

*Original article***Effect of yogurt on postprandial blood glucose after steamed rice intake**

Masayuki Yagi¹⁾, Yasuyo Kishimura²⁾, Fuka Okuda¹⁾, Mari Ogura¹⁾, Kaori Ishizaki¹⁾,
Wakako Takabe¹⁾, Yoshikazu Yonei¹⁾

1) Anti-Aging Medical Research Center and Glycation Stress Research Center, Graduate School of Life and Medical Sciences,
Doshisha University, Kyoto, Japan

2) Japan Diet Laboratory, Tokyo, Japan

Glycative Stress Research 2018; 5 (1): 068-074

(c) Society for Glycative Stress Research

(原著論文－日本語翻訳版)

ヨーグルトと米飯の摂取が食後血糖値に及ぼす影響

八木雅之¹⁾、岸村康代²⁾、奥田風花¹⁾、小椋真理¹⁾、石崎 香¹⁾、高部稚子¹⁾、米井嘉一¹⁾

1) 同志社大学大学生命医科学部アンチエイジングリサーチセンター・糖化ストレス研究センター

2) 一般社団法人大人のダイエット研究所

抄録

【目的】 高血糖の持続は糖化ストレスを亢進させる。このため空腹時血糖値が基準範囲内であっても、食後の極端な高血糖状態は糖化ストレスになる。本研究ではヨーグルトが米飯摂取時の食後血糖値におよぼす影響を検証することを目的とした。

【方法】 被験者は健康な男女 20 名（年齢 35.8 ± 6.6 歳）とし、書面にて同意を得た。試験食品は、基準食として米飯の単独摂取（A）、米飯をヨーグルトよりも先に摂取（C）、ヨーグルトを米飯よりも先に摂取した場合（D）の血糖値推移を検証した。また食後高血糖抑制作用の比較として、野菜を米飯よりも先に摂取した場合（B）とした。検査当日は空腹時に血糖値を測定した後、試験食品を 10 分間で摂取した。血糖値は被験食摂取開始から 15 分、30 分、45 分、60 分、90 分、120 分後に被験者自身が指先を穿指して自己血糖測定機で測定した。糖化ストレスの評価は、血糖上昇値、最高血糖変化値（ ΔC_{max} ）および血糖上昇曲線下面積（incremental area under curve ; iAUC）によって行った。試験結果は Friedman 検定をおこなった。

【結果】有害事象は無く、解析対象除外基準に該当する被験者がなかったため、被験者 20 名全員を有効性解析対象者とした。 ΔC_{max} は (A) と比べて (B) ($p < 0.05$) と (D) ($p < 0.01$) で小さかった。 $iAUC$ は (A) と比べて (C) と (D) で小さかった ($p < 0.05$)。また、野菜サラダまたはヨーグルトを米飯よりも先に摂取した場合の測定時間ごとの Δ 血糖値は、(A) と比べて 30 分後、45 分後に (B)、(D) の両方が小さかった ($p < 0.05$)。しかし 15 分後と 90 分後は (D) のみが小さかった ($p < 0.05$)。米飯とヨーグルトの摂取順序の影響は、(A) と比べて 30 分後と 90 分後において摂取順序に関わらず (C)、(D) とともに小さかった ($p < 0.05$)。しかし 15 分後と 45 分後では、(D) が小さかった ($p < 0.05$)。

【結語】ヨーグルトを米飯とともに摂取する食習慣は食後高血糖を抑制した。食後高血糖の抑制作用はヨーグルトが米飯よりも先の場合が大きく、既に報告されている野菜サラダを米飯よりも先に食べる食事法と同等以上の作用があった。食事にヨーグルトを追加して摂取することは老化や疾患の進展予防に寄与する可能性がある。

KEY WORDS: 糖化ストレス、ヨーグルト、蛋白質、乳酸

はじめに

生体内ではグルコースなどの還元糖、アルコールや脂質の代謝によって生成するアルデヒド物質が蛋白質と反応し、糖化最終生成物 (advanced glycation end products; AGEs) を生成する。蛋白質の AGEs 化は架橋形成、炎症惹起、褐色化を伴うものがあるため、様々な組織や細胞に物理的、生理的、見た目のダメージを与える。このため、還元糖やアルデヒドによる生体ストレスと、蛋白質の AGEs 生成による影響を総合的に捉えた概念は、糖化ストレス (glycative stress) と呼ばれている^{1,2)}。

高血糖の持続は糖化ストレスを亢進させる。このため空腹時血糖値が基準範囲内であっても、食後の極端な高血糖状態は糖化ストレスになる。また糖化ストレスは老化危険因子の一つで、皮膚老化、糖尿病合併症、骨粗鬆症、認知症などの進展要因になる。糖化ストレスを軽減する方法としては食事摂取時における食後高血糖の抑制、糖化反応の抑制、AGEs の分解排泄などがある³⁾。

既に食事として野菜サラダ^{4,5)}や食酢⁶⁾を米飯よりも先に摂取すると、食後の血糖上昇を抑制できることが報告されている。既に我々は主食として摂取する炭水化物の種類および並食する食品が食後血糖変化に及ぼす影響について検討してきた。その結果、食後高血糖状態の抑制には、グレープフルーツをパンの摂取よりも先に⁷⁾、うどんに食物繊維を添加すること⁸⁾、うどんや米飯を単独で食べるよりも、玉子、野菜サラダ、マーボー茄子⁹⁾、牛丼¹⁰⁾などの副菜と一緒に食べることが有効であることを報告した。

本研究ではヨーグルトが米飯摂取時の食後血糖値におよぼす影響を検証することを目的に、基準食として米飯の単独摂取、米飯をヨーグルトよりも先に摂取、ヨーグルトを米飯よりも先に摂取した場合の血糖値推移を検証した。また食後高血糖抑制作用の比較として、ポジティブコントロールに野菜を米飯よりも先に摂取した場合を検証した。

方法

被験者

被験者の選択基準は以下の基準に合致した者とした。本試験の目的、内容について十分な説明を受け、同意能力があり、十分に理解した上で自由意志により志願し、文書で参加に同意した者。20 歳以上 50 歳以下の健康な日本人。体格指数 (body mass index: BMI) の数値が 30 以下の者。過去 1 年間の健康診断で耐糖能異常がない者。降圧剤などの服用をしていない者。ヨーグルトを摂取することが 1 週間に 2 日以下の者。

また被験者は以下の除外基準にあてはまらない者とした。試験食品にアレルギー等を有する者。試験開始前 1 ヶ月間に他の試験に参加した者あるいは本試験同意後に他の試験に参加する予定がある者。授乳中の者。妊娠している者。試験期間中に妊娠の予定または希望がある者。

被験者の人数の設定には検出力分析ソフトウェアとして G*Power 3, version 3.1.9.2 を用いて両側検定、効果量 0.8、有意水準 0.05、検出力 0.8 で計算した¹¹⁾。その結果、研究の科学的合理性を満たす被験者数は結果 15 名となったため、少し人数を多くして 20 名 (男性 10 名、女性 10 名) を被験者数に設定した。

調査項目と検査内容

被験者は被験者背景調査として、年齢、既往歴、食物アレルギーの有無について、被験者自身で調査票に記入した。検査は医療用ランセットにより、自分自身の指先を穿指して採血し、自己血糖測定器 (メディセーフフィット、テルモ株式会社、東京都渋谷区) を使用して自分自身で血糖値を測定した。

検査のプロトコル

本試験では既報と同様に⁸⁻¹¹⁾、日本 Glycemic Index (GI)

研究会による統一プロトコルに従って検査を実施した¹²⁾。

被験者には試験期間中、普段通りの生活をする事、および以下の制限事項を遵守するように指導した。

検査前日は過激な運動を控え、午後8時以降は食事を摂らない。暴飲暴食、多量の飲酒、夜更かしを避ける。本試験に影響を及ぼす可能性がある医薬品（一般医療用を含む）、医薬部外品、サプリメント、健康食品および特定保健用食品などは、試験開始から試験終了まで新たな服用や摂取を控える。試験期間中に医療機関を受診した場合は速やかに担当者（株式会社ヘルスケアシステムズ、東京都千代田区）に連絡する。

検査当日は朝食を摂らない。午前7時から9時に開始する検査に参加する。被験食を摂取する前には指先をアルコールで消毒し、よく乾かしてからランセットで穿指後、血糖値を測定する（穿指する指はどの指でも可）。基準食および試験食（試験食品）の摂取は検査開始後5～10分間で行い、一口30回以上咀嚼してから嚥下する。検査中は喫煙を避け、静かな立ち仕事や座位の仕事を行うことを許可する。

血糖測定は試験食品を摂取する前（1回目）、摂取開始15分後（2回目）、30分後（3回目）、45分後（4回目）、60分後（5回目）、90分後（6回目）、120分後（7回目）とした。また検査は前回の検査から1日以上経過していること。女性の場合、生理期間中は実施しないことにした。

試験食品

本研究で用いた試験食品の栄養成分は **Table 1** に示した。栄養成分は各食品に表示されている数値を用いて計算した。本研究では、市販の包装米飯、ヨーグルト（プレーンタイプ）、サラダを使用した。包装米飯は「サトウのごはん、こだわりコシヒカリ小盛 150 g」（佐藤食品工業（株）、新潟県新潟市）を用いた。ヨーグルトは「明治ブルガリアヨーグルト LB81 プレーン」（（株）明治、東京都中央区）を用いた。野菜サラダは「洗わずそのまま使えるオニオンとレタスのミックスサラダ」（イオン（株）、千葉県千葉市）を使用した。野菜サラダはドレッシングを使わず、そのまま摂取した。

試験食品の摂取量は日本 Glycemic Index (GI) 研究会の統一プロトコルに従って炭水化物（糖質）総量が 49.9 ± 0.4 g（平均値 $\pm$ 標準偏差）になるように、以下の通り摂取量を決定した。

- (A) 米飯 150 g（炭水化物量 49.7 g）
- (B) 野菜サラダ 101 g と米飯 138 g（炭水化物量 49.7 g）
- (C, D) ヨーグルト 200 g 米飯 120 g（炭水化物量 50.4 g）

摂取方法は各試験食品ともに検査開始後10分間で摂取した。但し、試験食品（B）～（D）の摂取時は最初の5分間に（2種類の試験食品うち先に）、（B）野菜サラダ 101 g、（C）米飯 120 g、（D）ヨーグルト 200 g を摂取した。

安全性解析対象者の選択

安全性解析対象者は試験食品を一度でも摂取した被験者を対象とした。

有効性解析対象者の選択

有効性解析対象者は所定の試験スケジュールおよび試験内容を全て終了した被験者のうち、以下の解析対象除外基準に該当する被験者を除外した。検査結果の信頼性を損なう行為が顕著に見られた者。除外基準に該当していたことや、制限事項の遵守ができないことが摂取開始後に明らかになった者。

統計解析

試験の安全性の評価と解析は安全性解析対象者とし、有害事象および副作用について症状、程度、頻度などを集計して評価した。

試験の有効性解析は有効性解析対象者とし、試験食品摂取後の経時的な血糖値から、試験食品を摂取する前（1回目；0分値）を差し引いた値を Δ 血糖値、検査開始後120分までの血糖値変化の最高値を、最高血糖変化値（ ΔC_{max} ）とした。血糖上昇曲線下面積（incremental area under curve; iAUC）は日本 Glycemic Index (GI) 研究会の統一プロトコルに従って算出した。

統計解析には IMB SPSS Statics 24（IMB Japan、東京都港区）を用いた。試験結果の群間比較にはフリードマンの検定（Friedman test）をおこない、両側検定で危険率5%未満を有意差ありとした。

倫理基準

本試験はヘルシンキ宣言（2004年東京総会で注釈追加）に基づく倫理原則および個人情報保護法を遵守し、「医薬

Table 1. Nutrition facts of test meal.

Test food	Unit (g)	Energy (kcal)	Protein (g)	Fat (g)	Carbohydrate (g)	Sugar (g)	Fiber (g)
Steamed rice ¹⁾	150	216	3.2	0.5	49.7	—	—
Yogurt ²⁾	100	62	3.4	3.0	5.3	—	—
Vegetable salad ³⁾ (no dressing)	100	22	0.6	0.1	—	4.0	1.4

1) Sato no gohan, Kodawari Koshihikari, small serve 150 g (Sato Kogyo Co., Ltd.).

2) Meiji Bulgaria Yogurt LB81, plain (Meiji Holdings Co., Ltd.).

3) The mixed salad of the onion and lettuce which can be used without washing (Aeon Co., Ltd.).

品の臨床試験の実施の基準に関する省令（GCP）」（平成9年3月27日厚生省令第28号）並びに厚生労働省・文部科学省の「疫学研究に関する倫理指針」を参考にして実施した。本研究は株式会社ヘルスケアシステムズによる倫理審査委員会を開催し、試験の倫理性および妥当性について審議を行い、承認のもとに実施した（承認番号：1701）。また本試験は国立大学附属病院長会議（UMIN）が設置している公開データベースに登録して実施した（試験ID: 000028061）。

結果

安全性の評価

本試験において有害事象の報告はなかった（データ未掲載）。

有効性の評価対象

解析対象除外基準に該当する被験者はなかったため、試

験参加者20名全員を有効性解析対象者とした。被験者は男性10名、女性10名で、年齢 35.8 ± 6.6 歳（平均値 $\pm$ 標準偏差）（男性； 35.7 ± 6.7 、女性； 35.8 ± 6.9 ）、身長 165.3 ± 8.0 cm（男性； 171.5 ± 5.1 、女性； 159.1 ± 5.0 ）、体重 59.6 ± 12.5 kg（男性； 69.4 ± 9.0 、女性； 49.9 ± 6.0 ）、BMI 21.7 ± 3.4 （男性； 23.7 ± 3.5 、女性； 19.6 ± 1.7 ）であった。

有効性評価

各試験食品摂取後の血糖値推移を [Table 2](#) に示した。iAUC と ΔC_{max} はそれぞれ [Fig. 1](#) と [Fig. 2](#) に示した。

ΔC_{max} は米飯のみを摂取した場合（A）と比べて、米飯を先に摂取した後、ヨーグルトを摂取した場合（C）およびヨーグルトを先に摂取した後、米飯を摂取した場合（D）において有意に小さかった（ $p < 0.01$ ）。同様に野菜サラダを先に摂取した後、米飯を摂取した場合（B）も（A）と比べて小さかった（ $p < 0.05$ ）。

Table 2. Blood glucose level transition after intake of the test meal.

Test food	0 min	15 min	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min
A	92.3 $\pm$ 7.8	103.4 $\pm$ 12.3	131.3 $\pm$ 20.4	139.6 $\pm$ 13.2	135.4 $\pm$ 17.3	123.3 $\pm$ 20.0	112.9 $\pm$ 14.1
B	95.5 $\pm$ 7.6	100.9 $\pm$ 9.3	114.9 $\pm$ 14.7	123.4 $\pm$ 16.8	125.7 $\pm$ 14.8	122.7 $\pm$ 14.0	120.1 $\pm$ 12.3
C	96.9 $\pm$ 8.6	107.6 $\pm$ 11.4	126.1 $\pm$ 23.8	129.2 $\pm$ 16.0	123.4 $\pm$ 15.4	110.3 $\pm$ 17.3	105.4 $\pm$ 15.5
D	95.1 $\pm$ 7.0	97.4 $\pm$ 7.0	111.0 $\pm$ 12.4	125.4 $\pm$ 16.6	124.5 $\pm$ 14.2	113.5 $\pm$ 10.8	110.7 $\pm$ 7.1

Data are expressed as mean $\pm$ SD, unit: mg/dL, n = 20. A; steamed rice, B; vegetable salad (no dressing) before steamed rice, C; steamed rice before yogurt, D; yogurt before steamed rice. SD, standard deviation.

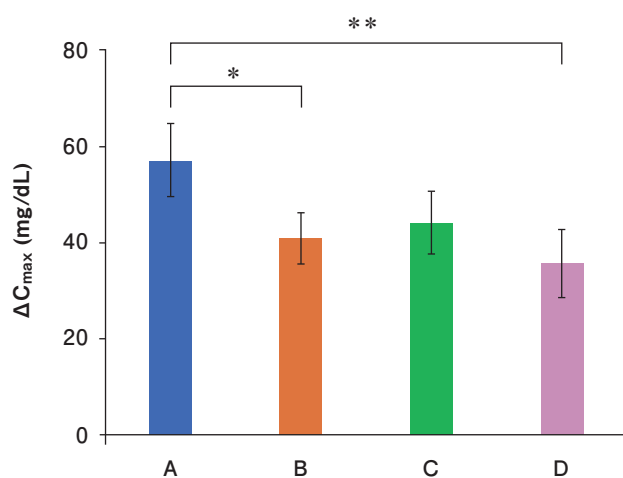


Fig. 1. The amount of maximum blood glucose level change (ΔC_{max}) after ingesting test meal.

Data are expressed as mean $\pm$ 95% CI, n = 20. ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$ by Friedman test. A; steamed rice, B; vegetable salad (nodressing) before steamed rice, C; steamed rice before yogurt, D; yogurt before steamed rice. CI, confidence interval.

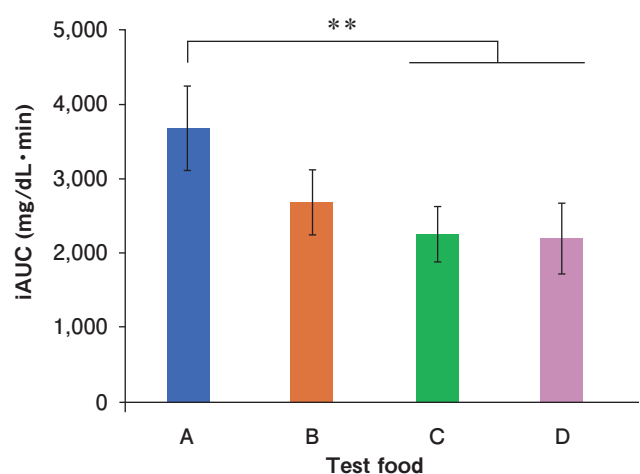


Fig. 2. The area under curve blood glucose level change (iAUC) after ingesting test meal.

Data are expressed as mean $\pm$ 95% CI, n = 20. ** $p < 0.01$ by Friedman test. A; steamed rice, B; vegetable salad (no dressing) before steamed rice, C; steamed rice before yogurt, D; yogurt before steamed rice.

Table 3. The amount of blood glucose level change (Δ blood glucose) after ingesting test meal.

Test food	15 min	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min
A	11.1 $\pm$ 10.6 (5.0)	39.0 $\pm$ 19.4 (9.1)	47.3 $\pm$ 14.0 (6.6)	43.1 $\pm$ 20.5 (9.6)	31.0 $\pm$ 21.0 (9.8)	20.7 $\pm$ 15.9 (7.4)
B	5.4 $\pm$ 7.7 (3.6)	19.4 $\pm$ 15.4 (7.2)**	27.9 $\pm$ 17.2 (8.0)**	30.2 $\pm$ 15.2 (7.1)	27.2 $\pm$ 11.9 (5.6)	24.6 $\pm$ 14.0 (6.5)
C	10.7 $\pm$ 8.8 (4.1)	29.2 $\pm$ 23.0 (10.8)*	32.3 $\pm$ 14.9 (7.0)	26.5 $\pm$ 14.0 (6.6)	13.4 $\pm$ 14.0 (6.6)*#	8.5 $\pm$ 11.4 (5.4)##
D	2.3 $\pm$ 5.3 (2.5)*	16.0 $\pm$ 11.2 (5.2)**	30.4 $\pm$ 15.0 (7.0)*	29.5 $\pm$ 15.5 (7.3)	18.4 $\pm$ 11.8 (5.5)*#	15.7 $\pm$ 9.1 (4.2)

Data are expressed as mean $\pm$ SD, parenthesis indicate 95 % CI, unit; mg/dL, n = 20. *p < 0.05, ** p < 0.01 vs **A**, #p < 0.05, ## p < 0.01 vs **B** by Friedman test. **A**; steamed rice, **B**; vegetable salad (no dressing) before steamed rice, **C**; steamed rice before yogurt, **D**; yogurt before steamed rice. SD, standard deviation; CI, confidence interval.

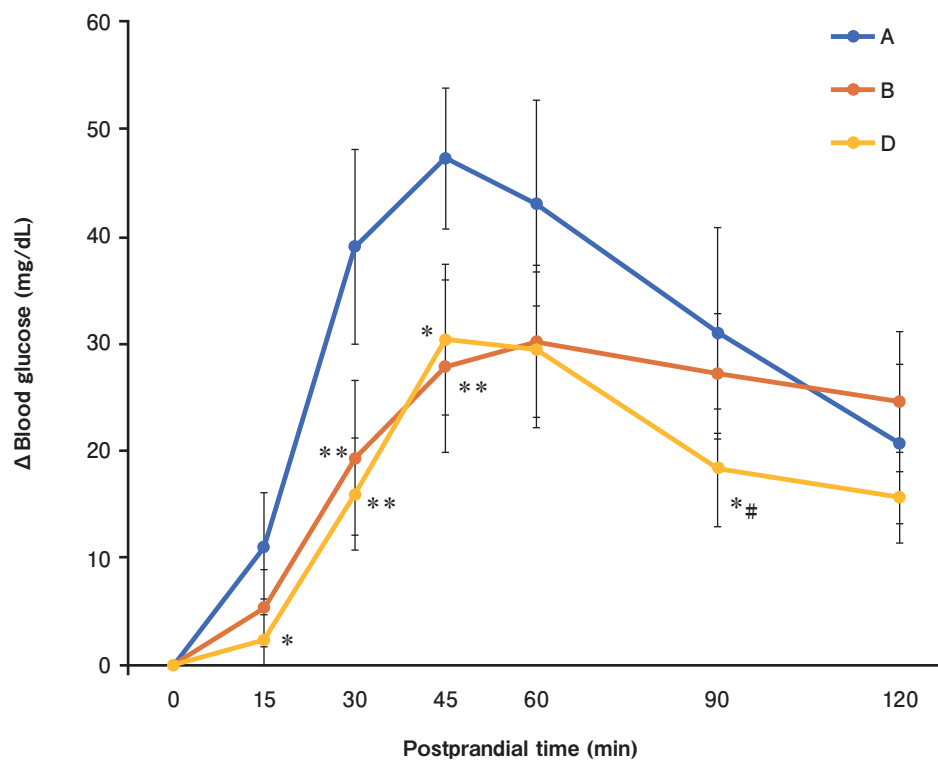


Fig. 3. Fluctuation of the blood glucose level at the time of ingesting vegetable salad or yogurt ahead of rice.

Data are expressed as mean $\pm$ 95 % CI, n = 20. * p < 0.05, ** p < 0.01 vs **A**, # p < 0.05 vs **B** by Friedman test. **A**; steamed rice, **B**; vegetable salad (undressed) before steamed rice, **D**; yogurt before steamed rice. CI, confidence interval.

iAUC は (A) と比べて、(C) と (D) において小さかった ($p < 0.01$)。同様に (B) は (A) と比べて小さい傾向があった。 Δ 血糖値 (食品を摂取する前 (1 回目; 0 分値) を差し引いた値) の推移を **Table 3** に示した。

Fig. 3 には野菜サラダ (B) またはヨーグルト (D) を米飯よりも先に摂取した場合の Δ 血糖値を示した。 Δ 血糖値は (A) と比べて、15 分後において (D) が ($p < 0.05$)、30 分後において (B) と (D) が ($p < 0.01$)、45 分後において (B) ($p < 0.01$) と (D) ($p < 0.05$) が、90 分後において (B) と (D)

が ($p < 0.05$) 小さかった。また 90 分後の Δ 血糖値は (D) が (B) と比べて小さかった ($p < 0.05$)。

Fig. 4 には米飯よりヨーグルトが後 (C) または先 (D) に摂取した場合の Δ 血糖値を示した。 Δ 血糖値は (A) と比べて、15 分後において (D) が ($p < 0.05$)、30 分後において (C) ($p < 0.05$) と (D) ($p < 0.01$) とともに、45 分後において (D) が ($p < 0.05$)、90 分後において (C) と (D) が ($p < 0.05$) 小さかった。

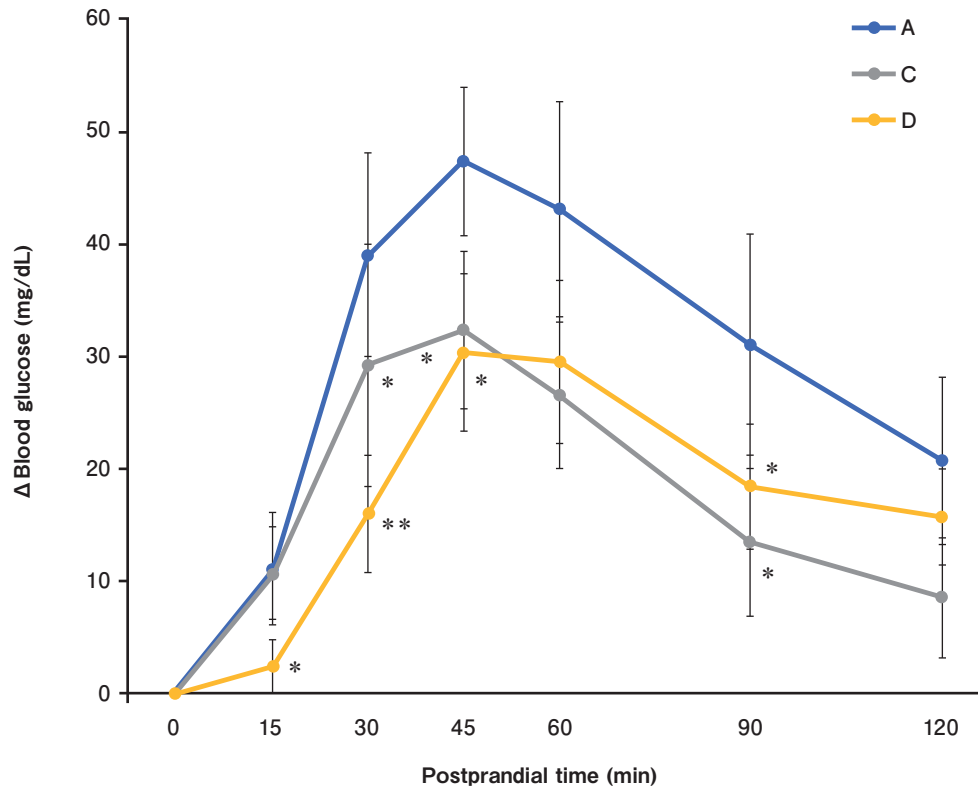


Fig. 4. Fluctuation of the blood glucose level at the time of changing thesequence of ingesting yogurt and rice.

Data are expressed as mean $\pm$ 95% CI, n = 20. *p < 0.05, **p < 0.01 vs A by Friedman test. A; steamed rice, C; steamed rice before yogurt, D; yogurt before steamed rice.

考察

ヨーグルトの食後高血糖抑制作用

本研究ではヨーグルトが米飯摂取時の食後血糖値におよぼす影響を検証することを目的に、基準食として米飯の単独摂取、ヨーグルトと米飯の食べる順序の違いによる血糖値変化の影響を、野菜サラダを米飯より先に摂取した場合の影響と比較して検証した。

ΔC_{max} は (A) と比べて (B) と (D) で小さかった。iAUC は (A) と比べて (C) と (D) のヨーグルト摂取時に小さかった。また、野菜サラダ (B) またはヨーグルト (D) を米飯よりも先に摂取した場合の測定時間ごとの Δ 血糖値は、(A) と比べて 30 分後、45 分後に (B)、(D) の両方が小さかった。しかし 15 分後と 90 分後は (D) のみが小さかった。従って、野菜サラダまたはヨーグルトを米飯よりも先に摂取する食事法は、米飯を単食するよりも食後高血糖を抑制することがわかった。

既に野菜サラダを米飯よりも先に摂取する食事法は食後高血糖を抑制することが報告されている^{4,5)}。またヨーグルトの高血糖抑制作用にはラット、マウスなどを用いた動物実験^{13,14)}やヒト臨床試験がある¹⁵⁾。乳ホエイの食後高血糖抑制作用はホエイ中のアミノ酸がインクレチン分泌の促進に作用している可能性がある¹⁶⁾。乳酸には食品の消化管内で消化部のゲル化促進¹⁷⁾、ガストリンの分泌抑制による消化速度抑制作用が知られている¹⁸⁾。さらに乳酸を含む

モノカルボン酸は、細胞膜に存在する monocarboxylate transporter (MCT) を介して筋肉組織のミトコンドリアでのエネルギー産生を促進する¹⁹⁾。市販のプレーンヨーグルト製品 19 種類を調査した結果、ヨーグルト中の蛋白量は 3~4 g/100 g (栄養成分表示による)、乳酸量は 90~900 mg/100 g であった (データ未掲載)。また、ヨーグルト摂取 30 分後には血漿乳酸濃度が上昇し、3 時間後まで維持することが報告されている²⁰⁾。よってヨーグルトと米飯と一緒に摂取したときの食後高血糖抑制作用は、ヨーグルト中の乳蛋白の消化に伴うアミノ酸によるインクレチン分泌促進、および乳酸による胃での消化速度遅延、消化物のゲル化促進、吸収された乳酸による糖代謝の促進などが関与した可能性がある。

一方、本研究において iAUC は野菜サラダよりもヨーグルトの摂取で低下が見られた。先行研究における野菜サラダの摂取試験では、野菜サラダにオリーブオイルと食酢をドレッシングとして使用し、一緒に摂取していた^{4,5)}。食酢⁶⁾やオリーブオイルには食後高血糖抑制作用が報告されている²¹⁾。また食後高血糖抑制作用はサラダに使用するドレッシングの組成の違いによって異なることが報告されている²²⁾。本研究では野菜サラダにドレッシングを使用しないで摂取したため、食後高血糖抑制作用が弱くなった可能性が考えられた。

ヨーグルトと米飯の食事順序

米飯とヨーグルトの摂取順序の影響は、(A) と比べて 30 分後と 90 分後において摂取順序に関わらず (C)、(D) とともに小さかった。しかし 15 分後と 45 分後では、ヨーグルトを米飯よりも先に摂取した場合 (D) が小さかった。15 分後の Δ 血糖値の違いは、被験食を摂取する 10 分間における炭水化物摂取量の時間配分に起因した可能性がある。しかし (C) と (D) が ΔC_{max} となる時間はともに 45 分後であったことから、ヨーグルトを米飯よりも先に摂取する食事法が、食後高血糖抑制作用を大きくする可能性が考えられた。この現象はグレープフルーツをパンよりも先に摂取すること⁷⁾、食酢⁶⁾ および酢飲料²³⁾ を米飯よりも先に摂取することが食後高血糖を抑制することと同様であると考えられた。

既にうどんに食物繊維を添加すること⁸⁾、うどんや米飯を単独で食べるよりも、玉子や野菜、マーボー茄子⁹⁾、牛丼などの副菜と米飯を一緒にして食べることが食後高血糖抑制に有効であること¹⁰⁾ が報告されている。しかしヨーグルトは米飯の後に摂取しても、米飯のみの摂取と比べて食後高血糖抑制作用があった。このためヨーグルトにおいては食事順序の違いによる影響は小さい可能性がある。この要因には、食事順序の時間差が 5 分間程度の短時間であったこと、ヨーグルト中の乳酸が速やかに吸収されて血中濃度が維持されることによる MCT を介した糖代謝の促進継続などに起因する可能性が考えられた。

食後高血糖抑制による糖化ストレス抑制

食後高血糖はインスリンの過剰分泌に繋がる²⁴⁾。このため極端な食後高血糖の繰り返しはインスリン抵抗性を惹起に関与する。また食後の血糖値上昇に呼応して、糖化反応中間体である 3-デオキシグルコソン、グリオキサール、メ

チルグリオキサールの血中濃度が上昇することが報告されている²⁵⁾。血中のメチルグリオキサールは血管内皮細胞を損傷させることが知られている²⁶⁾。このため食後高血糖の抑制は微小血管の損傷による組織や器官のダメージを予防する可能性がある。既に主食よりも野菜から先に食べる食事指導の 1～2.5 年継続は、糖尿病患者の HbA1c の低下や糖尿病合併症の進展予防に繋がっている²⁷⁾。またヨーグルトを 1 日 1 人前摂取する食習慣は 2 型糖尿病のリスク軽減になるとのメタアナリシス結果もある²⁸⁾。従って、ヨーグルトを食事とともに継続摂取する食習慣は、食後高血糖の抑制により糖化ストレスを軽減し、老化や加齢関連疾患の進展予防に寄与する可能性がある。

結語

ヨーグルトを米飯とともに摂取する食習慣は食後高血糖を抑制した。食後高血糖の抑制作用はヨーグルトが米飯よりも先の場合が大きく、既に報告されている野菜サラダを米飯よりも先に食べる食事法と同等以上の作用があった。食事にヨーグルトを追加して摂取することは老化や加齢関連疾患の進展予防に寄与する可能性がある。

利益相反申告

本研究を遂行するにあたり株式会社エズエス（東京）より支援を受けた。

参考文献

- 1) Ichihashi M, Yagi M, Nomoto K, et al. Glycation stress and photo-aging in skin. *Anti-Aging Med.* 2011; 8: 23-29.
- 2) Yagi M, Yonei Y. Glycative stress and anti-aging: 1. What is glycative stress? *Glycative Stress Res.* 2016; 3: 152-155.
- 3) 八木雅之, 石崎 香. 糖化ストレスに着目した抗糖化食品・化粧品の有効性評価法. *Fragrance Journal.* 2016; 44: 56-64.
- 4) 金本郁男, 井上 裕, 守内 匡, 他. 低 Glycemic Index 食の摂取順序の違いが食後血糖プロファイルに及ぼす影響. *糖尿病.* 2010; 53: 96-101.
- 5) 今井佐恵子, 松田美久子, 藤本さおり, 他. 糖尿病患者における食品の摂取順序による食後血糖上昇抑制効果. *糖尿病.* 2010; 53: 112-115.
- 6) Endo M, Matsuoka T. The efficacy of vinegar on the suppression of postprandial glucose elevation. *J Japan Diab Soc.* 2011; 54: 192-199.
- 7) Ogura M, Yagi M, Nomoto K, et al. Effect of grapefruit intake on postprandial plasma glucose. *Anti-Aging Med.* 2011; 8: 60-68.
- 8) Matsushima M, Yagi M, Hamada U, et al. Effects of choice of staple food and the addition of dietary fiber on changes in postprandial blood glucose level. *Glycative Stress Res.* 2014; 1: 46-52.
- 9) Matsushima M, Yagi M, Hamada U, et al. Prevention of postprandial hyperglycemia by the combination of a staple food and a side dish. *Glycative Stress Res.* 2014; 1: 53-59.
- 10) Kawabata A, Yagi M, Ogura M, et al. Postprandial blood glucose level after intake of a bowl of rice topped with beef. *Glycative Stress Res.* 2015; 2: 67-71.
- 11) Faul F, Erdfelder E, Lang AG. G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods.* 2007; 39: 175-191.
- 12) 日本 Glycemic Index 研究会. プロトコル (統一手法) <http://www.gikenkyukai.com/protocol.html>
- 13) 田渕三保子, 森田裕嗣, 何 方, 他. *Lactobacillus rhamnosus* GG 摂取がラット食後血糖値に及ぼす影響. *Milk Science.* 2005; 54: 17-21.

- 14) Yun SI, Park HO, Kang JH. Effect of *Lactobacillus gasseri* BNR17 on bloodglucose levels and body weight in a mouse model of type 2 diabetes. J Appl Microbiol. 2009; 107: 1681-1686.
- 15) Östman EM, Liljeberg Elmståhl HG, Björck IM. Inconsistency between glycemic and insulinemic responses to regular and fermented milk products. Am J Clin Nutr. 2001; 74: 96-100.
- 16) Gunnerudl U, Holst JJ, Östman E, et al. The glycemic, insulinemic and plasma amino acid responses to equi-carbohydrate milk meals, a pilot-study of bovine and human milk. Nutr J. 2012; 11: 83.
- 17) Östman EM, Nilsson M, Liljeberg Elmståhl HGM, et al. On the effect of lactic acid on blood glucose and insulin responses to cereal products: Mechanistic studies in healthy subjects and *in vitro*. Journal of Cereal Science. 2002; 36: 339-346.
- 18) Ebihara K. Effect of lactic acid on postprandial plasma-glucose and -insulin responses in rats administered glucose solution. Nutrition Research. 1996; 16: 1575-1585.
- 19) Kitaoka Y, Hoshino D, Hatta H, Monocarboxylate transporter and lactate metabolism. J Phys Fitness Sports Med. 2012; 1: 247-252.
- 20) de Vrese M, Barth CA. Postprandial plasma D-lactate concentrations after yogurt ingestion. Z Ernährungswiss. 1991; 30: 131-137.
- 21) Bozzetto L, Alderisio A, Giorgini M, et al. Extra-virgin olive oil reduces glycemic response to a high-glycemic index meal in patients with type 1 diabetes: A randomized controlled trial. Diabetes Care. 2016; 39: 518-524.
- 22) 川北久美子, 木本早紀, 竹之山慎一, 他. 食品の摂取順序が食後血糖値および中性脂肪値に及ぼす影響. 南九州大学園芸学部研究報告 A. 自然科学系. 2017; 47A: 11-18.
- 23) Yagi M, Shimode A, Yasui K, et al. Effect of a vinegar beverage containing indigestible dextrin and a mixed herbal extract on postprandial blood glucose levels: A single-dose study. Glycative Stress Res. 2014; 1: 8-13.
- 24) Latt WW. Postprandial insulin resistance as an early predictor of cardiovascular risk. Ther Clin Risk Manag. 2007; 3: 761-770.
- 25) Maessen DE, Hanssen NM, Scheijen JL, et al. Post-glucose load plasma α -dicarbonyl concentrations are increased in individuals with impaired glucose metabolism and type 2 diabetes: The CODAM study. Diabetes Care. 2015; 38: 913-920.
- 26) 高橋恭兵, 立浪良介, 丹保好子. 血管内皮細胞におけるメチルグリオキサール誘導アポトーシス. Yakugaku Zasshi. 2008; 128: 1443-1448.
- 27) Imai S, Fukui M, Kajiyama S. Effect of eating vegetables before carbohydrates on glucose excursions in patients with type 2 diabetes. J Clin Biochem Nutr. 2014; 54: 7-11.
- 28) Chen M, Sun Q, Giovannucci E, et al. Dairy consumption and risk of type 2 diabetes: 3 cohorts of US adults and an updated meta-analysis. BMC Med. 2014; 12: 215.