Effects of Margarine Containing Medium-Chain Triglycerides on Diet-Induced Thermogenesis

Yoshie SUZUKI¹, Naohisa NOSAKA¹, Hideaki MAKI¹, Michio KASAI^{1*}, Toshiaki AOYAMA¹, Hirofumi HARUNA², Tooru TODA², Mitsuko OKAZAKI³, Osamu IGARASHI⁴ and Kazuo KONDO⁵

¹ Division of Healthcare Science Research Laboratory, The Nisshin Oillio Group, LTD.

(1 Shinmei-cho, Yokosuka, Kanagawa, 239-0832, JAPAN)

² Food Research and Development Center, The Nisshin Oillio Group, LTD.

(1 Shinmei-cho, Yokosuka, Kanagawa, 239-0832, JAPAN)

³ Kagawa Nutrition University

(3-9-21 Chiyoda, Sakado, Saitama 350-0288, JAPAN)

⁴ Ibaraki Christian University

(6-11-1 Oomika-cho, Hitachi, Ibaraki, 319-1295, JAPAN)

⁵ Institute of Environmental Science for Human Life, Ochanomizu University

(2-1-1 Ohtsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610, JAPAN)

Edited by K. Miyashita, Hokkaido Univ., and accepted January 20, 2005 (received for review November 30, 2004)

Abstract: This study investigates the effects of margarine containing medium-chain triglycerides (MCT-M) on diet-induced thermogenesis (DIT) and was conducted in double-blind, cross-over design. Twenty-five healthy subjects in the first part of the study (study1) and 7 healthy women in the second (study2) participated in this examination. Long-chain triglycerides (LCT) were prepared with a blend of rapeseed oil and soybean oil (LCT-M). Sandwiches with MCT-M or LCT-M and clear soup were used as test food in the first part and in the second pound cake and ice cream containing MCT-M or LCT-M. Oxygen consumption and carbon dioxide production were measured by indirect calorimetry. Resting energy expenditure was determined based on these parameters, applying the equation of Weir. Increase in oxygen consumption after eating MCT-M sandwiches at 60 and 120 min was found significantly greater than for LCT-M sandwiches, as was also noted after eating MCT-M pound cake and MCT-M ice cream at 60 min. DIT after eating sandwiches with MCT-M during 6 h was clearly more than noted for LCT-M, and after pound cake and ice cream consumption with MCT-M during 4 h significantly exceeded that for LCT-M. The intake of MCT-M would thus appear to lead to greater DIT, compared to that following LCT-M consumption, irrespective of the mode of food preparation.

Key words: medium-chain triglyceride, diet-induced thermogenesis, margarine, pound cake, ice cream, human

1 緒 言

Abbreviations: DIT, diet-induced thermogenesis; MCFA, medium-chain fatty acids; MCT, medium-chain triglycerides; LCFA, long-chain fatty acids; LCT, long-chain triglycerides; RQ, respiratory quotient; REE, resting energy expenditure

肥満は脂肪が過剰蓄積した状態であり、摂取エネルギーが消費エネルギーを上回ることにより発症する。更に肥満は、高脂血症、高血圧、動脈硬化、糖尿病な

*Correspondence to: Michio KASAI, Division of Healthcare Science Research Laboratory, Nisshin Oillio Group, LTD., 1 Shinmei-cho, Yokosuka, Kanagawa, 239-0832, JAPAN
E-mail: m-kasai@nisshin-oillio.com

ど生活習慣病の主要な危険因子であることが知られている。食事誘発性体熱産生 (DIT) は1日のエネルギー消費量の10%前後を占めており、エネルギー消費量を算出する上で重要な要因である。このエネルギーの出納バランスにより大半が脂肪の蓄積及び抑制に関わっている。DIT に影響を及ぼす食品素材としてカプサイシンやカフェイン、脂肪酸などの研究が進められている (1-3)。脂肪酸の中でも、通常摂取している食用油脂は炭素数が12以上の長鎖脂肪酸 (LCFA) で構成されている。また、最近魚油の LCFA で DIT に影響を及ぼす事が報告されている (4)。一方、中鎖脂肪酸 (MCFA) はエネルギー消費量を増加することが多くの研究者により報告されている (5-7)。MCFA は炭素数8から10の脂肪酸で、主に天然のパーム核油やヤシ油、牛乳に含まれている。国民栄養調査を基に日本人の MCFA 摂取量を推定すると、1日あたり0.2~0.3 g 程度と考えられている (8)。近年の研究で MCFA の摂取は、ヒトの体脂肪の蓄積を抑制することが明らかとなっている (9)。その中で Nosaka ら (10) は5 g という少量の中鎖脂肪酸トリグリセリド (MCT; MCFA 結合油脂) の摂取で体脂肪の蓄積抑制を確認している。そのメカニズムの一つとして、エネルギー消費の増加をあげているが、DIT 亢進に関する研究において MCT 10 g 以下での報告例はほとんどない。そこで本研究は5 g の MCT を含むファットスプレッドの DIT 亢進効果について検討し、更に MCT を幅広い加工油脂食品に応用するため、加熱や凍結などの調理操作を行なった食品について MCT の DIT 亢進効果に影響を及ぼすかどうかについて合わせて検討を行った。

2 試験方法

2.1 被験者

試験1は健康成人25名 (男性11名、女性14名: 平均年齢 28.9 ± 1.05 歳、身長 165.6 ± 1.43 cm、体重 60.1 ± 2.14 kg、BMI 21.8 ± 0.52 kg/m²) を対象とした。試験2は健康成人女性7名 (平均年齢 30.4 ± 1.91 歳、身長 161.2 ± 1.13 cm、体重 53.0 ± 2.52 kg、BMI 20.4 ± 0.89 kg/m²) を対象とした。また、本試験はお茶の水女子大学倫理委員会の承認を得て、ヘルシンキ宣言 (1964 年制定、2000 年修正) の精神に則り実施した。全ての被験者には事前に試験の主旨や方法について十分な説明を行い、同意を得た後、試験を実施した。

2.2 試験食

試験1) 5 g の MCT を含有するファットスプレッド (14 g) とジャム (30 g) を食パン (120 g) にはさんだサンドイッチ (MCT 食) と、市販のインスタントコン

ソメスープ (160 ml) を用いた。

試験2) 5 g の MCT を含有するファットスプレッドを含むパウンドケーキ (52 g) 及びアイスクリーム (100 g) を用いた。パウンドケーキは MCT 含有ファットスプレッド (100 g) に上白糖 (100 g)、全卵 (85 g)、薄力粉 (100 g)、ベーキングパウダー (1 g) を加え混合し、天火 190℃、下火 170℃ のオーブンで焼成した。アイスクリームは、水 (60 g) に水飴 (5 g)、グラニュー糖 (10 g)、脱脂粉乳 (10 g) を加え混合後、MCT 含有ファットスプレッド (14.3 g) を添加し、アイスクリーマーにかけ調製した。

試験食のサンドイッチ、コンソメスープ、パウンドケーキは常温で、アイスクリームは摂取1時間前に保冷箱に移し、約-7℃の状態を提供した。両試験とも対照食 (長鎖脂肪酸トリグリセリド食; LCT 食) には MCT を一般的に家庭で使用されている調合油 (菜種: 大豆; 7:3 (w/w)) に置換えたファットスプレッドを用いた (Table 1, 2)。

2.3 試験方法

本試験は二重盲検交差法で行った。試験期間中、被験者は普段の生活サイクル及び食生活を保たせた。試験日前日は21:00以降の飲食は水のみとした。試験日は測定室に9:00に集合し、身長及び体重を測定後、呼気ガス測定まで椅子に座りリラックス状態を保った。10:00より摂取前の呼気ガスを測定した。MCT 食もしくは LCT 食の摂取後30分及び1時間を測定し、それ以降は1時間間隔で6時間まで呼気ガスを測定した。なお、試験2は試験食のカロリーが低いことから全員の安静時代謝量 (REE) が摂取前の状態に戻った摂取後4時間で測定を終了した。呼気ガス中の酸素消費量及び二酸化炭素排泄量の測定はエアロモニター AE-300 S (ミナト医科学(株)、大阪) を用いた。非タンパク呼吸商 (RQ) は酸素消費量及び二酸化炭素排泄量より算出した。REE は Weir の式を使い、酸素消費量及び二酸化炭素排泄量より求めた (11)。エアロモニター AE-300S のガス分析法は酸素分析にダンベル型酸素濃度計を、二酸化炭素分析に赤外線吸収式炭酸ガス濃度計を用いて行った。摂食試験実施後、3日以上の間隔を開けて、異なる油脂について試験を行った。なお、女性の被験者については月経周期により熱産生量が異なるため、試験日を高温期もしくは低温期の同一周期になるように日程調整を行った。測定室の気温は25-26℃、湿度は50-55%に設定した (12-14)。

2.4 統計解析

全ての値は平均値±標準誤差で示した。MCT 食もしくは LCT 食摂取後の酸素消費量及び RQ は繰り返しの

Table 1 Fatty Acid Composition of Test Margarines.

Fatty acid	Long-chain ¹ triglycerides	Medium-chain triglycerides
	g/100g total fatty acids	
8:0 ²	ND ³	39.0
10:0	ND	13.0
12:0	0.1	0.1
14:0	0.4	0.4
16:0	19.3	16.3
16:1	0.1	0.1
17:0	0.1	ND
18:0	4.7	3.6
18:1	47.9	22.3
18:2	19.7	3.3
18:3	5.9	0.9
20:0	0.5	0.3
20:1	0.7	0.2
22:0	0.3	0.1
22:1	0.1	ND
24:0	0.1	0.1
24:1	0.1	ND
Others	0.0	0.3
Total	100.0	100.0

¹ Blended mixture of rapeseed and soybean oils (7:3)² Number of carbon atoms: number of double bonds.³ ND, not detected.**Table 2** Nutrient and Energy Contents of Test Meal.

	Sandwich	Pound cake	Ice cream
Energy (kcal) LCT MCT	499 495	215 210	183 178
Protein (g)	11.7	2.6	3.4
Fat (g)	15.5	11.3	10.0
Carbohydrate (g)	77.4	24.7	19.7

Test meals of energy, protein, fat, and carbohydrate were calculated by the dietitian on the basis of the Fifth revision of the Standard Table of Food Composition in Japan. (2000)

二元配置分散分析（油脂×時間）を行い、有意差が確認されたものは、各時間ごとに対応のある t 検定を行った。DIT の計算は台形法を用いた。MCT 食及び LCT 食摂取後の DIT は一元配置分散分析を行い、有意差が確認された場合、対応のある t 検定で解析した。いずれも危険率 5% 未満 ($P < 0.05$) で統計的有意差があったとした。統計計算は SPSS Version 10.0J を使用した。

3 結 果

試験 1) 被験者 25 名の試験食摂取前 REE, 酸素消費量及び RQ はそれぞれ, MCT 食群で 1479.9 ± 43.7 kcal, 215.6 ± 6.33 ml/min, 0.79 ± 0.01 . LCT 食群で 1516.0 ± 48.9 kcal, 220.0 ± 6.77 ml/min, 0.80 ± 0.02 であった。

MCT 食および LCT 食摂取後の酸素消費変化量は、すべての時間において MCT 食群が LCT 食群よりも高値を示した。特に、摂取後 60 分, 120 分ではそれぞれ MCT 食群が 33.20 ± 2.80 ml/min, 27.84 ± 2.70 ml/min. LCT 食群が 25.36 ± 2.62 ml/min, 19.12 ± 2.76 ml/min と, MCT 食群が有意な高値を示した (Fig. 1)。また、摂取後 30 分の RQ において MCT 食群で 0.79, LCT 食群で 0.81 と MCT 食群が有意に低値を示した (Fig. 2)。試験食摂取後 6 時間の DIT は MCT 食群が LCT 食群に比べ約 7kcal エネルギー消費が増大しており、摂取したエネルギーに対し 1.6% 亢進していた (Table 3)。

試験 2) 被験者 7 名のパウンドケーキ摂取前の REE, 酸素消費量及び RQ は、それぞれ MCT 食群で 1328.0 ± 64.7 kcal, 193.3 ± 9.54 ml/min, 0.78 ± 0.02 . LCT 食群で 1365.1 ± 62.9 kcal, 199.9 ± 9.78 ml/min, 0.76 ± 0.02 であった。アイスクリーム摂取前の REE, 酸素消費量及び RQ は、それぞれ MCT 食群で 1282.1 ± 75.7 kcal, 186.4 ± 10.94 ml/min, 0.79 ± 0.02 . LCT 食群で 1311.0 ± 69.2 kcal, 192.0 ± 10.44 ml/min, 0.77 ± 0.01 であった。MCT 食および LCT 食摂取後の酸素消費変化量はパウンドケーキで摂取後 60 分, 240 分, アイスクリームは摂取後 60 分において MCT 食群が有意に高値を示した (Fig. 3, 4)。また、RQ についてはアイスクリーム摂取後 30 分, 120 分に有意に低値を示した。試験食摂取後 4 時間の DIT はパウンドケーキ, アイスクリームとも MCT 食群が LCT 食群に比べ有意にエネルギー消費が増大し、エネルギー摂取量に対する DIT の割合はパウンドケーキ及びアイスクリームでほぼ同程度の増加が認められた (Table 4)。

4 考 察

MCT の体脂肪蓄積抑制効果は 1950 年代から研究が進められてきた。近年、我々の研究グループはヒトを対象として、MCT に体脂肪の蓄積抑制効果のあることを示した (9, 10)。本研究ではその要因の 1 つと考えられる DIT の亢進について、少量 (5 g) の MCT 摂取においても効果を示すかどうか検討した。試験結果から MCT を 5 g 含有するファットスプレッドの摂取は LCT を同量含有するファットスプレッドの摂取に比べ、エネルギー産生の亢進することが明らかとなった。Seaton ら (3) は、健常男性 7 名に MCT 48 g または

Fig. 1 Change in Oxygen Consumption before and after the Ingestion of Meal with Margarine Containing 5g of Long-Chain Triglycerides or Medium-Chain Triglycerides^{1,2}.

¹ Mean $\pm$ SE; $n = 25$. $\circ$; medium-chain triglycerides, $\blacksquare$; long-chain triglycerides.

² **Significantly different from the meal containing 5g LCT, $P < 0.01$.

Fig. 2 Change in Respiratory Quotients before and after the Ingestion of Meal with Margarine Containing 5g of Long-Chain Triglycerides or Medium-Chain Triglycerides^{1,2}.

¹ Mean $\pm$ SE; $n = 25$. $\circ$; medium-chain triglycerides, $\blacksquare$; long-chain triglycerides.

² *Significantly different from the meal containing 5g LCT, $P < 0.05$.

Table 3 Diet-induced Thermogenesis during 6 h after Ingestion of Meal with Margarine Containing 5g of Long-Chain Triglycerides or Medium-Chain Triglycerides.

	Long-chain triglycerides	Medium-chain triglycerides
Diet-induced thermogenesis (kcal)	22.97 $\pm$ 2.21 ¹	30.45 $\pm$ 3.04*
Rate of diet-induced thermogenesis (%) ²	4.60 $\pm$ 0.44	6.15 $\pm$ 0.61*

¹ Mean $\pm$ SE

² Rate of diet-induced thermogenesis was calculated as diet-induced thermogenesis / energy of food consumption

Significantly different from the meal containing 5g LCT, * $P < 0.01$.

コーン油 45g を含む飲料を与えたとき、コーン油では摂取後の酸素消費量が摂取前に比べ約 4% の増加に過ぎなかったが、MCT では約 12% 増加したことを報告している。同様に、Dulloo ら (5) は、メタボリックチャンパーを用いて 5 g の MCT を含む試験食を朝食、昼食、夕食にそれぞれ与え 24 時間安静時代謝を測定した。その結果から、MCT は LCT よりもエネルギー消費が亢進することを確認している。彼らの結果は本試験の結果と良く対応している。更に、Dulloo らは 24 時間の間に排泄した尿中のノルアドレナリン分泌量を測定し、MCT が LCT よりも有意に促進することを確認した。これは MCT が交感神経系を活性化させ、エネルギー消費を増大させることを示唆している。このことから本試験についても 5 g の MCT を摂取することにより交感神経系が活性化され、体熱産生に影響したことが考えられる。また、試験 1 の RQ は摂取後 30 分において

MCT 食群で LCT 食群よりも有意に低下している。このことは MCT が摂取後速やかに代謝され、脂肪の酸化が亢進していることを示唆する。Scalfi ら (6) は肥満者および肥満でない男性各 6 名に、30 g の MCT を含む 1300 kcal の食事を摂取させたところ、エネルギー消費量については両群とも MCT の摂取で増加したが、RQ の低下は、肥満でない健常群でのみ認められた。われわれの研究でも試験 1 の被験者 (BMI 21.8 $\pm$ 0.52 kg/m²) で RQ の低下が認められており、標準体重であるほど脂肪酸化が亢進しやすいのではないかと推察される。

本研究のもう一つの目的は MCT 含有ファットスプレッドに加熱や凍結などの調理操作を行なった場合、どのような影響があるかを検討することである。試験食に用いたパウンドケーキは 190℃ の高温下で焼成、アイスクリームは氷点下で凍結操作を行なった。2 つの試

Fig. 3 Change in Oxygen Consumption before and after the Ingestion of Meal with Pound Cake Containing 5g of Long-Chain Triglycerides or Medium-Chain Triglycerides^{1,2}.

¹Mean $\pm$ SE; $n = 7$. ○; medium-chain triglycerides, ■; long-chain triglycerides.

²**Significantly different from the meal containing 5g LCT, $P < 0.01$.

Fig. 4 Change in Oxygen Consumption before and after the Ingestion of Meal with Ice Cream Containing 5g of Long-Chain Triglycerides or Medium-Chain Triglycerides^{1,2}.

¹Mean $\pm$ SE; $n = 7$. ○; medium-chain triglycerides, ■; long-chain triglycerides.

²*Significantly different from the meal containing 5g LCT, $P < 0.05$.

Table 4 Diet-induced Thermogenesis during 4 h after Ingestion of Meal with Margarine Containing 5g of Long-chain Triglycerides or Medium-chain Triglycerides.

Test oil	Pound cake		Ice cream	
	LCT	MCT	LCT	MCT
Diet-induced thermogenesis (kcal)	5.43 $\pm$ 1.10	13.14 $\pm$ 1.48**	6.38 $\pm$ 1.61	11.78 $\pm$ 1.50*
Rate of diet-induced thermogenesis (%) ²	2.52 $\pm$ 0.50	6.26 $\pm$ 0.70**	3.49 $\pm$ 0.90	6.62 $\pm$ 0.80*

¹Mean $\pm$ SE

²Rate of diet-induced thermogenesis was calculated as diet-induced thermogenesis / energy of food consumption

Significantly different from the meal containing 5g LCT, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

験食の加熱温度には200℃以上の差があり、まったく異なった調理操作を行っているが、MCT食摂取後4時間での摂取エネルギーに対するエネルギー消費量はパウンドケーキ、アイスクリームとも有意差なく同程度の値を示した。このことから、MCFAは高温加熱や低温凍結で分解や変性をするのではなく調理操作前と同等のDIT亢進効果を維持していることが明らかになった。

ファットスプレッドはバターに比べ低温でも良展延性を有し、カロリーも低いことから広く家庭に受け入れられている。MCTは融点が-10℃と低く、風味も一般食用油と比較するとさっぱりしていることから、MCTを含有するファットスプレッドはLCTを含有するファットスプレッドよりも口溶けの良いあっさりとした風味となる。

これまで、MCTは経腸栄養剤やエネルギー補給を目的とした治療食など医療分野で利用されている。しかし、低温度発煙や揚げ調理時の起泡性など調理適性の

問題から調理用油としての利用は進んでいない(15)。したがって、MCTをファットスプレッドに加工することはクッキーやパン、クリームなどの材料としても利用できることから継続摂取が可能となる有効な手段と考えられる。

今回の研究において、MCT含有ファットスプレッドはエネルギー産生を亢進し、体脂肪の低蓄積性に寄与していることが示唆された。MCTが今後さらに多くの油脂加工食品に応用範囲が広がり、健康増進の視点から肥満予防食として利用されることを期待する。

謝 辞

本研究を行なうにあたり試験食の作成にご協力いただいた日清オイリオグループ(株)業務用技術部の皆さまに深く感謝申し上げます。

References

1. C.J.K. HENRY and B. EMERY, Effect of Spiced Food on Metabolic Rate, *Hum. Nutr. Clin. Nutr.*, Vol. **40**, 165-168 (1986).
2. P. KOOT and P. DEURENBERG, Comparison of Changes in Energy Expenditure and Body Temperatures After Caffeine Consumption, *Ann. Nutr. Metab.*, Vol. **39**, 135-142 (1995).
3. T.B. SEATON, S.L. WELLE, M.K. WARENKO and R.G. CAMPBELL, Thermic Effect of Medium-Chain and Long-Chain Triglycerides in Man, *Am. J. Clin. Nutr.*, Vol. **44**, 630-634 (1986).
4. H. OUDART, R. GROSCOLAS, C. CALGARI, M. NIBBELINK, C. LERAY, Y. LE. MAHO and A. MALAN, Brown Fat Thermogenesis in Rats Fed High-fat Diets Enriched with n-3 Polyunsaturated Fatty Acids, *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.*, Vol. **21**, 955-962 (1997).
5. A.G. DULLOO, M. FATHI, N. MENSI and L. GIRARDIER, Twenty-Four-Hour Energy Expenditure and Urinary Catecholamines of Humans Consuming Low-to-Moderate Amounts of Medium-Chain Triglycerides: A Dose-Response Study in a Human Respiratory Chamber, *Eur. J. Clin. Nutr.*, Vol. **50**, 152-158 (1996).
6. L. SCALFI, A. COLTORTI and F. CONTALDO, Postprandial Thermogenesis in Lean and Obese Subjects After Meals Supplemented with Medium-Chain and Long-Chain Triglycerides, *Am. J. Clin. Nutr.*, Vol. **53**, 1130-1133 (1991).
7. J.O. HILL, J.C. PETERS, D. YANG, T. SHARP, M. KALER, N.N. ABUMRAD and H.L. GREENE, Thermogenesis in Human During Overfeeding With Medium-Chain Triglycerides, *Metabolism*, Vol. **38**, 641-648 (1989).
8. *The National Nutrition Survey in Japan, 2001*, Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan, Daiichisyuppan, pp. 92-97 (2001).
9. H. TSUJI, M. KASAI, H. TAKEUCHI, M. NAKAMURA, M. OKAZAKI and K. KONDO, Dietary Medium-Chain Triacylglycerols Suppress Accumulation of Body Fat in a Double-Blind, Controlled Trial in Healthy Men and Women, *J. Nutr.*, Vol. **131**, 2853-2859 (2001).
10. N. NOSAKA, H. MAKI, Y. SUZUKI, H. HARUNA, A. OHARA, M. KASAI, H. TSUJI, T. AOYAMA, M. OKAZAKI, O. IGARASHI and K. KONDO, Effects of Margarine Containing Medium-chain Triacylglycerols on Body Fat Reduction in Humans, *J. Atheroscler. Thromb.*, Vol. **10**, 290-298 (2003).
11. J.B. WEIR, New Methods for Calculating Metabolic Rate with Special Reference to Protein Metabolism, *J. Physiol.*, Vol. **109**, 1-9 (1949).
12. J.N.S. MATTHEWS, D.G. ALTMAN, M.J. CAMPBELL and P. ROYSTON, Analysis of Serial Measurements in Medical Research, *Br. Med. J.*, Vol. **300**, 230-235 (1990).
13. R. FERRARO, S. LILLIOJA, A.M. FONTVIEILLE, R. RISING, C. BOGARDUS and E. RAVUSSIN, Lower Sedentary Metabolic Rate in Women Compared with Men, *J. Clin. Invest.*, Vol. **90**, 780-784 (1992).
14. M.M. TAI, T.P. CASTILLO and F.X. PI-SUNYER, Thermic Effect of Food During Each Phase of the Menstrual Cycle, *Am. J. Clin. Nutr.*, Vol. **66**, 1110-1115 (1997).
15. S. NEGISHI, M. ITAKURA, S. ARIMOTO, T. NAGASAWA and K. TSUCHIYA, Measurement of Foaming of Frying Oil and Effect of the Composition of TG on Foaming, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, Vol. **80**, 471-474 (2003).