

健常大学生における豆腐、豆乳の血糖上昇抑制効果

—摂取タイミングの検討—

末田 香里*¹⁾ 宇野 智子*¹⁾ 酒井 映子*¹⁾ 佐藤 祐造*²⁾

【目的】

大豆製品の豆乳・豆腐について、米飯と同時に、米飯摂取15分前および15分後に摂取した際の血糖上昇抑制効果に差異があるか、検討した。

【方法】

被験者：健常な21～22歳の本学学生9名（男子学生4名，女子学生5名）とした。体格指数は、 21.9 ± 3.4 (Mean \pm SD) であった。基準食・検査食：基準食は米飯150g + お茶200ml，検査食1) 豆乳食は豆乳400ml + 米飯115g + 茶200ml，検査食2) 豆腐食は豆腐400g + 米飯101g + お茶200mlを摂取した。炭水化物の量が50gとなるように米飯の量を調節した。

プロトコル：豆乳は米飯摂取の15分前・後に摂取し，豆腐は，米飯摂取の15分前・後，米飯と同時に摂取を検討した。実験は crossover で，8:45～11:00の間で行った。

血糖値測定は，米飯摂取15分前，0（米飯摂取時），15，30，45，60，90，120分の計8回測定した。

【結果および考察】

豆乳：米飯摂取15分前および15分後に豆乳を摂取した時は，基準食と比較して，米飯摂取後の血糖上昇は抑制された。豆乳15分前食・豆乳15分後食の血糖上昇曲線下面積（AUC）に差はなかった。豆乳を米飯摂取前・後に摂取しても，米飯摂取後の血糖上昇抑制効果に差はなかった。豆腐：基準食と比較して，豆腐15分前食，豆腐同時食および豆腐15分後の食後血糖上昇は抑制された。豆腐摂取時刻の異なる3群を比較すると，豆腐15分前食血糖 AUC は，豆腐同時食血糖 AUC よりも小さかった。豆腐を先に食べ，その後に米飯を食べると，米飯による食後血糖上昇抑制効果が顕著であった。

豆乳食よりも豆腐食のほうが，食後血糖上昇抑制効果が大きかった。機序としては，豆腐に含まれる食物繊維，特に不溶性食物繊維が炭水化物の吸収を緩やかにしたと示唆された。

キーワード：食後血糖，インスリン，米飯，豆腐，豆乳，グリセミックインデックス（GI）

I. はじめに

わが国の糖尿病の患者数は増加傾向にあり，2000年以來，糖尿病性腎症は透析の新規導入患者の第一位になった。食後高血糖は2型糖尿病に先んじて生じ，また空腹時血糖よりも，食後高血糖は心臓血管病と高い相関があると報告されている。食後高血糖を抑制することが糖尿病，心臓血管病の予防に重要である。

食品の糖質の質による血糖上昇曲線の違いを数値で

示したものがグリセミックインデックス（GI）¹⁾ である。Sugiyama ら²⁾ は米飯と日常の食自で組み合わせて摂取でき食品においてGIを算出した。食物繊維を多く含むもの，消化吸收を遅延させる食品がGIを低下させる。

糖尿病患者に対して，まずサラダを食べ，次におかず（主菜）そして最後に米飯（主食）を食べるよう栄養指導され，1年後2年後の血糖値・体重に効果を上げている³⁾。今回は牛乳・納豆について食べ方を検討した，大豆発酵食品である納豆（90g）を，米飯摂取

* 1) 愛知学院大学心身科学部健康栄養学科

* 2) 愛知学院大学心身科学部健康科学科

(連絡先) 〒470-0195 愛知県日進市岩崎町阿良池12 E-mail: sueda@dpc.agu.ac.jp

の15分前と15分後に摂取した時の血糖上昇抑制効果を比較した⁴⁾。その結果、米飯摂取の15分前と15分後にいずれに摂取しても、米飯摂取後の血糖上昇を抑制したが、一方納豆摂取によりインスリン分泌は亢進しなかった。

食物繊維、特に水溶性食物繊維の粘性による胃内容物の排出を遅延させる効果や拡散の障害による腸管からの吸収遅延などが考えられている^{5,6)}。また発酵食品、粘性が食後血糖抑制効果がある可能性が示唆されている⁷⁾。今回同じ大豆製品で日常の食卓によくのぼる豆腐と豆乳について食べ方（食べるタイミング）を検討した。米飯を食べる15分前、15分後に摂取した時に、食後血糖上昇が抑制されるか否かを検討した。

II. 方法

1. 被験者

被験者は健常な本学学生9名（女子学生5名、男子学生4名）、年齢は21～22歳、体格指数は 21.9 ± 3.4 (Mean \pm SD)であった。被験者は検査前10時間以上の絶食を保持し、検査前日に過度な運動・夜更かし・暴飲暴食・飲酒を避けることを条件とした。

2. 実験実施日程

平成23年秋～平成24年、週に1回行い、実施時間は8:45～11:00であった。

3. 基準食・検査食

表1に今回用いた基準食、検査食の栄養成分を示す。基準食は米飯（包装米飯サトウのご飯：サトウ食品、150g、糖質50g）、栄養成分表示のある同一ロットを用い、検査食は豆乳400ml＋米飯、豆腐400ml＋米飯を用い、米飯量で炭水化物50gに統一した。本研究は基準食と豆乳食・豆腐食をクロスオーバーで行った。使用した大豆食品豆乳は無調整豆乳（スジャータ）、木綿豆腐（昭和食品工業）を用いた。

4. 血糖値の測定

血糖値は、米飯摂食15分前（-15:15分前摂取のみ測定）、米飯摂食直前0、摂食後15、30、45、60、90、120分後の計7（8）回測定した。血糖値の測定は自己血糖測定器グルテストNeoエース（三和化学研究所）を用いて、被検者各自が測定した。

5. 血糖の上昇曲線下面積（AUC）の算出

血糖の上昇曲線下面積（AUC；Area Under the Curve）は、不等辺四角形の原理で算出した。血糖上昇曲線下面積（血糖AUC；Glucose Area Under the Curve）は米飯摂食前15分～米飯摂食後120分までの135分間の血糖AUCを算出した。米飯摂食前15分（-15）は、基準食、米飯摂食同時および米飯摂取15分後の検査食に際しては測定しなかったため、米飯摂食時（0）分の値を挿入して計算した。

6. 統計処理

摂食後各時点での基準食と検査食の血糖濃度の比較はpaired t-testを行なった。P<0.05を有意差ありとした。図には平均 \pm SDで示した。

今回の実験は愛知学院大学心身科学部「ヒトを対象とする研究に関する委員会」の承諾を得て行なった（受付番号1205）。両実験の参加者は口頭ならびに文書で実験計画についての説明を受け、被験者になることに同意しかつ同意書を提出した。

III. 結果

1. 豆乳：米飯摂取15分前・15分後に豆乳を飲んだ時の血糖値

基準食と豆乳食の血糖反応を図1に示す。米飯摂取15分前に豆乳を摂取した時（豆乳15分前）、基準食と比較して、血糖値は米飯摂取60分で低かった（p<0.05）（図1）。米飯摂取15分後に豆乳を摂取した時（豆

表1. 基準食、検査食の栄養成分

		エネルギー	炭水化物	タンパク質	脂質	繊維	
		kcal	g	g	g	水溶性 g	不溶性 g
基準食	米飯150g	220	50	3.1	0	0	0
豆乳食	豆乳400ml＋米飯115g	403	50	22.6	12.5	0.8	0
豆腐食	豆腐400g＋米飯101g	471	50	33.0	15.6	0.4	1.2

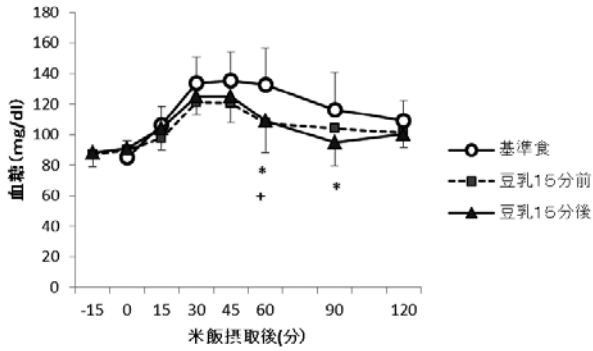


図1. 基準食と豆乳食の血糖反応

Mean±SD (n=9) を示す。豆乳15分前 (vs. 基準食) + : $p < 0.05$, 豆乳15分後 (vs. 基準食) * $p < 0.05$.

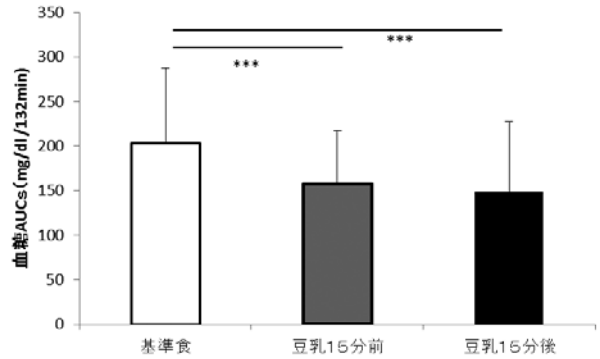


図2. 基準食と豆乳食の AUC の比較

Mean±SD (n=9) を示す, paired t-test; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

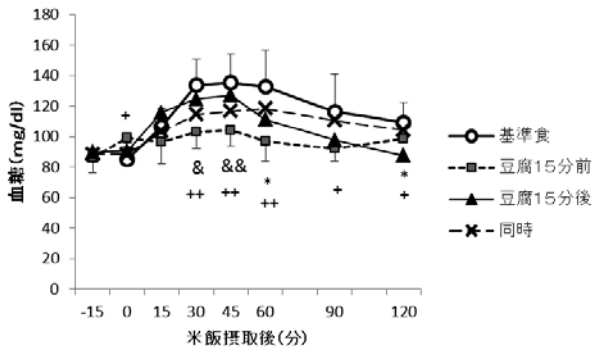


図3. 基準食と豆腐食の血糖反応

Mean±SD (n=9) で示す。豆乳15分前 (vs. 基準食) + : $p < 0.05$, ++ : $p < 0.01$, 豆乳15分後 (vs. 基準食) * : $p < 0.05$, 同時 (vs. 基準食) & : $p < 0.05$, && : $p < 0.01$.

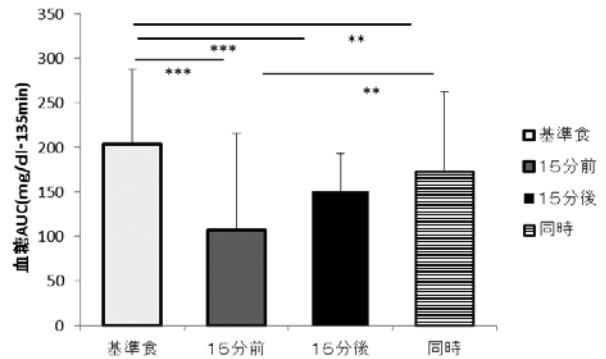


図4. 基準食と豆腐食の AUC の比較

Mean±SD (n=9) で示す, paired t-test; ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

乳15分後)は、基準食と比較して血糖値は、米飯摂取60分、90分で低かった ($p < 0.05$)。豆乳15分前と豆乳15分後を比較すると、血糖値の変動のパターンに差はなかった。

基準食の血糖上昇曲線下面積 (AUC) と比較して、15分前豆乳摂取時血糖 AUC, 15分後豆乳摂取時血糖 AUC は、ともに小さかった ($p < 0.01$) (図2)。米飯摂取15分前・後に豆乳を摂取した2群の血糖 AUC に差はなかった。

2. 豆腐：米飯摂取15分前、同時及び15分後の豆腐を食べた時の血糖値の検討

基準食と豆乳食の血糖反応を図3に示す。米飯摂取15分前に豆腐を摂取した時 (豆腐15分前) は、基準食時と比較して、血糖値は米飯摂取前 (0) で高く ($p < 0.05$)、30・45・60分 ($p < 0.01$) ならびに90・120分 ($p < 0.05$) で低かった。同時豆腐摂取時の血糖値は、

基準食時と比較して、30・45分で低かった ($p < 0.05$)。豆腐15分後の血糖値は、基準食と比較して、60・120分で低かった ($p < 0.05$)。

豆腐食と比較すると、豆腐15分前では、米飯摂取時に血糖値が基準食血糖値より高く、それ以降は100 mg/dl前後で推移し、食後血糖上昇が一番おさまられた。豆腐15分前と比較して、豆腐15分後では15・30 ($p < 0.05$) および45分 ($p < 0.01$) の血糖値が高かった。豆腐15分前の比較して、豆腐同時の0・60分 ($p < 0.05$)、および45分 ($p < 0.01$) の血糖値が高かった。米飯摂取後120分では、豆腐15分後に比して、豆腐同時摂取時の血糖値が高かった ($p < 0.05$)。

基準食の血糖 AUC と比較して、豆腐15分前血糖 AUC, 同時豆腐摂取血糖 AUC および15分後豆腐摂取血糖 AUC はいずれも小さかった ($p < 0.01$) (図4)。15分前豆腐摂取, 同時豆腐摂取および15分後豆腐摂

取の3群の血糖AUCを比較した時, 15分前豆腐摂取の血糖AUCは同時豆腐摂取の血糖AUCより低かった ($p < 0.05$).

IV. 考察

前報で納豆の食べ方について報告した⁴⁾. 納豆90gは, ご飯を食べる15分前・後にいずれに摂取しても, 米飯摂取後の血糖上昇を抑制した. また納豆摂取によりインスリン分泌は亢進しなかった. 納豆の粘性や食物繊維が吸収を抑制して血糖値を下げたと推察された.

今回粘性・発酵食品ではない豆乳・豆腐について食べ方(食べるタイミング)を検討した. 大豆食品として豆乳(400ml), 木綿豆腐(400g)を用いた. いずれの食品も米飯のみの基準食と比較して, 米飯の食後血糖上昇を抑制した. 豆乳400mlは米飯摂取15分前あるいは15分後に飲んでも, 血糖抑制効果に差はなかった. 豆腐400gの場合は3つの食べ方の中では, 豆腐15分前摂取時が, 豆腐同時摂取時より, 血糖上昇抑制が顕著だった. 豆腐15分前の血糖AUCが同時豆腐AUCより小さかった.

大豆食品により食後血糖上昇が抑制されたメカニズムは, 1) 糖の血中へ移行するのを抑制, 2) 糖の組織への取り込みが増加し, 3) その両方が生じた結果, 血中濃度が低下したと考えられる⁷⁾. 豆乳・豆腐の摂取により胃から小腸への移行を抑制し, その結果糖の吸収速度を減少した. 大豆の食物繊維, またタンパク質・脂質が胃を空にするのをゆっくりにし, その結果食後血糖を減少したと推察される.

豆腐400g食のほうが, 豆乳400ml食より, 米飯による食後血糖上昇抑制効果が大きかった. 豆腐に含まれる食物繊維, 特に不溶性食物繊維が影響しているのではないかと示唆される. 大豆中の不溶性食物繊維(スタチロースやラフィノース)が消化の速度や消化効率をゆっくりすることがよく知られている⁵⁻⁷⁾. 豆乳では15分前と15分後の食べ方で, 血糖上昇抑制効果に差がなかったこと, 豆腐15分前が, 豆腐同時食より, 血糖上昇抑制効果が大きかったことはこの不溶性食物繊維が関連しているとも推察される, 詳細は今後の課題である.

今回インスリンは検討しなかったが, 食品中のタンパク質や脂質がGLP-1やGIPを刺激して, 結果的にインスリンを分泌する可能性もある. 前回納豆を米飯摂取の15分前, 15分後に摂取した時の血糖ならびにイン

スリン濃度を測定したが, インスリンの経時的変動は基準食と納豆の検査食で差はなかった⁴⁾.

納豆, 豆腐・豆乳とともに米飯摂取後の食後血糖を抑制する, 日本人の食生活によく登場する食品で, 心がけて摂取することが望ましい.

V. まとめ

豆乳(400ml), 木綿豆腐(400g)を米飯摂取15分前, 同時, 15分後に大豆製品を摂取することにより, 米飯のみを摂取した時と比べ血糖上昇抑制効果が見られるか否かを検討した.

豆乳食では, 米飯摂取の15分前, 15分後に豆乳を飲むと, ともに血糖上昇を抑制した. 15分前でも15分後でも, 血糖抑制効果に差はなかった. 豆腐食では, 米飯摂取15分, 同時, 15分後に豆腐を食べると, いずれも米飯摂取後の血糖上昇を抑制した. 3つの食べ方の中では特に15分前に摂取したとき, 血糖上昇抑制が顕著だった.

豆乳食よりも豆腐食のほうが, 食後血糖上昇抑制効果が大きかった. 機序としては, 豆腐に含まれる食物繊維, 特に不溶性食物繊維が炭水化物の吸収を緩やかにしたと示唆された.

付記

本研究は平成24年度科学研究費補助金(基盤研究(C)一般22500778)により実施した.

本実験は平成24年度卒業論文研究臨床栄養学ゼミ生 青島明日香, 久野隆介, 千賀弓華, 原口めぐみ, 宮下愛未, 柏木伸崇, 石川実季, 岩屋亮, 戸河里英靖, 中西健史によって行われた.

引用文献

- 1) Jenkins DJA, Wolever TMS, Taylor RH et al.: Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr*1981; **24**: 362-366.
- 2) Sugiyama M, Tang AC, Wakai Y and Koyama W: Glycemic index of single and mixed meal foods among common Japanese foods with white rice as a reference food. *Eur J Clin Nutr* 2003; **57**: 743-52.
- 3) Saeko Imai, Mikiko Matsuda, Goji Hasegawa, Michiaki Fukui, Hiroshi Obayashi, Neiko Ozasa, Shizuo Kajiyama. A simple meal plan of 'eating vegetables before carbohydrate' was more effective for achieving glycemic control than an exchange-based meal plan in Japanese patients with type 2 diabetes: *Asia Pac J Clin Nutr* 2011; **20**(2): 161-168.
- 4) 末田香里, 伊藤美由紀, 酒井映子, 宇野智子, 佐藤祐造. 米飯の食後血糖に及ぼす牛乳・納豆の摂食時刻, 心身科学

豆腐, 豆乳の摂取タイミング

- 2013 ; 5 (1) : 63-71.
- 5) Malkki A: Physical properties of dietary fiber as keys to physiological functions. *Cereal Foods World* 2001; **46** : 196-9.
- 6) Jenkins DJA, Wolever TMS, Jenkins AL, Taylor RH. Dietary fiber, carbohydrate metabolism and diabetes. *Molec Aspects Med* 1987; **9**: 97-112.
- 7) Akiko Taniguchi, Hisami Yamanaka-Okuhara, Yuka Nishida, Hironori Yamamoto, Yutaka Taketani, Eiji Takeda. Natto and viscous vegetables in Japanese style meal supress postprandial glucose and insulin response. *Asia Pac J Clin Nutr* 2008; **17**(4) :663-668.

(最終版平成 25 年 12 月 26 日受理)

Effect of Pre/Post Rice Consumption of Soybean Juice and Soybean Curd on Postprandial Glycemia in Healthy Students

Kaori SUEDA, Eiko SAKAI, Tomoko UNO and Yuzo SATO

Abstract

Objective: The objective was to describe the effect of soybean milk and soybean curd when consumed before /after rice on postprandial blood glucose in healthy students.

Subjects: A total of 9 non-diseased students (5 females, 4 males: aged 21~ 22 y and mean BMI 20.0±1.2kg / m²) were included.

Methods: 1) In the reference meal, white rice (carbohydrate 50g) only was provided. In test meal-1; soy bean milk 400ml and in test meal-2; soy bean curd 400g with white rice (total carbohydrate 50g) were provided. At 15min before/after and simultaneous soybean products consumption, the subjects were provided with white rice. 2) Blood glucose was measured at baseline and at intervals in these experiments. The area under the curves for glucose (GAUC) was calculated. Comparisons between meals were analyzed based on paired t-test.

Results: 1) The soy milk before/after a rice had significantly lowered the GAUC values ($P<0.05$), compared with the white rice only. There are no differences in GAUCs between the soy milk before/after a rice. 2) The soy curd with rice had significantly lowered the GAUC values ($P<0.001$), compared with the white rice only. There are differences in GAUCs between the soy curd before or simultaneous to rice.

Conclusions: Both soybean milk and soybean curd before/after rice reduces postprandial blood glucose, the protein/fat and dietary fiber in soybean products were thought to suppress the postprandial increase in blood glucose.

Keywords: postprandial blood glucose, rice, soybean curd, soybean milk