

粉末油脂と液状油の摂取時のヒトにおける血中中性脂肪値の推移

真鍋 宜隆^{*1}, 高松 優¹, 北谷 友希¹, 依田 稔¹,
石黒 隆¹, 勝川 史憲²

(2018年7月27日受付; 2018年9月18日受理)

要旨: 粉末油脂とは、平均粒子径約1 μm の微細な油脂が糖質やタンパク質などでカプセル化された油脂製品であり、食品に使用することにより調理性や風味の付与、食感改良など様々な機能を発揮することが知られている。これまでに、脂質の消化・吸収について、粒子径の大きさが影響を与えることが示唆されているが、粉末油脂の消化・吸収についての検証は十分とは言えない。本研究では、健康若年成人男性を対象に、粉末油脂と液状油を摂取させ、血中中性脂肪 (TG) 値の推移を比較した。対象者24名でそれぞれ粉末油脂および液状油を摂取させ、0時間から6時間後まで1時間おきに計7回採血を行い、血中TGを測定した。その結果、粉末油脂と液状油ともに血中TG値は摂取後3時間でピークとなった。摂取後0時間から3時間において、血中TG値の推移は油脂の種類と時間で有意な交互作用が認められ、液状油摂取時に比べ粉末油脂摂取時で血中TG変化量の曲線下面積が有意に大きかった。以上より、液状油と比べ粉末油脂の一定時間における吸収量が多い可能性が示唆された。

キーワード: 粉末油脂, 血中中性脂肪, 粒子径

粉末油脂とは、糖質やタンパク質を溶解した水 (水相) に乳化剤等を溶解した食用油脂 (油相) を加え、均質化して平均約1 μm の非常に微細なO/Wエマルション (水相中に油相が粒子となって分散している乳化物) を作り、これをスプレードライヤーで乾燥させることにより製造される油脂製品である。安定なO/Wエマルションを保ったまま急速に噴霧乾燥させるため、内包される油脂は約1 μm の微細な粒子の状態の粉構造に残る¹⁾²⁾。

粉末油脂の機能として、水に素早く溶解・分散する、水に溶解しても油の分離がない、約1 μm の油滴が食品の食感を改良する、賞味期限が長い、良好な作業性・混合性を有するなどの特徴がある。粉末油脂は、O/Wエマルションの構造を持つこと、そして油滴サイズが非常に細かいことにより、食品へ添加した際に、調理性や風味の付与、食感改良など様々な機能を発揮することができる³⁾⁴⁾。

アスタキサンチンを油脂に溶解した粒子径の異なる2つの乳化物 (0.11 μm 対 0.25 μm) の血中濃度-時間曲線下面積 (AUC) を比較した検討では、粒子径が小さいほど効率的に体内吸収、血中移行される⁵⁾。食品における乳化サイズレベル (0.3~2 μm 程度) では油滴が小さいほど、胃リパーゼおよび膵リパーゼの脂肪分解活性が高く、脂肪酸の放出量が多いことが報告されている⁶⁾。

しかし、粉末油脂の消化・吸収への影響についてのデータは不足している。本研究では、健康若年成人男性を対象に、粉末油脂と液状油を摂取させ、血中中性脂肪 (TG) 値の推移を比較した。

実験方法

1. 被験者

被験者は健康男性24名で、年齢は25.7 $\pm$ 4.8 (平均 $\pm$ 標準偏差), BMIは22.0 $\pm$ 2.1 (平均 $\pm$ 標準偏差) である。

なお、サンプルサイズは6名でのパイロット試験の結果をもとに、危険水準 (α) 0.05, 検出力 ($1-\beta$) 0.80 とし、最小のサンプル数22名とした。

2. 油脂サンプルの調製

試験に使用した粉末油脂は次のように作製した。菜種油にトコフェロール (理研Eオイル600N, 理研ビタミン(株), 東京) を加え70 $^{\circ}\text{C}$ に調温し、油相を調製した。水50質量%を60 $^{\circ}\text{C}$ に調温し、加工デンプン (ピュリティガムBE・Nクリーマー46, 日本エヌエスシー(株), 東京), デキストリン (TK-16, 松谷化学工業(株), 兵庫) を添加し水相を調製した。ホモミキサーで攪拌しながら水相に油相の全量を添加し、O/W型に乳化させた後、高圧ホモジナイザーで均質化しO/W型乳化物を得た。得られたO/W型乳化物をスプレードライヤーで噴霧乾

* 連絡者・別刷請求先 (E-mail: manabey@so.miyoshi-yushi.co.jp)

¹ ミヨシ油脂株式会社食品本部技術部 (124-8510 東京都葛飾区堀切 4-66-1)

² 慶應義塾大学スポーツ医学研究センター (223-8521 横浜市港北区日吉 4-1-1)

燥し、粉末油脂を得た。再溶解時の粒子径は $1.454\ \mu\text{m}$ (中央値) だった。再溶解時の粒子径は、SALD-2100 湿式レーザー回折装置 ((株) 島津製作所, 京都) により測定した。

一方、液状油で使用する菜種油、トコフェロール、加工デンプン、デキストリンは粉末油脂の作製原料と同様のものとした。

菜種油は、日本において油脂類の中で最も多く消費されている⁷⁾ことから汎用性が高く、中鎖脂肪酸をほとんど含まない⁸⁾ため、試験に用いた。ガスクロマトグラフ法⁹⁾で測定した菜種油の脂肪酸組成を表1、液状油と粉末油脂の試験サンプル量を表2に示す。

3. プロトコール

被験者を無作為に12名ずつ2群に分け、それぞれで粉末油脂を摂取する日、液状油を摂取する日を前後入れ替えて経口脂質負荷試験を施行した。各試験日の間隔は平均11.3日(3-22日)であった。

試験前日はあらかじめ用意した指定のレトルト食品(総エネルギー2,207.5 kcal, たんぱく質56.2 g, 脂質65.1 g,

表1 菜種油の脂肪酸組成

脂肪酸種		%
16:0	パルミチン酸	4.4
16:1	n-7 パルミトレイン酸	0.2
18:0	ステアリン酸	1.9
18:1	n-9 オレイン酸	59.7
18:2	n-6 リノール酸	19.0
18:3	n-3 α -リノレン酸	8.0
20:0	アラキジン酸	0.6
20:1	n-9 イコセン酸	1.2
22:0	ベヘン酸	0.3
24:0	リグノセリン酸	0.2
24:1	n-9 テトラコセン酸	0.2
その他		4.4

表2 油脂サンプルの組成

	液状油	粉末油脂
菜種油 (g)	10.50	10.50
トコフェロール (g)	0.0014	0.0014
加工デンプン (g)	1.41	1.40
デキストリン (g)	1.90	1.90

炭水化物 347.3 g) を摂取するよう指示した。また、野菜、水・お茶等のエネルギーのない飲料は追加で摂っても構わないが、その際は2日間とも同様に摂取するよう指示した。前日の21時以降は水以外の飲食物は控えてもらい、経口脂質負荷試験を午前9時から開始した。

粉末油脂摂取時は、粉末油脂14 gを100 mLの水で溶いたものを経口摂取した。液状油摂取時も同様に、菜種油10.5 gを経口摂取、続いてデキストリン、加工デンプンを水100 mLで溶解した溶液を経口摂取した(表2)。油脂の量は、1日当たりの植物性油脂の摂取量¹⁰⁾を参考に、一般的な1回の調理に用いる量を規定した。両油脂摂取後は100 mLの水で紙コップ壁面の付着物を洗い流しながら経口摂取した。また、摂取後3-4時間、4-5時間、5-6時間で各50 mLの水を摂取した。

負荷試験中は安静座位で身体活動を最小限とし、脂質負荷の直前(0)、1、2、3、4、5、6時間後の計7回採血を行い、血中TG濃度および血中遊離脂肪酸(FFA)濃度を測定した(図1)。測定は(株)LSIメディエンスにて委託分析し、分析方法は血中TGは酵素法(遊離グリセロール消去法)、血中FFAは酵素-UV法によった。

4. 研究倫理

本研究は慶應義塾大学スポーツ医学研究センター研究倫理審査委員会において承認され(申請番号2013-05)、すべての対象者に書面でインフォームドコンセントを得た。

5. 統計

統計解析は、two-way repeated measures ANOVA および Wilcoxon signed-rank test にて行った。統計解析ソフト SPSS for mac (バージョン 25) を用い、有効水準を0.05とした。

実験結果

被験者のうち、1名は液状油摂取試験のみ実施し、粉末油脂摂取試験は未実施となったため、またもう1名は、油摂取試験の際の食前TG値は123 mL/dLだったが、粉末油脂摂取試験の際の食前TG値が332 mL/dLと高かったため、除外した。残りの計22名で解析を行った。

血中TG値の推移を図2に示す。その結果、液状油群と粉末油脂群ともに、脂質負荷3時間後で最大血中TG値となった。そこで摂取後0時間から3時間において二元配置反復測定分散分析を行った結果、油脂の種類と時

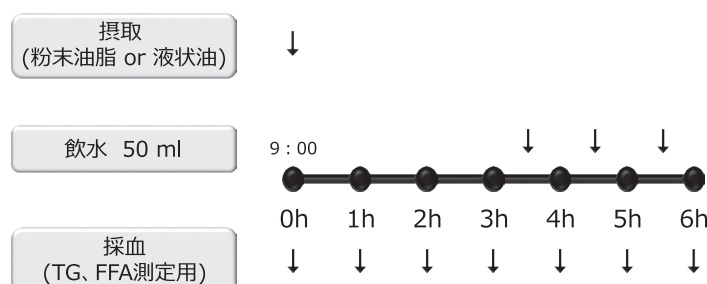


図1 実験プロトコール

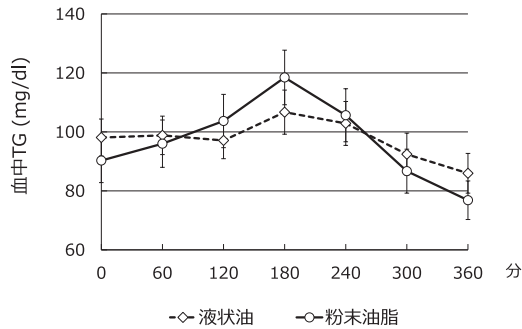


図2 血中TG値の推移

液状油および粉末油脂の摂取直前（0分）からの血中中性脂肪値（血中TG）の推移。 $n=22$ ，平均±標準誤差。摂取0-3時間目の $p=0.005$ 。

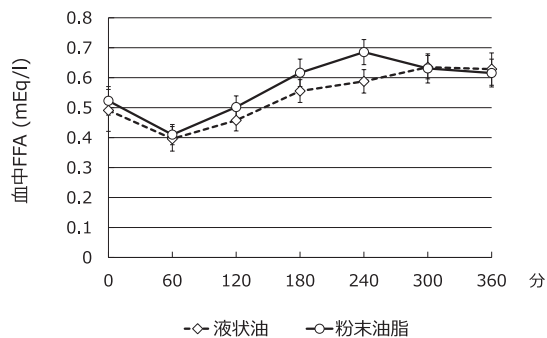


図3 血中FFA値の推移

液状油および粉末油脂の摂取直前（0分）からの血中遊離脂肪酸値（血中FFA）の推移。 $n=22$ ，平均±標準誤差。

間で有意な交互作用が認められた（ $p=0.005$ ）。また、摂取後0時間から3時間までの血中TG変化量（ ΔTG ）の曲線下面積（AUC）を比較すると、液状油脂群と比べ粉末油脂群で有意に大きかった（中央値として、液状油脂群：6.25 mg・h/dL，粉末油脂群：27.75 mg・h/dL， $p=0.000721$ ）。一方、血中FFA値の推移（図3）は摂取1時間以降、液状油脂群および粉末油脂群ともに上昇傾向であった。

考 察

通常、脂質は膵液によりモノグリセリドと脂肪酸に分解された後、胆汁酸によりミセルとなり腸管から吸収される¹¹⁾。胃や十二指腸、小腸での脂質消化は脂質の表面積に依存しており、脂質の粒子径が小さい程、消化酵素の結合する面積が増し、脂質加水分解の速度が増加する。つまり食品における初期の粒子径・乳化安定性を調整することによって、脂質の消化・吸収速度を制御できることが示唆されている¹²⁾¹³⁾。また、小腸条件下での *in vitro* 試験では、粒子径が小さい程（0.2 μm 対 15 μm ）、モデル小腸液中に放出される脂肪酸の割合が高いこと¹⁴⁾、膵リパーゼ活性化が高いこと（0.46 μm 対 3.18 μm ）が報告されている¹⁵⁾。したがって、粉末油脂は水に分散した時点で微小な油滴になるため、膵液による分解および胆汁酸によるミセル化がより効率的に起こるのではないかと推測できる。

と推測できる。

脂質摂取後の血中TGの変化は脂質の吸収だけでなく、リポプロテインリパーゼによるカイロミクロン中のTGの加水分解にも規定される。そのため、血中TGは脂質の吸収自身を表すものではないが、図2より液状油脂群および粉末油脂群ともに摂取3時間で最大血中TGとなることから、摂取後3時間までは脂質の吸収がリポプロテインリパーゼによる加水分解を上回っていると考えられる。摂取後0時間から3時間において、油脂の種類と時間で有意な交互作用が認められ、また ΔTG のAUCは液状油脂群と比べ粉末油脂群において有意に大きいことから、粉末油脂の摂取後0時間から3時間におけるTGの吸収が多い可能性が示唆される。

カイロミクロンからリポプロテインリパーゼの加水分解によって放出される脂肪酸はすべてが組織に取り込まれる訳ではなく¹⁶⁾、一部は血中に遊離脂肪酸として放出されることが報告されている¹⁷⁾。しかし血中に放出されるFFAの量を規定する因子については未だ不明である¹⁸⁾。本検討では、摂取1時間後では一旦FFA値が低下するが、その後は油脂摂取後のTG値上昇を受けてFFA値は緩やかに上昇する傾向を示した。

なお、粒子径の小さい油滴（0.26 μm ）の摂取により、食欲やエネルギー摂取を抑制するコレシストキニン（CCK）やペプチドYYの放出量が増加し、アンケート評価でも空腹感が抑えられる¹⁹⁾、さらに、酸に安定な乳化物は胃からの排出が遅延され、CCKの放出量および胆嚢収縮が増加し、空腹感、食欲が抑制される報告もある²⁰⁾²¹⁾。油脂の粒子径を小さくすることによる吸収速度の向上や食欲抑制効果は、運動時の迅速なエネルギーの補給や介護食、健康食品の分野など多様な用途で、今後応用が期待できる特性である。

粉末油脂は現状でも幅広い分野の食品に利用されているが、その効果を完全に把握して応用されているとは言い難い。今後粉末油脂摂取による各消化管ホルモンへの効果、油滴の安定性や食欲に及ぼす影響なども評価し、吸収性に関する検討を重ねる予定である。結論として、粉末油脂と液状油の摂取時の血中TGの推移の比較から、粉末油脂で一定時間の吸収が多い可能性が示唆された。

利 益 相 反

本論文発表内容に関連して申告すべきCOI状態はない。

文 献

- 1) Zuidam NJ, Shimon E (2010) Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them. In: Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing (Zuidam NJ, Nedovic V, eds), p 3-29. Springer Science Business Media, Berlin.
- 2) 服部利明, 小池寛之 (2003) 粉末油脂の製造方法と特徴: 食品の高機能粉末・カプセル化技術, 第1版

- (古田 武, 村勢則郎, 安達修二, 辻本 進, 中村 哲也編), p 269-74. サイエンスフォーラム, 東京.
- 3) 伊藤隆史 (2009) 粉末油脂の食品加工における役割と機能. 月刊フードケミカル **25**: 67-71.
 - 4) 伊藤隆史 (2009) 粉末油脂の食感改質効果. 月刊フードケミカル **25**: 47-51.
 - 5) 小川 学, 佐藤雅男, 鈴木啓一 (2007) アスタキサンチンナノ乳化物の開発—安定性向上と吸収効率向上. 富士フィルム研究報告 **52**: 26-9.
 - 6) Helbig A (2013) Digestion of dietary fat gastrointestinal behaviour of emulsions and human physiological responses. PhD thesis Wageningen University.
 - 7) 農林水産省. 平成 24 年度食糧需給表 (確定値). <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000028800991&fileKind=0> (2018 年 6 月 10 日閲覧).
 - 8) 文部科学省. 日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂) 脂肪酸成分表編 第 2 章 第 2 表 14 油脂類. http://www.mext.go.jp/component/a_menu/science/detail/_icsFiles/fieldfile/2015/12/24/1365494_3-0214-2.pdf (2018 年 6 月 10 日閲覧).
 - 9) 日本油化学会規格試験法委員会編 (2013) 2.4.2.2-2013 脂肪酸組成 (FID 昇温ガスクロマトグラフ法): 日本油化学会規定 基準油脂分析試験法 2013 年版, p 1-4. 日本油化学会, 東京.
 - 10) 厚生労働省. 平成 25 年国民健康・栄養調査報告書. <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyoudl/h25-houkoku.pdf> (2018 年 6 月 10 日閲覧).
 - 11) 今泉勝己, 窄野昌信 (1996) 脂肪の消化と吸収. 栄養学雑誌 **54**: 271-83.
 - 12) McClements DJ, Decker EA, Park Y (2009) Controlling lipid bioavailability through physicochemical and structural approaches. *Crit Rev Food Sci Nutr* **49**: 48-67.
 - 13) Armand M, Pasquier B, André M, Borel P, Senft M, Peyrot J, Salducci J, Portugal H, Jaussan V, Lairon D (1999) Digestion and absorption of 2 fat emulsions with different droplet sizes in the human digestive tract. *Am J Clin Nutr* **70**: 1096-106.
 - 14) Li Y, McClements DJ (2010) New mathematical model for interpreting pH-stat digestion profiles: Impact of lipid droplet characteristics on *in vitro* digestibility. *J Agric Food Chem* **58**: 8085-92.
 - 15) Armand M, Borel P, Ythier P, Dutot G, Melin C, Senft M, Lafont H, Lairon D (1992) Effects of droplet size, triacylglycerol composition, and calcium on the hydrolysis of complex emulsions by pancreatic lipase: an *in vitro* study. *J Nutr Biochem* **3**: 333-41.
 - 16) Peterson J, Bihain BE, Bengtsson-Olivecrona G, Deckelbaum RJ, Carpentier YA, Olivecrona T (1990) Fatty acid control of lipoprotein lipase: a link between energy metabolism and lipid transport. *Proc Natl Acad Sci USA* **87**: 909-13.
 - 17) Miles JM, Park YS, Walewicz D, Russell-Lopez C, Windsor S, Isley WL, Coppack SW, Harris WS (2004) Systemic and forearm triglyceride metabolism: fate of lipoprotein lipase-generated glycerol and free fatty acids. *Diabetes* **53**: 521-7.
 - 18) Lambert JE, Parks EJ (2012) Postprandial metabolism of meal triglyceride in humans. *Biochim Biophys Acta* **1821**: 721-6.
 - 19) Seimon RV, Wooster T, Otto B, Golding M, Day L, Little TJ, Horowitz M, Clifton PM, Feinle-Bisset C (2009) The droplet size of intraduodenal fat emulsions influences antropyloroduodenal motility, hormone release, and appetite in healthy males. *Am J Clin Nutr* **89**: 1729-36.
 - 20) Marciani L, Faulks R, Wickham MS, Bush D, Pick B, Wright J, Cox EF, Fillery-Travis A, Gowland PA, Spiller RC (2009) Effect of intragastric acid stability of fat emulsions on gastric emptying, plasma lipid profile and postprandial satiety. *Br J Nutr* **101**: 919-28.
 - 21) Marciani L, Wickham M, Singh G, Bush D, Pick B, Cox E, Fillery-Travis A, Faulks R, Marsden C, Gowland PA, Spiller RC (2007) Enhancement of intragastric acid stability of a fat emulsion meal delays gastric emptying and increases cholecystokinin release and gallbladder contraction. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* **292**: G1607-13.
-

J Jpn Soc Nutr Food Sci **72**: 13–17 (2019)

Research Note

Changes in Human Plasma Triglyceride Values after Ingestion of Powdered Oil and Liquid Oil

Yoshitaka Manabe,^{*,1} Yu Takamatsu,¹ Yuki Kitatani,¹ Minoru Yoda,¹ Takashi Ishiguro,¹
and Fuminori Katsukawa²

(Received July 27, 2018; Accepted September 18, 2018)

Summary: Powdered oils are oil products in which fine oil particles with an average diameter of 1 μm are encapsulated with carbohydrates, proteins, etc., and have been used in food products to fulfill a variety of functions, such as conferring cooking properties and flavors, and improving texture. It has been suggested that the particle size of fat globules affects their speed of digestion and absorption, but the digestion and absorption of powdered oils have not been investigated in any detail. In this study, we conducted a crossover trial involving 24 healthy young adult males to compare the postprandial plasma TG and FFA response to two types of fat load: powdered oil and liquid oil. A total of seven blood specimens were collected at one-hour intervals from 0 h to 6 h, and plasma TG and FFA values were measured. Plasma TG values peaked at three hours after consumption of both powdered oil and liquid oil. Between 0 h and 3 h, a significant interaction between time and the type of oil was found, and the area under the curve (delta AUC) of plasma TG after consumption of powdered oil was significantly larger than that after consumption of liquid oil. These findings suggest that powdered oil may be absorbed to a greater degree than liquid oil during the early postprandial phase.

Key words: powdered oil, plasma triglycerides, particle size

* Corresponding author (manabey@so.miyoshi-yushi.co.jp)

¹ Technical Department, Foods Division, Miyoshi Oil & Fat Co., Ltd., Horikiri 4-66-1, Katsushika-ku, Tokyo 124-8510, Japan

² Sports Medicine Research Center, Keio University, Hiyoshi 4-1-1, Kohoku-ku, Yokohama 223-8521, Japan