ジアシルグリセリンの長期摂取による ヒトの体脂肪代謝に及ぼす効果

渡邊 浩幸・長尾 知紀・後藤 直宏・福島 陽子
鬼沢 孝司・田口 浩之・大町登志子・安川 拓次
内藤 幸雄・島崎 弘幸^{*1}・板倉 弘重^{*2}

花王株式会社生物科学研究所 (〒321-3497 栃木県芳賀郡市貝町赤羽 2606)

*1 帝京大学医学部第一生化学教室 (〒173-0003 東京都板橋区加賀 2-11-1)

*2 国立健康・栄養研究所臨床栄養部 (〒162-0052 東京都新宿区戸山 1-23-1)

Long-Term Effects of Dietary Diacylglycerols on Body Fat Metabolism in Man

Hiroyuki WATANABE, Tomonori NAGAO, Naohiro GOTO, Youko FUKUSHIMA, Kouji ONIZAWA,
Hiroyuki TAGUCHI, Toshiko OHMACHI, Takuji YASUKAWA, Sachio NAITO,
Hiroyuki SHIMASAKI^{*1}, and Hiroshige ITAKURA^{*2}

Biological Science Laboratories, Kao Corporation

(2606, Akabane, Ichikai-machi, Haga-gun, Tochigi-ken 321-3497)

*1 Department of Biochemistry, Teikyo University School of Medicine

(2-11-1, Kaga, Itabashi-ku, Tokyo 173-0003)

*2 Division of Clinical Nutrition, The National Institute of Health and Nutrition

(1-23-1, Toyama, Shinjuku-ku, Tokyo 162-0052)

Abstract : This study was conducted to examine the long-term effects of dietary diacylglycerols (DG) on body fat in man. The fatty acid composition of DG used in this study was similar to that of triacylglycerols (TG). Healthy male subjects (27-49 years) were supplied their usual diet with 50 g TG (15 g for breakfast, 15 g for lunch and 20 g for dinner) a day. After a 4-week TG diet period, the subjects were divided into two groups to be supplied their usual breakfast with either 10 g lipids of DG or TG. Every 4 weeks, the subjects visited the clinic for blood sampling, and had abdominal fats and liver fat determined by computed tomography (CT). In the DG diet group, body weight, body mass index and waist hip ratio decreased significantly after 12 week ingestion compared to the TG diet group. Fat in the abdominal region at the end of the DG diet decreased more than the end of the TG diet. The results for the liver CT / spleen CT ratio which is an indicator of liver fat content showed that fat in the liver had decreased significantly 8 and 12 week after ingestion in the DG diet group. A decreasing effect of DG on the amount of lipid of the liver in the DG diet group was clearly observed in the subjects with a greater reduction in free fatty acid in the serum. On the other hand, the amount of ketone body in the DG diet group was inclined to be higher than that in the TG diet group. Glucose and insulin in the serum increased significantly after the TG diet, but it did not increase during the period of examination in the DG diet group. These results showed that the DG diet improved insulin sensitivity and reduced visceral and liver fat by increasing β -oxidation in the liver. It can be considered that DG is an ideal source of energy, assuring less fat accumulation by decreasing serum insulin and fatty acids compared to TG.

Key words : diacylglycerol, triacylglycerol, human, dietary lipid, body fat, metabolism

1 緒 言

ジアシルグリセリン (DG) はヒトにおいて同脂肪酸組成のトリアシルグリセリン (TG) と比べて、食事後の血清中性脂質の上昇を抑制する¹⁾。その機構として、われわれは DG と TG の小腸内での代謝の違いが関係するものと考えている。われわれはラットによる実験結果から、DG の小腸内消化物には TG の消化物ではほとんど検出されない1-モノアシルグリセリン (1-MG) が多くなることを明らかにした²⁾。また DG を脂質の主成分とする食餌をラットに与えた場合、同じ脂肪酸組成の TG を主成分とする食餌に比べて消化後のリンパ系への再合成 TG の分泌量が低下すること⁵⁾、脂肪酸の β 酸化を亢進することや二酸化炭素への酸化分解も活発になること²⁾、血清 TG 値の上昇が抑制されること⁴⁾、さらに長期飼育では体脂肪への蓄積が少なくなること²⁾が判明している。これらの現象はリンパへの TG の放出にあたり 1-MG は TG に再構成されにくいことから³⁾、一部の 1-MG はさらに脂肪酸まで消化され直接門脈へ放出されることによって、肝臓での β 酸化が一過性に亢進するとともに、ケトン体の産生も高まり尿への排泄量も増えるためとわれわれは考えている²⁾。本研究では対象をラットからヒトに変え、1日の脂質の総摂取量を約 50 g とし、そのうち 10 g を DG に置き換え、3 ヶ月間連続して摂取した時の体脂肪及び血中の脂質動態について同脂肪酸組成の TG と比較検討した。

2 試験方法

2.1 被 験 者

本研究はヘルシンキ宣言の精神に則り、十分な配慮の下に施行した。

被験者は 27~49 歳までの健常男子で、BMI から判断して軽度から中等度肥満に属する 40 名を対象とした。第五次改定日本人の栄養所要量⁶⁾に従うと、ほとんどの被験者が生活活動度 I (軽い) に分類された。

2.2 食 事

試験油は、ナタネ油を用いて Birgitte らの方法⁷⁾によって固定化リパーゼの存在下で調製した DG と、ナタネ油、大豆油及びサフラワー油の混合により DG と同じ脂肪酸組成とした TG を用いた。使用した DG 及び TG の脂肪酸組成を Table 1 に示した。DG は 1,2 型と 1,3 型の比が 32:68 で存在し、また DG の純度は 83% でそれ以外は TG が 17% を占めていた。対照とする TG はナタネ油 (日清製油)、大豆油 (日清製油) 及びサフラワー油 (日清製油) を利用して、DG とほぼ同じ組成の脂肪酸組成となるように調製して用いた。なお、DG 及び TG のボンブカロリーメーターによる燃焼エネルギーはいずれも 9.1 kcal/g (日本食品分析センター

Table 1 Fatty Acid Compositions of Dietary Lipids.

Fatty acids	Diacylglycerol	Triacylglycerol
C _{16:0}	4.40	7.13
C _{18:0}	3.58	2.02
C _{18:1}	44.18	44.77
C _{18:2}	39.70	39.34
C _{18:3}	4.37	4.63
C _{20:0}	1.03	0.45
C _{20:1}	0.74	0.74
C _{22:0}	0.25	0.20
C _{22:1}	0.12	0.18

分析) であった。

試験の開始前に全被験者に対して四訂日本食品標準成分表⁸⁾に基づき、脂質の摂取量を把握できるように教育を行った。1日の試験油及び総脂質摂取量は平成6年度国民栄養調査⁹⁾によるそれぞれの平均摂取量を考慮し、試験油を 10 g、総脂質摂取量を約 50 g に設定した。全被験者は試験油摂取前の 4 週間をコントロール期間として、食事の総脂質摂取量を 1 日当たり 50 g に制限した。朝食として、10 g の TG を含むパン、マヨネーズもしくはショートブレッドを摂取し数量を記録した。また、副菜として総脂質量が 5 g 以下の食品を摂取するように指示した。摂取カロリーは制限しなかったため被験者は白米や煎餅など脂質含量の少ない食品を自由に摂取した。月~金曜日の昼食には管理栄養士の指導で脂質含量が明確なメニューから自由に選び、総脂質量を 15 g とし摂取した。夕食には、栄養士の指導で総脂質含量を約 20 g に調整した定食を摂取した。土曜日、日曜日もしくは休日の昼食及び夕食は、四訂日本食品標準成分表によって食事の脂質含量を把握した素材を被験者が検討して摂取した。

コントロール期間終了後、全被験者を体脂肪率及び腹部横断 CT スキャン撮影から得られた肝臓/脾臓 CT 値比を指標として、DG 食群と TG 食群の 2 群に分け、ダブルブラインドにより試験を開始した。DG 食群は朝食として 10 g の DG を含むパン、マヨネーズもしくはショートブレッドを摂取し数量を記録した。それ以外の食事や間食は、コントロール期間の食事摂取方法と同様に行った。TG 食群は朝食として 10 g の TG を含むパン、マヨネーズもしくはショートブレッドを摂取し数量を記録した。それ以外の食事や間食は、コントロール期間の食事摂取方法と同様に行った。試験油の摂取期間は 12 週間とし、コントロール期間及び試験油摂取期間中の酒類はアルコール量としてビール大瓶 1 本 (633 mL) 相当以下の量に制限した。被験者には毎日の食事及び間食の内容を食事日誌に記入させた。食事内容は管理栄養

士及び四訂日本食品標準成分表を用いて解析した。被験者には全試験期間を通して運動量をできるだけ一定に保つように指示した。

2・3 採血及び身体計測

コントロール期間の前後、試験油の摂取開始後 4 週目毎に、空腹時採血及び身体測定を行った。採血日 7 日前より禁酒とした。採血日前日の夕食は 21 時までに終了し、その後翌日の採血までは水以外の飲食を禁止した。採血後、血清生化学的検査及び血糖値の測定を行った。身体測定項目としては体重、ウエスト周囲長及びヒップ周囲長を測定した。体脂肪率の測定は試験油の摂取開始前、摂取 12 週目に実施した。

2・4 血液及び血清の分析

血清及び血糖の分析は(株)三菱化学ビーシーエルに依頼して行った。検査項目としては TG、遊離脂肪酸、総ケトン体、アセト酢酸、3-ヒドロキシ酪酸、総コレステロール、遊離コレステロール、HDL コレステロール、リン脂質、インスリン及びグルコースの各濃度を測定した。

2・5 腹部 CT スキャン撮影

各採血日の前後の 3 日以内に最寄りの施設 (矢吹医院: 栃木県芳賀郡芳賀町、東芝メディカル株式会社 TCT-300、白十字総合病院: 茨城県鹿島郡神栖町、日立メディコ株式会社 W 950 SR) で、被験者は臍部横断及び脾臓と肝臓が同一断面に写るように臍中心から一定間隔の CT 断層撮影を行った。得られた臍中心の腹部 CT 像から Tokunaga らの方法¹⁰⁾に従って全脂肪面積、内臓脂肪面積及び皮下脂肪面積を求めて脂肪量とした。また肝臓中の脂肪量の測定は加藤らの方法¹¹⁾に従い、各被験者において肝臓及び脾臓が常に同一断面となる像の

特定の部位を用いて肝臓 CT 値及び脾臓 CT 値を測定し、肝臓/脾臓の CT 値比を算出した。

2・6 体脂肪率の測定

コントロール期間の終了日、試験油の摂取 12 週目に、被験者の体脂肪率の測定を行った。体脂肪率は空気置換法¹²⁾を使用した体密度計 (日本光電 MAB-1000) により測定した。

2・7 統計的検定方法

コントロール期間終了時の各測定値を 100 としてその後の変動率 (%) を平均値±標準誤差で示し、t 検定により 2 群間の有意差を判定した。両群間で有意な差を認めた項目については括弧内に平均値と標準誤差及び検定結果を本文中に示した。また、コントロール期間終了後の各群それぞれの測定値と試験油の摂取 4,8,12 週目のそれぞれの測定値について paired t 検定により有意差を判定した。

3 結 果

3・1 脂質摂取量及び摂取カロリー

試験油摂取 8 週目に、DG 食群及び TG 食群の被験者のうち 1 名ずつが、私事都合により試験継続を辞退した。以後、DG 食群及び TG 食群各 19 名の結果について解析した。

Table 2 に試験油摂取開始前の各試験油食群の被験者特徴を示した。各評価項目とも両群間に差は認められなかった。

Fig. 1 (a,b,c) に両群被験者の 1 日当たりの総脂質摂取量、試験油摂取量及び総エネルギー摂取量を 4 週毎の平均値で図示した。

試験期間中の 1 日平均摂取エネルギー量は約 1900

Table 2 Characteristics of Subjects before Dietary Lipid Ingestion.

	Diacylglycerol diet	Triacylglycerol diet
Age (y)	35 ±1	31 ±1
Weight (kg)	72.1 ±1.8	68.1 ±1.3
Height (m)	173 ±1.3	170 ±1.4
Body mass index (kg/m ²)	24.1 ±0.4	23.5 ±0.3
Waist circumference (cm)	85.0 ±1.4	82.0 ±1
Hip circumference (cm)	97.1 ±0.9	96.1 ±0.7
Waist/Hip ratio	0.87±0.01	0.85±0.01
Body fat ratio (%)	21.6 ±1.2	20.3 ±1.0
Liver/Spleen CT ratio	1.24±0.04	1.23±0.03
Triacylglycerol (mg/100 mL)	103 ±8	116 ±14
Total cholesterol (mg/100 mL)	180 ±7	183 ±7
Free fatty acid (mEq/L)	0.54±0.04	0.59±0.04
Glucose (mg/100 mL)	89 ±2	86 ±1
Insulin (μU/mL)	5.0 ±0.6	4.0 ±0.4

Values are means±SE, n=19.

Fig. 1 Dietary Intakes.
Values are daily averages for 4 weeks.
Values are means $\pm$ SD, $n=19$.

kcal, 平均脂質摂取量は約 43 g, エネルギー摂取量に占める脂質エネルギーの比率はほぼ 21% と一定であり, いずれの項目についても厚生省のガイドラインによる適性摂取範囲を満足するものであった。DG 食群と TG 食群間に有意差は認められなかった。

3・2 身体計測値の変動

体重は試験油の摂取前と比べて, 摂取後に両群とも低下し, 摂取 8 週目の変動率 (DG 群; $98.1 \pm 0.3\%$, TG 群; $98.9 \pm 0.3\%$, $p < 0.05$) 及び摂取 12 週目の変動率 (DG 群; $97.4 \pm 0.3\%$, TG 群; $98.6 \pm 0.5\%$, $p < 0.05$) で両群間に有意差を認めた (Table 3)。BMI については両群とも試験油の摂取前と比べて摂取後に有意に減少し, 摂取 8 週目の変動率 (DG 群; $98.1 \pm 0.3\%$, TG 群; $98.9 \pm 0.3\%$, $p < 0.05$) 及び摂取 12 週目の変動率 (DG 群; $97.4 \pm 0.3\%$, TG 群; $98.7 \pm 0.5\%$, $p < 0.05$) で両群間に有意差を認めた (Table 3)。ウエスト周囲長は両群とも試験油摂取前と比べて有意に低下したが, 両群間の変動率に有意差は認められなかった (Table 3)。ヒップ周囲長は TG 食群で試験油の摂取後に有意に低下したが, 変動率は両群間に有意差が認められなかった (Table 3)。ウエスト/ヒップ比は DG 食群で試験油の摂取 4 週目から有意に低下し, TG 食群においても試験油の摂取 12 週目に有意に低下した (Table 3)。また変動率は摂取 8 週目 (DG 群; $97.7 \pm 0.4\%$, TG 群; $99.2 \pm 0.5\%$, $p < 0.05$) で両群間に有意差を認めた (Table 3)。体脂肪率については両群とも摂取 12 週目で低下したが, 試験油摂取前に比べて DG 食群は摂取 12 週目で有意に低下した (Table 3)。変動率は両群間に差を認めなかった

Table 3 Changes in Rate of Variation in Body Indexes.

	Diacylglycerol Diet								Triacylglycerol Diet							
	0 week		4 weeks		8 weeks		12 weeks		0 week		4 weeks		8 weeks		12 weeks	
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
Body weight ¹⁾	100		98.8 $\pm$ 0.3 ^{##}		98.1 $\pm$ 0.3 ^{##*}		97.4 $\pm$ 0.3 ^{##*}		100		98.9 $\pm$ 0.2 [#]		98.9 $\pm$ 0.3 [#]		98.6 $\pm$ 0.5 [#]	
BMI ¹⁾	100		98.8 $\pm$ 0.3 ^{##}		98.1 $\pm$ 0.3 ^{##*}		97.4 $\pm$ 0.3 ^{##*}		100		98.9 $\pm$ 0.2 ^{##}		98.9 $\pm$ 0.3 [#]		98.7 $\pm$ 0.5 [#]	
Waist ¹⁾	100		98.8 $\pm$ 0.4 ^{##}		97.6 $\pm$ 0.4 ^{##}		97.1 $\pm$ 0.5 ^{##}		100		98.7 $\pm$ 0.6 [#]		98.4 $\pm$ 0.4 ^{##}		97.4 $\pm$ 0.6 ^{##}	
Hip ¹⁾	100		99.7 $\pm$ 0.5		100.0 $\pm$ 0.4		99.4 $\pm$ 0.5		100		98.9 $\pm$ 0.2 ^{##}		99.3 $\pm$ 0.2 ^{##}		99.4 $\pm$ 0.3 [#]	
Waist/Hip ratio ¹⁾	100		99.1 $\pm$ 0.5 ^{##}		97.7 $\pm$ 0.4 ^{##*}		97.7 $\pm$ 0.5 ^{##}		100		99.7 $\pm$ 0.6		99.2 $\pm$ 0.5		98.0 $\pm$ 0.6 ^{##}	
Body fat ratio ¹⁾	100						93.3 $\pm$ 1.4 ^{##}		100						94.2 $\pm$ 3.7	
Total fat ^{1,2)}	100		100.3 $\pm$ 1.8 ^{**}		92.6 $\pm$ 2.1 ^{##}		85.1 $\pm$ 2.6 ^{##*}		100		106.7 $\pm$ 1.7 ^{##}		97.8 $\pm$ 2.8		92.9 $\pm$ 3.7	
Visceral fat ^{1,2)}	100		102.9 $\pm$ 4.1 [*]		93.5 $\pm$ 4.6		83.4 $\pm$ 5.0 ^{##}		100		115.1 $\pm$ 4.6 ^{##}		101.9 $\pm$ 5.3		94.0 $\pm$ 5.8	
Subcutaneous fat ^{1,2)}	100		100.0 $\pm$ 2.0		92.9 $\pm$ 1.7 ^{##}		86.8 $\pm$ 1.9 ^{##}		100		103.4 $\pm$ 1.6 [#]		95.9 $\pm$ 2.6		92.7 $\pm$ 3.5	
Liver CT/Spleen CT ratio ¹⁾	100		102.3 $\pm$ 3.4		106.4 $\pm$ 3.1 ^{***}		108.0 $\pm$ 2.9 ^{##***}		100		97.0 $\pm$ 2.0		96.5 $\pm$ 1.8 [#]		98.1 $\pm$ 1.9	

Values are means $\pm$ SE, $n=19$.

Significantly different from triacylglycerol diet group, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

Significantly different from the value at the end of control period, # $p < 0.05$, ## $p < 0.01$.

1) Rate of variation means the percentage as the value at the end of control period.

2) Described as an area determined by CT scan.

(Table 3).

3・3 臍部 CT 像での脂肪量の変動

Fig. 2 (a,b,c) には試験油摂取期間中の臍部 CT 像で得られた全脂肪面積、内臓脂肪面積及び皮下脂肪面積の変化を変動率で示した。全脂肪量は DG 食群において試験油の摂取前と比較すると摂取 8, 12 週目に有意に低下した。また、TG 食群では摂取 4 週目に有意に上昇したものの、摂取 8 週目からは低下傾向を示した。また、全脂肪量の変動について DG 食群と TG 食群とを比較すると、試験油摂取 4 週目 (DG 群; $100.3 \pm 1.8\%$, TG 群; $106.7 \pm 1.7\%$, $p < 0.01$) 及び摂取 12 週目 (DG 群; $85.1 \pm 2.6\%$, TG 群; $92.9 \pm 3.7\%$, $p < 0.05$) で有意差を示した。内臓脂肪量については DG 食群では試験油の摂取前と比較して摂取 8 週目から低下傾向を示し、摂取 12 週目に有意に低下した。TG 食群では試験油の摂取前と比較して摂取 4 週目に有意に上昇し、その後低下傾

Fig. 2 Changes in Rate of Variation in Body Fat Areas at the Level of the Umbilicus by CT Scan.

Values are means $\pm$ SE, $n=19$.

Significantly different from triacylglycerol diet group, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

Significantly different from the value at the end of control period, # $p < 0.05$, ## $p < 0.01$.

Rate of variation means the percentage as the value at the end of control period.

向を示した。また、内臓脂肪量の変動について DG 食群と TG 食群とを比較すると、試験油の摂取 4 週目 (DG 群; $102.9 \pm 4.1\%$, TG 群; $115.1 \pm 4.6\%$, $p < 0.05$) で有意差を示した。皮下脂肪量は DG 食群では試験油の摂取前と比較して摂取 8, 12 週目に有意に減少した。TG 食群では試験油の摂取 4 週目に有意に増加したものの、摂取 8 週目からは低下傾向を示した。また、皮下脂肪量の変動について DG 食群と TG 食群とを比較すると、DG 食群で僅かに低い傾向を示したが有意差はなかった。

3・4 CT 像での肝脂肪量の変動

Fig. 3 には試験油摂取期間中の肝臓/脾臓 CT 値比の変化を変動率で示した。肝臓/脾臓 CT 値比は試験油の摂取開始後 DG 食群において上昇し、摂取前と比較すると、摂取 8, 12 週目では有意に上昇した。一方、TG 食群では試験油の摂取前と比べて摂取 8 週目に有意に低下するものの、その後は摂取前とに有意差は認められなかった。また変動率について両群間を比較すると、試験油の摂取 8 週目 (DG 群; $106.4 \pm 3.1\%$, TG 群; $96.5 \pm 1.8\%$, $p < 0.01$) 及び摂取 12 週目 (DG 群; $108.0 \pm 2.9\%$, TG 群; $98.1 \pm 1.9\%$, $p < 0.01$) に有意差を認めた。

3・5 血清生化学検査値の変動

血清 TG 値は、DG 食群では試験油の摂取 8 週目からわずかに低下する傾向を示した (Table 4)。TG 食群で

Fig. 3 Changes in Rate of Variation in Liver CT/Spleen CT Ratio.

Values are means $\pm$ SE, $n=19$.

Significantly different from triacylglycerol diet group, ** $p < 0.01$.

Significantly different from the value at the end of control period, # $p < 0.05$, ## $p < 0.01$.

Rate of variation means the percentage as the value at the end of control period.

Table 4 Changes in Rate of Variation in Serum Metabolic Indexes.

	Diacylglycerol Diet								Triacylglycerol Diet							
	0 week		4 weeks		8 weeks		12 weeks		0 week		4 weeks		8 weeks		12 weeks	
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
Triacylglycerol ¹⁾	100		100.5± 6.7		88.5± 6.3		89.5± 5.5		100		117.7±10.8		96.8± 9.1#		94.8± 6.8	
Free fatty acid ¹⁾	100		95.6± 7.2		109.3±10.3		94.4± 8.2		100		98.9± 8.2		104.8±13.9		97.6± 9.1	
Total ketone body ¹⁾	100		188.4± 80.3		153.2±24.8		156.8±28.0		100		123.5±17.2		121.8±18.0		141.9±39.5	
Acetoacetic acid ¹⁾	100		132.9± 31.0		133.3±14.9#		122.8±15.5		100		125.9±17.9		115.2±13.3		119.6±23.1	
3-Hydroxybutyric acid ¹⁾	100		280.9±154.3		194.3±41.8		208.1±43.8		100		136.0±23.7		147.5±33.3		181.8±55.1	
Total cholesterol ¹⁾	100		100.2± 1.6		100.5± 2.2		99.0± 3.0		100		101.9± 1.4		103.0± 1.9		102.5± 1.9	
Free cholesterol ¹⁾	100		104.7± 1.8##		105.4± 2.3#		105.3± 2.1#		100		106.4± 1.4##		107.2± 2.1##		105.7± 1.8##	
HDL-cholesterol ¹⁾	100		95.5± 1.9		96.9± 2.1		95.9± 2.6#		100		98.4± 2.6		101.1± 2.6		101.2± 2.7	
Phospholipid ¹⁾	100		101.5± 2.1		99.0± 1.8		97.4± 2.2		100		103.4± 1.4#		101.6± 2.4		99.1± 1.5	
Glucose ¹⁾	100		97.6± 0.9***		100.8± 1.3		101.6± 1.6		100		101.4± 1.3		103.2± 0.9##		104.8± 1.9*	
Insulin ¹⁾	100		109.8± 12.0		96.7±12.7		118.8±14.1		100		129.8±13.1		100.9±11.8		140.3±19.8*	

Values are means±SE, n=19.

Significantly different from triacylglycerol diet group, * $p<0.05$, ** $p<0.01$.

Significantly different from the value at the end of control period, # $p<0.05$, ## $p<0.01$.

1) Rate of variation means the percentage as the value at the end of control period.

は試験油の摂取4週目には上昇傾向にあったが、その後低下して一定の値を維持した。また遊離脂肪酸濃度は両群間で有意差は認められなかった。血清ケトン体のうちアセト酢酸濃度は、DG食群において試験油の摂取8週目に有意に上昇したが、TG食群での変動は認められず、両群間の変動率も有意差は認められなかった。3-ヒドロキシ酪酸濃度及び総ケトン体濃度は、DG食群で試験油の摂取4週目で上昇する傾向にあったが、摂取前と比較して有意差は認められず、変動率も両群間に有意差は認められなかった。総コレステロール及びHDLコレステロールの各濃度とも試験期間中の変動に有意差は認められなかった。遊離コレステロールの変動率は、両群とも試験油の摂取4週目に有意に上昇し、摂取8,12週目まで一定の値を維持したが、両群間に有意差は認められなかった。グルコース濃度はDG食群において試験油の摂取4週目に有意に低下したが、TG食群では摂取8,12週目に有意に上昇した。また、その変動率は試験油の摂取4週目(DG群; $97.6\pm 0.9\%$, TG群; $101.4\pm 1.3\%$, $p<0.05$)に両群間で有意差を認めた。インスリン濃度は、TG食群において試験油の摂取12週目で有意に上昇した。

4 考 察

近年、食事中の脂質摂取量が多いほど体脂肪率が高いという調査が報告されており¹³⁾、特に脂肪の蓄積では内臓脂肪型肥満が糖尿病、高脂血症、高血圧及び動脈硬化性疾患などいわゆる生活習慣病と深くかかわることが明らかになっている¹⁴⁾。本試験では総脂質摂取量目標値を50gとし、脂質含量を明確にしたメニューを使用

したが、昼食を自由選択としたためDG食群、及びTG食群とも12週間の平均総脂質量は約43g(脂質カロリー比21%)となった。第五次改定日本人の栄養所要量⁶⁾に従えば、活動量I(軽い)の脂質所要量は20~25%であるが、このような食事条件下において、軽度から中等度肥満に属する本試験の被験者ではDG食群及びTG食群とも体重や体脂肪率が減少した(Table 3)。これは被験者の試験開始前の食事中の総脂質量や総カロリー量が、試験食の総脂質量及び総カロリー量に比べて高かったためと推測される。しかしながら、局所的な体脂肪量についてはDG食群とTG食群の間で異なった変動を示した。すなわち、両群とも体脂肪率は減少したが、摂取前に比較すると特にDG食群で体脂肪率の減少が著しく(Table 3)、また臍部CT像で得られた全脂肪量及び内臓脂肪量の変動率は、試験油の摂取期間中に両群間で有意差が認められた。さらに全脂肪量、内臓脂肪量及び皮下脂肪量ともDG食群では、摂取前と比較して摂取12週目には有意に低下した(Fig. 2(a, b, c))。これら体脂肪量の変動の違いは、DG食とTG食摂取による脂質代謝の違いと考えられる。すなわちDG食摂取では試験期間中に血糖値、インスリン濃度に変化は見られないが、TG食摂取では経時的に増加する傾向にあり、血糖値は摂取前と比較して摂取12週目には有意に増加していた(Table 4)。内臓脂肪量の増加に伴いインスリン抵抗性が高まると報告¹⁵⁾されているが、DG食摂取ではインスリン抵抗性が改善され、内臓脂肪量の減少に寄与していることが示唆された。

本試験ではDG食摂取とTG食摂取により、内臓と肝臓における脂肪の蓄積挙動が顕著に異なることが示さ

Fig. 4 Relation between Fasting Serum Free Fatty Acid Concentration and Liver CT/Spleen CT Ratio after 12 weeks.

れた (Fig. 2 b, Fig. 3)。すなわち、内臓脂肪は DG 食と TG 食に依らず低下したが、肝脂肪は DG 食摂取により顕著に減少した。そこで内臓脂肪量と相関が高いと報告¹⁶⁾されている空腹時の血清遊離脂肪酸 (FFA) 量の試験期間における変動と内臓脂肪、肝脂肪の変動との関係について解析した。

試験油摂取 12 週目の各被験者の FFA 濃度と内臓脂肪量との関係には相関性が見られなかったが、FFA 濃度と肝脂肪量では相関性が見られた (Fig. 4)。さらに FFA 濃度の低い被験者ほど、肝脂肪量が少ない傾向が見られた。そこでさらに各被験者毎に試験油摂取 12 週目の空腹時の FFA 濃度変動率と内臓脂肪量の変動率との関係 (Fig. 5)、及び肝脂肪量の変動率との関係 (Fig. 6) を解析した。

試験終了後までに、全被験者の 79% が内臓脂肪量は減少しているが、FFA 濃度変化と内臓脂肪量変化の相関性は認められなかった。一方、肝脂肪量では DG 食群での低減が顕著 (Fig. 3) であることは既に述べたが、DG 食群被験者の 79%、TG 食群被験者の 32% に肝脂肪量の低減が見られた。そのうち、FFA 濃度が同時に減少する被験者は DG 食群被験者の 60% であった。従って、Fig. 6 に示すように TG 食群では FFA 濃度は減少するが、必ずしも肝脂肪量は改善されないことが示された。すなわち、食事性の TG の摂取を低減させても、内臓脂肪の低減は可能であるが、肝脂肪の低減は困難であり、DG を摂取した場合には内臓脂肪と肝脂肪のいずれも減少させることが可能である (Fig. 3)。このように、DG 食摂取時には、血液中の FFA が特

Fig. 5 Relation between Rate of Variation in Fasting Serum Free Fatty Acid Concentration and Rate of Variation in Visceral Fat Area at the Level of Umbilicus by CT Scan after 12 weeks.

Rate of variation means the percentage as the value at the end of control period.

Fig. 6 Relation between Rate of Variation in Fasting Serum Free Fatty Acid Concentration and Rate of Variation in Liver CT/Spleen CT Ratio after 12 weeks.

Rate of variation means the percentage as the value at the end of control period.

に肝臓における脂質代謝と密接に関連していることが強く示唆された。

ラットを用いた実験で、DG 食投与により肝臓の β 酸

化系酵素が上昇する¹⁷⁾こと、及び β 酸化に伴うケトン体の産生量が増加することが報告されている²⁾。本研究においても試験開始後4週目において、血清総ケトン体や3-ヒドロキシ酪酸濃度はTG食群と比較してDG食群で上昇傾向を示した。DG食群とTG食群の間に認められた著しい肝脂肪量の変動の違いは、肝臓での β 酸化の上昇に伴って肝脂肪量が低下し、やがて内臓脂肪量の減少へと続くものと考えられた。

本試験では試験開始4週間目において、TG食群で血清TG濃度の増加傾向と内臓脂肪の有意な増加が見られた。この時点では同時に、血糖値の有意な増加及びインスリン濃度の上昇傾向が見られた。これらの変化は、本試験での食事制限への移行に伴う一時的な脂質代謝系の補償機構の存在の可能性か、あるいはそれ以外の生理作用によるものと考えられるが、なぜDG食群でそのような変化が見られなかったかを含め今後の研究課題と考えている。

食事の質を改善する際にDGを利用することによって、単に体重や体脂肪率を低下させるだけでなく、病態との関連が深い内臓脂肪や肝脂肪などの局所の脂肪量を低下させ、体組成の質的改善に役立つ食油として利用し得るものであると考えられる。すなわち、DGは、内臓の脂肪量を低下させることにより、内臓脂肪が関係する生活習慣病の予防や改善に期待される食油と考えられる。

謝 辞

本研究にあたり、ご指導と助言を賜りました、帝京大学医学部附属病院 副院長 宮澤幸久教授に深謝いたします。

(受付: 1997年12月26日, 受理: 1998年2月12日)

文 献

- 1) 渡邊浩幸, 鬼沢孝司, 田口浩之, 藤森尚子, 内藤幸雄, 後藤直宏, 安川拓次, 服部道廣, 島崎弘幸, “日本油化学会誌”, 46, 309 (1997).
- 2) 渡邊浩幸, 鬼沢孝司, 田口浩之, 小堀真由美, 千葉啓恵, 内藤幸雄, 松尾 登, 安川拓次, 服部道廣, 島崎弘幸, “日本油化学会誌”, 46, 301 (1997).
- 3) H. Bierbach, “*Digestion*”, 28, 138 (1983).
- 4) K. Hara, K. Onizawa, H. Honda, K. Otuji, T. Ide, M. Murata, *Ann. Nutr. Metab.*, 37, 185 (1993).
- 5) M. Murata, K. Hara, T. Ide, *Biosci. Biotech. Biochem.*, 58, 1416 (1994).
- 6) 厚生省, “第五次改訂日本人の栄養所要量” (1994).
- 7) H.J. Birgitte, R.G. Donna, R.G. Jensen, *JAACS*, 65, 905 (1988).
- 8) 科学技術庁, “日本食品標準成分表の改訂に関する調査報告” (1982).
- 9) 厚生省, “平成6年国民栄養調査成績” (1996).
- 10) K. Tokunaga, Y. Matsuzawa, K. Ishikawa, S. Tarui, *Int. J. Obes.*, 7, 437 (1983).
- 11) 加藤活大, 高山哲夫, 佐野 博, 片田直幸, 武市政之, “*肝臓*”, 25, 1097 (1984).
- 12) P. Dempster, S. Aitkens, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27, 1692 (1995).
- 13) L.H. Nelson, L.A. Tucker, *J. Am. Diet. Assoc.*, 96, 771 (1996).
- 14) S. Fujikura, Y. Matuzawa, K. Tokunaga, S. Tarui, *Metabolism*, 36, 54 (1987).
- 15) S. Yamashita, T. Nakamura, I. Shimomura, M. Nishida, S. Yoshida, K. Kotani, K. Takemura, T. Tokunaga, Y. Matsuzawa, *Diabetes Care*, 19, 287 (1996).
- 16) M.D. Jensen, M.W. Haymond, R.A. Rizza, P.E. Cryer, J.M. Miles, *J. Clin. Invest.*, 83, 1168 (1989).
- 17) M. Murata, T. Ide, K. Hara, *Br. J. Nutr.*, 77, 107 (1997).

[報文] ガスクロマトグラフィー-ヘリウムマイクロ波誘導プラズマ原子発光検出法 (GC-MIP-AES) による油脂成分トリメチルシリル誘導体の元素組成分析

中原 一好^{*1}・山本 信也^{*2}・石渡 勝己^{*1}・高松 翼^{*1}

^{*1} 株式会社資生堂 安全性・分析センター (〒223-8553 横浜市港北区新羽町 1050)

^{*2} 株式会社資生堂 掛川工場製薬部 (〒436-0047 静岡県掛川市長谷 1120)

ガスクロマトグラフィー-マイクロ波誘導プラズマ原子発光分析法 (GC-MIP-AES) を脂肪酸 (FA), モノアシルグリセリン (MG) 及びジアシルグリセリン (DG) トリメチルシリル (TMS) エステル (又はエーテル) 誘導体の元素組成分析に適用し評価を行った。ケイ素による負の干渉を酸素発光クロマトグラムにおいて認めた。その干渉の強度及び正の酸素発光強度は、ヘリウムメークアップガス流量の増加と共に反比例的に減少した。ヘリウムメークアップガス流量の至適条件下 (160 mL/min) において、FA, MG 及び DG-TMS 誘導体の元素組成分析における酸素個数は、理論値 ± 0.3 個以内と計算され、それらの相対標準偏差 (%) は、3.1% (FA-TMS), 4.1% (MG-TMS) 及び 4.5% (DG-TMS) 以内であった。 (連絡者: 中原一好) Vol. 47, No. 4, 359 (1998)

[報文] ジアシルグリセリンの長期摂取によるヒトの体脂肪代謝に及ぼす効果

渡邊 浩幸・長尾 知紀・後藤 直宏・福島 陽子・
鬼沢 孝司・田口 浩之・大町登志子・安川 拓次・
内藤 幸雄・島崎 弘幸^{*1}・板倉 弘重^{*2}

花王株式会社生物科学研究所 (〒321-3497 栃木県芳賀郡市貝町赤羽 2606)

^{*1} 帝京大学医学部第一生化学教室 (〒173-0003 東京都板橋区加賀 2-11-1)

^{*2} 国立健康・栄養研究所 臨床栄養部 (〒162-0052 東京都新宿区戸山 1-23-1)

この研究は、長期間の食事性ジグリセリド摂取の人体脂肪に対する影響を検討するために行った。使用した DG の脂肪酸組成は、TG の脂肪酸組成と同じであった。健常男子 (27~49 歳) には、一日当たり 50 g (朝食として 15 g, 昼食として 15 g 及び夕食として 20 g) の TG を通常の食事として与えた。4 週間の TG 食の後、10 g の DG または TG を朝食を与えるために被験者を二群に分けた。被験者は 4 週間毎に、最寄りの医療施設で、採血、身体計測及び CT スキャン (CT) による腹部脂肪量測定と肝脂肪量測定を行った。摂取後 12 週目において、DG 食群では TG 食群と比較して、体重、BMI 及びウエスト・ヒップ比が有意に低下した。DG 食終了後において、腹部の体脂肪量は TG 食終了後と比べてより減少していた。肝脂肪量の指標となる肝臓 CT/脾臓 CT 比の結果から、肝脂肪量は TG 食群と比較して DG 食群で摂取後 8 及び 12 週目に有意に低下した。DG 食群における DG の肝脂肪量の減少効果は、血清遊離脂肪酸の低下が大きかった被験者ほど明らかであった。一方、DG 食群の血清ケトン体は TG 食群と比べて上昇する傾向にあった。TG 食群において、血清グルコース及びインスリンは有意に上昇したが、DG 食群では試験期間中においてそれらは上昇しなかった。これらの結果から、DG 食はインスリンの感受性を改善し、肝臓での β 酸化を上昇させることによって内臓及び肝臓の脂肪量を減少させているものと考えられた。DG はエネルギーとして利用されやすく、TG に比べて、血清インスリンや遊離脂肪酸を減少させ、低蓄積性の油脂であると考えられる。 (連絡者: 渡邊浩幸) Vol. 47, No. 4, 369 (1998)