

原著

健常成人における低糖質おはぎの血糖上昇抑制効果

Inhibition of Blood Glucose Level Elevation by
Low-Carbohydrate Ohagi in Healthy Adults

小島 史子^{1), 2)}, 山本 周美^{1), 2)}, 北村 真理¹⁾, 辻 久美子¹⁾

戸島 大作³⁾, 倭 英司¹⁾

Fumiko Kojima^{1), 2)}, Shumi Yamamoto^{1), 2)}, Mari Kitamura¹⁾, Kumiko Tsuji¹⁾

Daisaku Toshima³⁾, Eiji Yamato¹⁾

要 旨

糖質は血糖値をもっとも上昇させるため、糖質を多く含む菓子類は糖尿病患者において制限されることが多い。和菓子は小豆に砂糖を加えた餡ともち米から成り、菓子類の中でも高糖質食品である。そこで餡ともち米からなるおはぎで糖質の低減が実現できれば他の和菓子への汎用性が高いと考え、エリスリトールを主とした甘味料と大麦を配合した低糖質おはぎを作成し、食後の血糖上昇とセカンドミール効果について検討した。対象は健常成人12名とし、方法は低糖質おはぎ、通常おはぎのいずれかの試験食を単盲検、クロスオーバーにより摂取し、試験食の摂取開始150分後に食事を摂取し、血糖値を測定した。その結果、低糖質おはぎは通常おはぎの摂取と比較し、食後15~30分の急峻な血糖上昇を有意に抑制し、セカンドミール後の血糖上昇曲線下面積 (IAUC) では有意に低値を示した。健常成人における低糖質おはぎの摂取は、食後の血糖上昇を抑制する可能性が示唆された。

【key word】和菓子, 血糖値, 大麦, エリスリトール, セカンドミール

英語要旨

[Aim] The aim of this study was to investigate the postprandial blood glucose response and second meal effect of low carbohydrate Ohagi prepared with barley and erythritol.

[Method] The subjects were 12 healthy adults. The method was a single-blind, crossover design in which subjects consumed either low carbohydrate or regular Ohagi as the test meal. After 150 minutes, subjects consumed the meal and their blood glucose levels were measured.

[Results] Low carbohydrate Ohagi showed a significantly lower rise in blood glucose levels 15 to 30 minutes after ingestion and a significantly lower glucose incremental areas under the curve (IAUC) after the second meal.

[Conclusion] Consumption of low-carbohydrate Ohagi in healthy adults was suggested to improve postprandial glycemic response.

Key words: Japanese sweets, blood glucose, barley, erythritol, second meal effect

1) 武庫川女子大学 生活環境学部 食物栄養学科

2) 共同第一筆者

3) 株式会社サザエ食品

連絡責任著者: 倭英司

住所: 〒663-8558 兵庫県西宮市池開町6-46

E-mail: yamato@mukogawa-u.ac.jp

電話&FAX: 0798-45-9926

緒言

平成28年国民健康・栄養調査の結果では、「糖尿病が強く疑われる者」が1,000万人と過去最多となり、男性の16.3%、女性の9.3%が糖尿病予備軍であることが報告された¹⁾。直近の令和元年の同調査では男性の19.7%、女性の10.8%に糖尿病が強く疑われるとされ、高年齢層において高い割合で報告されている²⁾。

血糖値をもっとも上昇させる栄養素は糖質であり、特に単糖類やショ糖に代表される二糖類は消化吸収が早く、高血糖をきたしやすい³⁾。食後の急峻な血糖上昇、すなわちグルコーススパイクは動脈硬化を惹起する可能性が指摘されており⁴⁾、糖尿病患者は単糖類・二糖類を多く含む菓子類の摂取を制限されることが多い。実際に、「糖尿病食事療法のための交換表 第7版」⁵⁾では、嗜好飲料、アイスクリーム、煮豆、菓子パン、菓子類について、「砂糖を多く含むため血糖値や血液中の中性脂肪が高くなるなど、糖尿病の治療上好ましくなく、できるだけ飲食しないように」とされている。

近年、糖質量を抑えた低糖質食品が注目されている。砂糖の代わりに人工甘味料を使用した菓子類や清涼飲料水が開発されており、人工甘味料の中でもエリスリトールは、血糖やインスリンの分泌を増加させないことが報告されている⁶⁾⁷⁾。

また、血糖値上昇の抑制には、食物繊維の摂取も重要である。大麦は、食物繊維の含有量が多く食後血糖値の上昇を抑制する効果が確認されていることから⁸⁾、大麦の食品への利用について検討されている。これまで食後の血糖応答に対する研究で使用されている大麦入り食品は、米飯やホットケーキ等が報告されているが⁹⁾⁻¹³⁾、我々の知る限り大麦含有の和菓子の摂取による血糖応答は検討されていない。

今回、株式会社サザエ食品と共同で砂糖不使用の餡を開発し、ごはん部分に一部大麦を使用した「低糖質おはぎ」を作成した。元来、おはぎは小豆に砂糖を加えた餡でもち米を包んだ高GI (Glycemic index) 食品である。餡ともち米は大福や饅頭など和菓子で広く用いられる材料であることから、これらを組み合わせたおはぎで低糖質が実現できれば、他の和菓子への汎用性が高いと考えた。低糖質おはぎを摂取した時と通常のおはぎを摂取した時とで食後の血糖上昇が異なるのか検証した。さらに、両おは

ぎを摂取した後の次の食事の血糖上昇への影響、すなわちセカンドミール効果¹⁴⁾¹⁵⁾も検討した。

方法

対象

本研究の実施にあたり、武庫川女子大学倫理審査委員会の承認を受けた (No. 17-58)。協力会社である株式会社サザエ食品に勤務する20歳以上50歳以下、BMI 30 kg/m²以下の男女から被験者を募集した。被験者に対しては「ヘルシンキ宣言」および「臨床研究に関する倫理指針」に従って、研究内容、方法等について文書および口頭で説明を行い、同意を得て実施した。

本研究への参加を希望した18名のうち、糖尿病の治療中である者、血糖上昇作用をもつ薬を服用している者、過去1年間の検査で耐糖能異常があることを指摘された者、空腹時血糖が70~100mg/dlの範囲外である者、妊娠中または授乳中である者は除外した。

前述の基準を満たした被験者16名を対象とし、日本Glycemic Index研究会のプロトコール¹⁶⁾に従って事前に包装米飯 (サトウのごはん小盛150g, サトウ食品工業) を用いた試験を2回実施した。その結果、空腹時を基準とした血糖値上昇曲線化面積 (IAUC) の差が25%以下であることが確認できた13名を本試験の被験者とした。

対照食と試験食

対照食は協力会社が市販しているおはぎ1個とした。試験食の餡の部分に砂糖の代用としてエリスリトール、スクラロース、還元水飴とトレハロースを使用した。エリスリトール⁶⁾⁷⁾とスクラロース¹⁷⁾は血糖を上昇させない甘味料である。還元水飴は糖アルコールであるため血糖上昇作用が緩徐であることが報告されている¹⁸⁾。トレハロースは二糖類であるものの血糖上昇が緩やかでインスリン分泌量も低いことが報告されている¹⁹⁾。生地部分にはもち米に対し30%の比率で大麦を配合した。大麦は食後血糖値の上昇抑制効果が複数報告されている⁹⁾⁻¹³⁾。今回は食感を維持するためモチ種の大麦を採用した。

対照食および試験食の1個あたりの栄養成分量を表1に示す。栄養成分は株式会社日本食品エコロ

表1 試験食、対照食の栄養成分

| | 試験食 (低糖質おはぎ) | 対照食 (おはぎ) |
|--------------|-----------------|--------------|
| 生地量 (g) | 36 | 24 |
| 餡量 (g) | 54 | 36 |
| エネルギー (kcal) | 127 | 125 |
| たんぱく質 (g) | 4.1 | 2.4 |
| 脂質 (g) | 0.2 | 0.3 |
| 炭水化物 (g) | 42.1 | 28.7 |
| 糖質 (g) | 24.8 | 26.2 |
| エリスリトール (g) | 6.3 | 0 |
| 食物繊維 (g) | 17.3 | 2.5 |
| 食塩相当量 (g) | 0.2 | 0.2 |

ジー研究所に依頼した。1個当たりのエネルギー量は同程度とした。また、低糖質おはぎにおいて、糖類（ブドウ糖、果糖、ガラクトース、ショ糖、乳糖、麦芽糖）は検出されなかった。

プロトコール (図1)

被験者を無作為にA・B群に割り付け、低糖質おはぎ、通常のおはぎのいずれかを単盲検、クロスオーバーにより摂取させた。第1試験日から3日以上の間隔をあけて第2試験日を設定した。被験者には測定前日および当日は禁煙、座位程度の仕事とし、激しい運動は禁止、測定前日20時から当日の試験食摂取開始まで12時間以上の絶食とした。

被験者には10時に対照食または試験食を水15ccとともに、5～10分かけて摂取させた。摂取後は後述する血糖測定が終了するまで絶食、禁煙とし、座位程度の仕事にとどめるよう指示した。

血糖測定は、試験食の摂取前(0分)、摂取開始後15分、30分、45分、60分、90分、120分後に指先穿刺により血液を血糖自己測定器(フリースタイルフリーダムライト、ニプロ社)のセンサーに吸入させることにより実施した。

セカンドミール効果を検証するため、試験食の摂取開始150分後(120分値の測定を終えた30分後)に糖質量50gの包装米飯(サトウのごはん小盛150g, サトウ食品工業)と、糖質量20gのおかず(気くばり御膳・鶏と野菜の豆腐ハンバーグ, ニチレイフーズダイレクト), 計70gの糖質を含む食事を水150ccと共に摂取させた。30分以内に食べ終わるよう指示した。摂取開始から180分後までの血糖値は

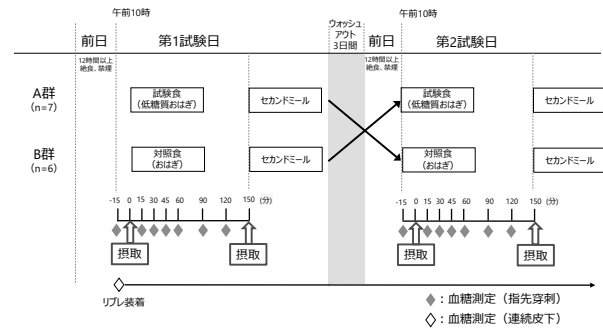


図1 プロトコール

グルコースモニター(リブレpro, アボットジャパン)により、皮下の間質液中のグルコース濃度を測定することにより予測し、15分ごとに記録した。

統計解析

Δ血糖値の経時変化の解析は被験者をブロック因子とし、試験食群と時間を因子としたフリードマン検定を行った。15～90分後のΔ血糖値の群間比較は、Bonferroniの補正を行い、0.05/5≒0.01を有意水準とした。15～180分後のΔ血糖予測値の群間比較についても、Bonferroniの補正を行い、0.05/8≒0.01を有意水準とした。IAUCを試験食群と対照食群で比較する際はウィルコクスン符号付順位和検定を適用した。統計解析にはIBM SPSS Statistics Ver.24(日本アイ・ビー・エム株式会社)を用いた。

結果

被験者13名のうち研究実施中に参加不能となった1名を除き、12名を解析の対象とした(表2)。肥満者が1名含まれていたが、BMI値は25.1kg/m²と極端な肥満ではなかった。

表2 対象者の特性

| n | (人) | 12 |
|--------|----------------------|--------------|
| 性別 | (男性/女性) | 6 / 6 |
| 年齢 | (歳) | 38.7 ± 6.6 |
| 身長 | (cm) | 164.0 ± 10.6 |
| 体重 | (kg) | 59.4 ± 13.2 |
| 体脂肪率 | (%) | 26.9 ± 5.1 |
| 除脂肪量 | (kg) | 43.5 ± 10.3 |
| BMI | (kg/m ²) | 21.7 ± 2.3 |
| | (やせ/標準/肥満) | 2/ 9 /1 |
| 空腹時血糖値 | (mg/dl) | 87.2 ± 8.8 |

データはnまたは平均±標準偏差で示す。

やせ: BMI 18.5 kg/m² 未満

標準: BMI 18.5 kg/m² 以上 25.0 kg/m² 未満

肥満: BMI 25.0 kg/m² 以上

低糖質おはぎ摂食後の Δ 血糖値は、摂取開始15分後および30分後の血糖上昇が通常のおはぎよりも有意に低かった (図2 a)。すなわち、低糖質おはぎは食後早期の血糖上昇を有意に抑制することが示された。IAUCを比較した結果においても、低糖質おはぎの方が有意に低かった (図2 b)。

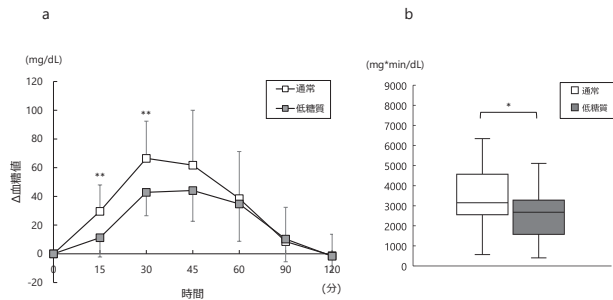


図2 試験食摂取による血糖反応
a: 通常おはぎと低糖質おはぎ摂取後の Δ 血糖値
b: 通常おはぎと低糖質おはぎ摂取後の血糖上昇曲線下面積 (IAUC)
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, 通常 vs 低糖質

次に、セカンドミール効果については、通常おはぎと低糖質おはぎの摂取で、後の血糖変動の予測値に有意差は認められなかったが (図3 a)、血糖予測値によるIAUCを比較した結果では、低糖質おはぎの摂取は通常おはぎ摂取後に比べて有意に低値を示した (図3 b)。

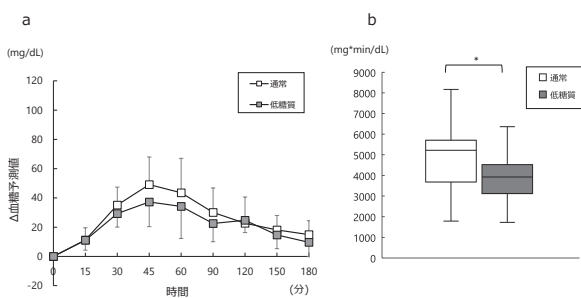


図3 試験食摂取後のセカンドミール効果の比較
a: セカンドミール摂取後の Δ 血糖値
b: セカンドミール摂取後の血糖予測上昇曲線下面積 (IAUC)
* $p < 0.05$, 通常 vs 低糖質

考察

今回開発した低糖質おはぎは食後早期の急峻な血糖上昇を抑制し、次の食事 (セカンドミール) の血糖上昇をも抑制する傾向が認められ、セカンドミール効果が得られたと考えられる。セカンドミール効果とは、初めの食事 (ファーストミール) で血糖値が低く推移することで、セカンドミール時の血糖上昇を抑制することである¹⁴⁾¹⁵⁾。本研究では、ファースト

ストミールである低糖質おはぎの摂取が通常のおはぎよりも、血糖値の推移が低かったことが認められ、これらの結果をもたらした要因として2つのことが考えられる。第一の要因は、消化吸収が早く急峻な血糖上昇をもたらす単糖や二糖類 (砂糖) を使用しなかったことである。砂糖不使用にすることで不足する甘味はエリスリトール、スクラロースと還元水飴で補った。エリスリトールと還元水飴は糖アルコールであるため、吸収や代謝が緩慢であるため血糖値上昇を抑制する効果がある²⁰⁾。また、人工甘味料であるスクラロースは、低エネルギーであり体内で代謝されず、血糖値に影響を与えないことが報告されている²¹⁾。砂糖のもつ保水性はこれらの甘味料では不足するため、トレハロースを添加することで補った。これにより食味を損なわず、かつ糖質量を抑えるよう配合した。第二の要因は、低糖質おはぎのごはん部分に大麦を一部使用したことである。大麦は β -グルカンを豊富に含むのが特徴である。 β -グルカンは食物繊維の一種であり、消化管内で強い粘性をもつ物質に変性するが、この粘性物質が糖の吸収を物理的に阻害するとされている²²⁾。低糖質おはぎにおいても大麦を取り入れることで、糖の吸収が遅延し、それにより血糖の上昇が抑制されたものとする。また、 β -グルカンの摂取は食後の血糖上昇を抑制すると同時にインスリンの過剰分泌を抑える効果も報告されている⁸⁾。本研究では血中インスリン値の測定は行わなかったが、過剰なインスリン追加分泌が抑制されている可能性が考えられる。以上より、低糖質おはぎの糖質量の低減および食物繊維量の増加が、血糖上昇抑制に貢献することが示唆された。

糖尿病患者の3人に2人がおやつを摂取する習慣があり、その約50%が「毎日食べる」と報告されており²³⁾、現実的には菓子類の摂取の制限は難しいといえる。従って、菓子類の摂取を制限するのではなく低エネルギー甘味料を代替的に利用して一定量の範囲内で菓子類の摂取を認めた方が患者のストレスを軽減できる可能性がある。特に食事療法導入の初期段階においては菓子類の禁止ではなく、従来の菓子類からの置き換えが食事療法導入のハードルを下げるのではと推察される。

今後、このような低糖質おはぎと菓子類が一般に普及することにより、食事療法を実施する糖尿病患者や肥満

者の菓子類の選択肢が増え、菓子類の摂取を制限されている方のストレス軽減、安心して食べられることによるQOLの向上に寄与できると考える。

本研究の限界として、健常成人12名という限られた人数を対象にした単回摂取の結果であったことが挙げられる。糖尿病患者を対象にした場合や継続的に摂取した時の影響について今後慎重に検討していく必要がある。また、低糖質おはぎの食味については、被験者が協力会社に所属しておりバイアスがかかる可能性から調査することができなかった。今後、一般成人あるいは糖尿病患者、和菓子を好む高齢者を対象とした検証が必要である。本研究の結果が、低糖質和菓子の開発、検証を開始する良い機会を提供する価値があると考えている。

利益相反

低糖質おはぎの作成および提供、被験者の参加は、株式会社サザエ食品に依頼した。

謝辞

本研究にご協力いただきました被験者の皆様と、低糖質おはぎの作成にご尽力いただきました株式会社サザエ食品に感謝申し上げます。

本研究は「産学官連携による西宮ブランド産品創出事業補助金」の助成を受けたものである。

文献

- 1) 厚生労働省：平成28年度国民健康・栄養調査報告，<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyuu/h28-houkoku.html> (2017年12月)
- 2) 厚生労働省：令和元年度国民健康・栄養調査報告，https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/eiyuu/r1-houkoku_00002.html (2023年2月20日)
- 3) Wheeler ML and Pi-Sunyer FX.: Carbohydrate issues: type and amount. *J Am Diet Assoc*, 108: S34-39, 2008.
- 4) Bornfeldt KE and Tabas I: Insulin resistance, hyperglycemia, and atherosclerosis. *Cell Metab*, 14: 575-585, 2011.
- 5) 日本糖尿病学会編・著：糖尿病食事療法のための食品交換表 第7版，文光堂，2013，pp. 91.
- 6) Ishikawa M, Miyashita M, Kawashima Y, et al.: Effects of oral administration of erythritol on patients with diabetes. *Regul Toxicol Pharmacol*. 24: 303-308, 1996.
- 7) 奥恒行: 低エネルギー糖質甘味料・エリスリトールの体内代謝と食品への応用. *栄養学雑誌* 56: 189-198, 1998
- 8) 青江誠一郎: 大麦β-グルカンの機能性について. *日本食生活学会誌*26: 3-6, 2015
- 9) 笹岡歩, 河本高伸, 青江誠一郎: 大麦粉含有ホットケーキの摂取による食後の血糖応答に及ぼす影響. *栄養学雑誌*73 (6): 253-258, 2015
- 10) 福原育夫, 池永武, 野口洋樹ほか: β-グルカン高含有大麦混合米飯の食後血糖応答とそのセカンドミール効果に及ぼす影響. *薬理と治療*41: 789-795, 2013
- 11) 青江誠一郎, 小前幸三, 井上裕ほか: 配合比率の異なるモチ性大麦混合米飯の摂取が食後血糖値に及ぼす影響. *日本栄養・食糧学会誌*71: 283-288, 2018
- 12) 青江誠一郎, 野口洋樹, 池永武ほか: 健常成人における大麦β-グルカン1g含有クラッカーの食後血糖応答に及ぼす影響—無作為化二重盲検プラセボ対照クロスオーバー比較試験—. *薬理と治療*42: 687-693, 2014
- 13) Ames N, Blewett H, Storsley J, et al.: A double-blind randomized controlled trial testing the effect of a barley product containing varying amounts and types of fiber on the postprandial glucose response of healthy volunteers. *Br J Nutr*. 113: 1373-1383, 2015.
- 14) Jenkins DJ, Wolever TM, Taylor RH, et al.: Slow release dietary carbohydrate improves second meal tolerance. *Am J Clin Nutr*. 35: 1339-1346, 1982.
- 15) Wolever TM, Jenkins DJ, Ocana AM, et al.: Second-meal effect: low-glycemic-index foods eaten at dinner improve subsequent breakfast glycemic response. *Am J Clin Nutr*. 48: 1041-1047, 1988.
- 16) 日本Glycemic Index研究会：プロトコール（統一手法），<http://www.gikenkyukai.com/protocol.html> (2019年11月5日)
- 17) Steinert RE, Frey F, Töpfer A, et al.: Effects of carbohydrate sugars and artificial sweeteners on appetite and the secretion of gastrointestinal satiety peptides. *Br J Nutr*. 105: 1320-1328, 2011.
- 18) Secchi A, Pontiroli AE, Cammelli L, et al.: Effects of oral administration of maltitol on plasma glucose, plasma sorbitol, and serum insulin levels in man. *Klin Wochenschr*. 64: 265-269, 1986.
- 19) Yoshizane C, Mizote A, Yamada M, et al.: Glycemic and incretin responses after oral trehalose ingestion in healthy subjects. *Nutr J*. 16: 1-6, 2017.
- 20) 布施雅昭: 糖アルコールの特性と利用. *日本食生活学*

会誌 10: 2-6, 1999.

- 21) 斎藤雅文, 堀由美子, 中島啓: 人工甘味料と糖代謝—2000 年以降の臨床研究から—. 日本栄養・食糧学会誌 66: 69-75, 2013.
- 22) Thondre PS, Shafat A, Clegg ME.: Molecular weight of barley β -glucan influences energy expenditure, gastric emptying and glycaemic response in human subjects. *Br J Nutr.* 110: 2173–2179, 2013.
- 23) 糖尿病ネットワーク：糖尿病ネットワークアンケート「糖尿病患者さんの間食に関するアンケート調査結果」, <https://dm-net.co.jp/enquete/200902/03/> (2019年11月5日)