
C _{14:0}	4.0±0.2 ^a	3.1±0.0 ^b	2.6±0.1 ^c	1.8±0.0 ^d	1.2±0.0 ^e
C _{16:0}	28.2±0.8 ^a	27.8±0.8 ^a	25.5±0.6 ^b	21.8±0.4 ^c	21.5±0.9 ^d
C _{16:1}	10.9±0.4 ^a	9.7±0.3 ^b	8.4±0.2 ^c	6.5±0.1 ^d	5.1±0.2 ^e
C _{18:0}	3.1±0.1 ^a	3.3±0.1 ^a	2.9±0.1 ^a	2.4±0.1 ^b	2.5±0.1 ^b
C _{18:1}	28.2±0.6	28.7±0.4	29.8±0.4	29.2±0.2	28.8±0.5
C _{18:2} (n-6)	6.8±1.5 ^a	14.1±0.5 ^b	24.3±0.6 ^c	33.2±0.5 ^d	39.4±1.2 ^e
C _{18:3} (n-3)	1.0±0.1 ^a	0.7±0.0 ^b	0.5±0.0 ^c	0.5±0.1 ^c	0.5±0.1 ^c
C _{20:1}	4.0±0.3 ^a	3.0±0.2 ^b	—	—	—
C _{20:4} (n-6)	0.4±0.1	0.4±0.0	0.4±0.1	0.5±0.0	0.5±0.1
C _{20:5} (n-3)	3.9±0.4 ^a	2.9±0.1 ^b	1.6±0.2 ^c	0.8±0.0 ^d	—
C _{22:5} (n-3)	1.2±0.3 ^{ac}	1.1±0.1 ^c	0.7±0.2 ^{ab}	0.6±0.0 ^b	—
C _{22:6} (n-3)	4.2±0.5 ^a	3.5±0.1 ^a	1.8±0.3 ^b	1.1±0.0 ^b	—
C _{20:5} /C _{20:4} ratio	8.09±1.91 ^{ab}	8.02±0.43 ^b	5.09±0.76 ^a	1.55±0.11 ^c	—

The percentages of dietary fish oil and corn oil for the groups : (I)10 : 0, (II)7.5 : 2.5, (III)5.0 : 5.0, (IV)2.5 : 7.5, (V)0 : 10. Values are means±SE. (n=6). Values in a horizontal line not sharing a common superscript letter are significantly different at $p<0.05$.

Fig. 1. Effects of different combinations of fish oil and corn oil in diets on C_{20:4}/C_{18:2} ratios of tissue lipids.

Data represent means±SE. of six rats.

合, C_{20:4}/C_{18:2} 比は低い値を示し, 魚油の配合割合が 50 %未満のときに C_{20:4}/C_{18:2} 比は直線的に増加し, 他の組織と異なる傾向を示した。

睾丸の C_{20:4}/C_{18:2} 比は, 魚油の配合割合が 100% から 75% に低下する段階で著しく減少し, 75% 以下ではほぼ一定であった。

副睾丸周辺脂肪組織においては, 魚油とコーン油の配合割合が変化するにもかかわらず C_{20:4}/C_{18:2} 比はいずれも低く, 変動が認められなかった。

考 察

n-3 系 PUFA が n-6 系 PUFA と同様生体内で重要な機能を有することが判明して以来^{7)~10)13)~15)}, 食事の中の n-3P/n-6P 比は P/S 比と同様に重要視されるようになった。

今回の実験において飼料脂質は魚油の割合が低下するにつれて n-3P/n-6P 比が減少する。また, 魚油の割合が低下することはコーン油の割合が高まり, P/S 比が上昇するように調製されている。このような実験系において血漿 TG は有意な変動が認められず, Mouri ら¹¹⁾の魚油の配合割合が高まれば, 血清 TG が有意に低下するという報告とは異なる結果を得た。

一般的に, n-3 系 PUFA と n-6 系 PUFA の両方に血漿 TC 低下作用が認められているが, 低下作用は n-3 系 PUFA のほうが強いとの報告が多い⁶⁾¹⁶⁾¹⁷⁾。先に

Mouri ら¹¹⁾ は、魚油の配合割合が高まるにつれて、TC が有意に低下することを報告している。著者らも今回同様な結果を得、血漿 TC は $n\text{-}3\text{P}/n\text{-}6\text{P}$ 比の増加につれて減少することを認めた。血漿 TC の低下を目的とするのであれば飼料中の $n\text{-}3\text{P}/n\text{-}6\text{P}$ 比を高めることも優れた一手法であることが示唆された。

血中 HDL-Chol は Miller ら^{18)~21)} が HDL-Chol の低い人は虚血性心疾患をおこしやすいと報告して以来、HDL-Chol の抗動脈硬化作用が注目を集めている。本実験において血漿 HDL-Chol は $n\text{-}3\text{P}/n\text{-}6\text{P}$ 比の最も小さいコーン油 100% 投与群で有意に高値を示し、 $n\text{-}3$ 系 PUFA より $n\text{-}6$ 系 PUFA のほうが血漿 HDL-Chol の上昇作用が強いものと推測された。

血漿と肝臓の脂肪酸組成は、魚油の配合割合が減少すれば $\text{C}_{20:5}$ と $\text{C}_{22:6}$ のそれぞれの割合は低下、コーン油の配合割合が高まれば $\text{C}_{18:2}$ と $\text{C}_{20:4}$ は上昇、といった類似のパターンを認め、飼料脂質の直接的な影響を受けることが明らかとなった。

血小板においては、魚油の配合割合が 50% 以上の場合 $\text{C}_{18:2}$ の割合が高く、 $\text{C}_{20:4}$ の割合は低かった。しかし、魚油の割合が 50% 未満になりコーン油の割合が 50% 以上に増加した場合、 $\text{C}_{18:2}$ の割合は逆に低下し、 $\text{C}_{20:4}$ の割合は増加した。なお、コーン油 50% 以上の場合、血小板の $\text{C}_{18:2}$ の割合が低かったのは血漿から血小板への $\text{C}_{18:2}$ の取り込みの減少、あるいは血小板における $\text{C}_{18:2}$ から $\text{C}_{20:4}$ への転換の促進のいずれか、またはこの二つの原因が重なったためと思われる。

睪丸においては、 $n\text{-}3$ 系 PUFA の $\text{C}_{20:5}$ と $\text{C}_{22:6}$ の取り込みが少なく、これに反して $\text{C}_{20:4}$ が比較的多く、また、コーン油の配合割合の高低にあまり影響を受けずほぼ一定の値を示し、他の組織に比して $n\text{-}6$ 系 PUFA の $\text{C}_{22:5}$ が著しく高値を示したことから、睪丸では $n\text{-}3$ 系 PUFA より $n\text{-}6$ 系 PUFA のほうが生殖機能維持に重要な働きをしているものと考えられる。この点に関して今後、詳細に検討すべきであると考えている。

副睪丸周辺脂肪組織においては、コーン油の配合割合が高まるにつれて $\text{C}_{18:2}$ は著しく増加し、一方では $\text{C}_{20:4}$ は 0.4~0.5% と低値を示し、 $\text{C}_{18:2}$ から $\text{C}_{20:4}$ への転換が、なんらかの機構が働いて著しく抑制されているものと考えられる。これらの点を考え合わせると、副睪丸周辺脂肪組織はエネルギー蓄積能とともに、 $\text{C}_{18:2}$ の蓄積能も備えているように考えられた。

$\text{C}_{20:4}/\text{C}_{18:2}$ 比は組織によって異なり、また、魚油とコーン油のそれぞれの配合割合によっても異なることが認められた。これは、リノール酸の代謝が組織のみならず、魚油とコーン油の配合割合、すなわち、 $n\text{-}3\text{P}/n\text{-}6\text{P}$ 比によっても異なることを示すものである。とくに血小

板においては、魚油とコーン油の割合がそれぞれ 50%、すなわち $n\text{-}3\text{P}/n\text{-}6\text{P}$ 比 0.5 を境にして、それ以上では $\text{C}_{18:2}$ から $\text{C}_{20:4}$ への転換が著しく抑制され、同 0.5 以下では $\text{C}_{18:2}$ から $\text{C}_{20:4}$ への転換が促進されと考えられる。このことは、Fig.1 からもうかがえる。さらに睪丸においては、すべての群において肝臓、血漿より $\text{C}_{20:4}/\text{C}_{18:2}$ 比が著しく高く、 $\text{C}_{18:2}$ から $\text{C}_{20:4}$ への転換の高いことを示すものであろう。このことは睪丸における AA の必要性が血漿および肝臓とは異なるためではないかと推測された。なお、血漿、肝臓、睪丸の魚油 100% 群において $\text{C}_{20:4}/\text{C}_{18:2}$ 比の高値がみられたのは、摂取 $\text{C}_{18:2}$ に比し、組織中に残存する $\text{C}_{20:4}$ の量が多かったためではないかと考えられた。

要 約

魚油とコーン油の配合割合の異なる飼料をラットに投与した場合の血漿、血小板、肝臓、睪丸および副睪丸周辺脂肪組織の脂質代謝変動を中心に検討し、次の結果を得た。

1) 血漿 TC は魚油の配合割合が上昇するにつれて低下を示した。一方、血漿 TG と PL は、魚油とコーン油の割合が異なっても各群間に有意差を認めなかった。

2) 肝臓の TC と PL は、コーン油の配合割合が増加すると低下することが認められた。TG レベルは魚油とコーン油の配合割合が異なるにもかかわらず各群間で有意な差は認められなかった。

3) 血漿と肝臓の脂肪酸組成は、魚油の配合割合が減少するにつれて $\text{C}_{20:5}$ と $\text{C}_{22:6}$ は低下し、コーン油の割合が高まるにつれて $\text{C}_{18:2}$ と $\text{C}_{20:4}$ は上昇を示した。血小板では魚油の配合割合が 50~100% で $\text{C}_{18:2}$ の割合は高く、 $\text{C}_{20:4}$ の割合は低かった。50% 未満では $\text{C}_{18:2}$ は減少、 $\text{C}_{20:4}$ は上昇を示した。睪丸では $n\text{-}6$ 系 PUFA の $\text{C}_{20:4}$ と $\text{C}_{22:5}$ が他の組織に比して高値を示した。脂肪組織では、コーン油の配合割合が高まるにつれて $\text{C}_{18:2}$ が著しく上昇した。各組織の $\text{C}_{20:5}/\text{C}_{20:4}$ 比は飼料脂質の魚油の配合割合が減少するにつれて低下を示した。

4) $\text{C}_{20:4}/\text{C}_{18:2}$ 比は組織によって異なり、また、魚油とコーン油のそれぞれの配合割合によっても異なることが認められた。

文 献

- 1) Dyerberg, J., Bang, H.O. and Hjprne, N.: *Am. J. Clin. Nutr.*, 28, 958 (1975)
- 2) Bang, H.O. and Dyerberg, J.: *Adv. Nutr. Res.*, 3, 1 (1980)
- 3) Dyerberg, J. and Bang, H.O.: *Lancet*, 1, 433 (1979)
- 4) Nagakawa, Y., Orino, H., Harasawa, M., Yashiro, K. and Murota, S.: *Atherosclerosis*, 47, 71 (1983)

- 5) Sen, D.P. : *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **54**, 297 (1977)
- 6) Lossonczy, T.O., Ruiter, A., Bronsgest-Schoute, H.C., Gent, C.M. and Hermus, R.J. J. : *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, 1340 (1978)
- 7) Siess, W., Ross, P., Scherer, B., Kurzman, I., Bohling, B. and Weber, P.C. : *Lancet*, **1**, 441 (1980)
- 8) Spector, A.A., Kaduce, T.L., Figard, P.H., Norton, K.C., Hoak, J.C. and Czervionke, R.L. : *J. Lipid Res.*, **24**, 1595 (1983)
- 9) Needleman, P., Raz, A., Minkes, M.S., Ferrendelli, J.A. and Sprecher, H. : *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **76**, 944 (1979)
- 10) Needleman, P., Whitaker, M.O., Wyche, A., Watters, K., Sprecher, H. and Raz, A. : *Prostaglandins*, **19**, 165 (1980)
- 11) Mouri, K., Ikesu, H., Esaka, T. and Igarashi, O. : *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **30**, 307 (1984)
- 12) Lee, J.H., Sugano, M. and Ide, T. : *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **34**, 117 (1988)
- 13) Dyerberg, J., Bang, H.O., Stoffersen, E., Moncada, S. and Vane, J.R. : *Lancet*, **15**, 117 (1978)
- 14) Fischer, S. and Weber, P.C. : *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **116**, 1091 (1983)
- 15) Fischer, S. and Weber, P.C. : *Nature*, **307**, 165 (1984)
- 16) Goodnight, S.H., Harris, W.S., Connor, W.E. and Illingworth, D.R. : *Arteriosclerosis*, **2**, 87 (1982)
- 17) Connor, W.E., Lin, D.S. and Harris, W.B. : *Arteriosclerosis*, **1**, 363 a (1981)
- 18) Miller, G.J. and Miller, N.E. : *Lancet*, **1**, 16 (1975)
- 19) Rhoads, G.G., Gulbrandsen, C.L. and Kagan, A. : *N. Engl. J. Med.*, **294**, 293 (1976)
- 20) 山本 章, 石川勝憲, 松沢佑次, 三杉 進, 首藤弘史 : 動脈硬化, **3**, 261 (1975)
- 21) Gordon, T., Castelli, W.P., Hjortland, M.C., Kannel, W.B. and Dawber, T.R. : *Am. J. Med.*, **62**, 707 (1977)

(1988 年 6 月 17 日受理)