

*Original article*

## Effect of the postprandial blood glucose on lemon juice and rice intake.

Masayuki Yagi<sup>1)</sup>, Shiori Uenaka<sup>1)</sup>, Kaori Ishizaki<sup>1)</sup>, Chieko Sakiyama<sup>1)</sup>,  
Rika Takeda<sup>2)</sup>, Yoshikazu Yonei<sup>1)</sup>

- 1) Anti-Aging Medical Research Center and Glycative Stress Research Center, Faculty of Life and Medical Sciences,  
Doshisha University, Kyoto, Japan  
2) Pokka Sapporo Food & Beverage Ltd., Nagoya, Aichi, Japan

Glycative Stress Research 2020; 7 (2): 174-180  
(c) Society for Glycative Stress Research

Оригинал документа: русская версия.

## Влияние постпрандиальной глюкозы крови на потребление лимонного сока и риса.

Масаюки Яги<sup>1)</sup>, Сиори Уэнака<sup>1)</sup>, Каори Исизаки<sup>1)</sup>, Чиэко Сакияма<sup>1)</sup>,  
Рика Такеда<sup>2)</sup>, Йошиказу Йоней<sup>1)</sup>

- 1) Антивозрастной медицинский исследовательский центр и Исследовательский центр гликативного стресса,  
Факультет жизни и медицинских наук, Университет Досиша, Киото, Япония  
2) Pokka Sapporo Food & Beverage Ltd., Нагоя, Айти, Япония

### Аннотация

**Цель исследования:** Персистирующая постпрандиальная гипергликемия вызывает повышение уровня гликативного стресса. Целью данного исследования было изучение подавляющего действия лимонного сока на постпрандиальную гипергликемию после употребления вареного риса. Таким образом, изменения уровня глюкозы в крови сравнивались и верифицировались на основе потребления вареного риса (стандарт) и когда перед вареным рисом употреблялся лимонный сок.

**Методы исследования:** В исследовании приняли участие 12 здоровых мужчин и женщин в возрасте от 20 до 30 лет, которые заранее приняли участие в брифинге и дали письменное согласие. Изменения уровня ППГ были проверены между тремя тестируемыми продуктами: только вареный рис (А), 15 г лимонного сока перед употреблением риса (В) и 30 г лимонного сока перед употреблением риса (С). Лимонный сок перед употреблением разбавляли 150 мл воды. Для теста использовали FreeStyle Libre Pro, а за уровень ППГ принимали измеренную концентрацию глюкозы в интерстициальной жидкости. Оцениваемые уровни ППГ собирали перед употреблением тестируемой пищи (0 мин), через 15, 30, 45, 60, 90, 120 мин после начала теста. Резуль-

Контактные данные: Профессор Масаюки Яги (Masayuki Yagi), доктор философских наук  
Антивозрастной медицинский исследовательский центр и Исследовательский центр  
гликативного стресса, Факультет жизни и медицинских наук, Университет Досиша  
1-3 Tatara Miyakodani, Kyotanabe, Kyoto, 610-0321 Япония  
ТЕЛ./ФАКС: +81-774-65-6394 электронная почта: myagi@mail.doshisha.ac.jp  
Соавторы: Uenaka S, stud2025@mail4.doshisha.ac.jp; Ishizaki K, ko-sei12@mail.doshisha.ac.jp;  
Sakiyama C, csakiyam@mail.doshisha.ac.jp; Takeda R, rika.takeda@pokkasapporo-fb.co.jp;  
Yonei Y, yuonei@mail.doshisha.ac.jp

Glycative Stress Research 2020; 7 (2): 174-180  
(c) Society for Glycative Stress Research

таты оценивались по уровню ППГ, максимальному изменению ППГ ( $\Delta C_{max}$ ) и инкрементной площади под кривой ППГ (iAUC). Для статистического анализа был проведен множественный тест Бонферрони.

**Результаты:** Нежелательных явлений не было, ни один субъект не соответствовал критериям исключения, поэтому все 12 субъектов были включены в исследование эффективности. Изменение уровня глюкозы в крови ( $\Delta BG$ ) увеличивалось до 45 мин после начала теста на прием А до С и уменьшалось до 120 мин после этого. Через 30 мин  $\Delta BG$  тестируемый прием пищи С имел тенденцию быть ниже, чем у А и В ( $p < 0,1$ ). Наибольшее значение было показано через 45 мин после приема исследуемых продуктов от А до С, когда  $\Delta BG$  был достоверно ниже в С, чем в А ( $p < 0,05$ ).  $\Delta C_{max}$  был на 20,3% ниже в С, чем в А ( $p < 0,05$ ). iAUC при С имел тенденцию быть на 24,8% ниже, чем при А ( $p < 0,1$ ).

**Заключение:** Исследование показало, что употребление 30 г лимонного сока до риса подавляет постпрандиальную гипергликемию, которая наблюдалась при приеме 30 г лимонного сока. Диетическая привычка употреблять напиток с лимонным соком перед едой может уменьшить гликативный стресс, подавляя постпрандиальную гипергликемию, может способствовать предотвращению старения и прогрессированию заболеваний.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** гликативный стресс, постпрандиальная гипергликемия, лимон, лимонная кислота.

## Введение

Из-за гликативного стресса в нашем организме вырабатываются и накапливаются конечные продукты гликирования (AGEs). Возрастная модификация тканевых белков включает в себя сшивку, воспаление и потемнение. Таким образом, гликативный стресс вызывает физическое, физиологическое и визуальное повреждение тканей и клеток<sup>1)</sup>. Гликативный стресс является одним из факторов риска старения и может быть причиной преждевременного старения кожи, диабетических осложнений, остеопороза и деменции. Одним из факторов, повышающих гликативный стресс, является стойкая гипергликемия.

Даже у здоровых людей экстремальные постпрандиальные гипергликемические состояния вызывают гликативный стресс. Методы снижения гликативного стресса включают подавление постпрандиальной гипергликемии, подавление возрастной продукции/накопления и снижение потребления определенных продуктов, способствующих гликации<sup>2,3)</sup>. Постпрандиальная гипергликемия может быть подавлена путем выбора продуктов с низким гликемическим индексом (ГИ) и модификацией рациона питания. Постпрандиальную гипергликемию можно уменьшить, если перед употреблением углеводов (рис, хлеб) употреблять овощной салат<sup>4,5)</sup>, уксус<sup>6)</sup>, уксусный напиток<sup>7)</sup>, грейпфрут<sup>8)</sup> или простой йогурт<sup>9)</sup>. Кроме того, подавление постпрандиальной гипергликемии более эффективно, если употребление удоны или вареного риса происходит не по отдельности, а с такими продуктами как яйца, овощной салат, баклажаны Мабо<sup>10)</sup> или говядина<sup>11)</sup>. Информация о продуктах и методы приема пищи, которые подавляют постпрандиальную гипергликемию, могут расширить разнообразие диет, которые

уменьшают гликативный стресс, сохраняют здоровье и увеличивают продолжительность жизни. В этом исследовании с целью проверки влияния лимонного сока на постпрандиальную глюкозу крови (ППГ) изменения ППГ сравнивались в двух условиях: когда рис употреблялся отдельно (стандарт) и когда перед рисом употреблялся лимонный сок.

## Методы

### Предмет

Испытуемыми были 12 человек, отвечавших следующим критериям отбора (**Table 1**):

Здоровые мужчины и женщины в возрасте от 20 до 30 лет без хронических заболеваний на момент получения согласия на участие в исследовании

Испытуемым были объяснены содержание и цель исследования, получено письменное согласие. В назначенный день необходимо было проходить тестирование.

### Предметы обследования и его содержание

В качестве фонового обследования испытуемые заполнили анкету о своем возрасте, анамнезе и пищевой аллергии, а также прошли обследование крови (**Table 2**). В качестве уровня ППГ использовали тест FreeStyle Libre Pro (Abbott Laboratories, Чикаго, США) и концентрацию глюкозы в тканевой интерстициальной жидкости, измеренную в течение тестового периода<sup>12)</sup>.

### Протокол тестирования

В этом исследовании, как и в предыдущем докладе<sup>4-12)</sup>, тест проводился в соответствии с единым

**Table 1. Subject's profile.**

	Unit	Total	Male	Female
Number of subjects		12	4	8
Age	years	23.1 ± 1.2	23.8 ± 0.5	22.8 ± 1.4
Body height	cm	161 ± 9.8	172.1 ± 5.5	155.5 ± 5.6
Body weight	kg	54.9 ± 10.7	65.1 ± 13.4	49.8 ± 3.8
BMI		21 ± 2.2	21.8 ± 3.4	20.6 ± 1.6

Results are expressed as mean ± standard deviation. BMI, body mass index.

**Table 2. Results of the blood chemistry test.**

Test item	Unit	Measured value	Reference range
FBG	mg/dL	80.3 ± 6.3	70 - 109
HbA1c	%	5.3 ± 0.2	4.6 - 6.2
IRI	μU/mL	5.8 ± 2.2	1.7 - 10.4
Total cholesterol	mg/dL	186.3 ± 19.7	120 - 219
TG	mg/dL	74.3 ± 31.4	30 - 149
HDL-C	mg/dL	67.4 ± 13.5	40 - 85
LDL-C	mg/dL	104.7 ± 17.9	65 - 139

Results are expressed as mean ± standard deviation. FBG, fasting blood glucose; IRI, immunoreactive insulin; TG, triglyceride; HDL, high-density lipoprotein; LDL, low-density lipoprotein.

протоколом Японской ассоциации по изучению гликемического индекса (ГИ)<sup>13</sup>.

Испытуемым было поручено соблюдать следующие пункты в течение периода тестирования: избегать нарушения режима дня, недостатка сна, переедания. Диета, физические упражнения и сон должны поддерживаться в том же количестве и качестве, что и до участия в этом исследовании; Запрещалось начинать принимать здоровую пищу и пищевые добавки; Кроме этого, запрещалось влиять на результаты теста.

Инструкции были даны накануне и в день теста таким образом, чтобы соблюдались следующие пункты: чрезмерная физическая нагрузка запрещена за день до предварительного обследования и теста;

Сон 6 часов и более за день до теста;

Прием алкогольных напитков запрещен со дня до теста до конца теста;

На ужин за день до предварительного теста и теста избегать жирной пищи и не употреблять ничего, кроме воды после 22:00.

В день теста физическая активность, которая может привести к физической нагрузке и потоотделению, запрещена до конца теста. Для женщин тест не проводился во время менструации.

Во время теста участников держали в сидячем и неподвижном положении; запрещали телефонные звонки, сон, чрезмерную мозговую активность (например, электронную почту, компьютер) и физическую активность; Голодали после употребления

тестируемой пищи до конца теста.

Испытуемые самостоятельно прикрепляли датчик Libre Pro к внешней стороне плеча за два дня или более до теста. Во время ношения датчика не было никаких ограничений на купание, плавание или физические упражнения. В тесте испытуемую пищу проглатывали в течение 10 мин в 10:00. Затем испытуемые смотрели DVD в сидячем положении, позволяя им оставаться расслабленными до 12:00, когда тест закончился.

Испытуемую пищу проглатывали 30 и более раз после пережевывания. Уровень ППГ выражали как измеренное значение, полученное через 15 мин после начала приема тестируемой пищи (первый раз), через 15 мин после начала приема пищи (второй раз), через 30 мин (третий раз), через 45 мин (четвертый раз), через 60 мин (пятый раз), через 90 мин (шестой раз) и через 120 мин (седьмой раз).

### Тестовые продукты

В этом исследовании пищевые компоненты тестируемых продуктов были рассчитаны с использованием значений, отображаемых на каждом продукте питания (Table 3). В качестве тестовых продуктов использовались коммерческие упакованные продукты из риса и лимонного сока. В качестве тестовых продуктов использовались упакованный вареный рис "Сато но Гохан, 200 г Кошихикари из Ниигаты" (Sato Foods Co., Ltd., Ниигата, Япония) и продукт из лимонного сока "Покка Лимон 100" (Pokka Sapporo

**Table 3. Nutrition facts of test foods.**

Test foods	Serving unit (g)	Energy (kcal)	Protein (g)	Fat (g)	Carbohydrate (g)	Fiber (g)	Citric acid (g)
A	200	294	4.2	0	67.8	0.6	0.0
B	215	299	4.2	0	69.2	0.6	0.95
C	230	304	4.2	0	70.6	0.6	1.9

Test foods **A**, cooked rice; **B**, lemon juice (15 g) before cooked rice; **C**, lemon juice (30 g) before cooked rice.

Food & Beverage Co., Ltd., Нагоя, Айти, Япония). Испытуемые продукты были классифицированы от **A** до **C**, и каждый прием был следующим:

- Тестовая пища **A**: Вареный рис 200 г (общее количество углеводов: 67,8 г)  
 Тестовая пища **B**: Лимонный сок 15 г + Вареный рис 200 г (общий углевод: 69,2 г)  
 Тестовая пища **C**: Лимонный сок 30 г + Вареный рис 200 г (общее количество углеводов: 70,6 г)

Что касается способа приема тестируемой пищи, то и **A**, и **C** были проглочены в течение 10 мин после начала теста. В частности, при проглатывании тестируемых продуктов **B** и **C** в течение первых 5 мин проглатывали лимонный сок, а затем 200 г риса. Лимонный сок заглатывали после разбавления его 150 мл воды.

#### *Выбор объектов анализа безопасности*

Объектами для анализа безопасности были выбраны испытуемые, которые принимали тестируемую пищу только один раз.

#### *Выбор объектов анализа эффективности*

Объектами анализа эффективности были выбраны испытуемые, выполнившие все предписанные графики испытаний, однако были исключены те, кто соответствовал следующим критериям исключения: участники, которые были уличены в действиях, ухудшающих достоверность результатов испытаний; Участники, которые были признаны удовлетворяющим критериям исключения или неспособным соблюдать ограничения после начала приема внутрь.

#### *Статистический анализ*

Оценка и анализ результатов исследования проводились по объектам анализа безопасности. Неблагоприятные события и побочные эффекты оценивались путем табулирования симптомов, степени, частоты и отношения к тестируемой пище.

Анализ эффективности проводился с помощью объектов анализа эффективности. Изменение уровня ППГ ( $\Delta BG$ ) было получено путем вычитания значения перед проглатыванием тестируемой пищи (первый раз; значение 0 мин) из уровня ППГ после проглатывания тестируемой пищи. Максимальное

изменение уровня ППГ до 120 мин после начала испытания определялось как максимальное значение изменения ППГ ( $\Delta C_{max}$ ; максимальная концентрация ППГ). Инкрементная площадь под кривой ( $iAUC$ ) рассчитывалась в соответствии с единым протоколом Японской исследовательской группы GI<sup>13</sup>. Для статистического анализа использовался IBM SPSS Statics 26 (IBM Japan, Токуо, Япония). Уровень  $BG$  был выражен как среднее значение  $\pm$  стандартная ошибка ( $SE$ ). Для сравнения результатов теста между группами был проведен множественный тест Бонферрони, который оценивался как достоверная разница при уровне риска менее 5% ( $p < 0,05$ ) в двустороннем тесте.

#### *Этические нормы.*

Это исследование проводилось в соответствии с Хельсинкской декларацией (пересмотренной на Генеральной Ассамблее WMA Fortaleza в 2013 году) и этическими руководящими принципами для медицинских исследований на основе человека (уведомление Министерства образования, культуры, Спорта, науки и техники [MEXT] и Министерства здравоохранения, Труда и социального обеспечения [MHLW]). Содержание теста было полностью объяснено испытуемым заранее. Тест был проведен после того, как заявитель запросил участие в тестировании и получил бланк добровольного согласия. Это исследование было проведено при обсуждении и одобрении Комитета по этике Университета Досиша (заявка № 18039) и Комитета по этике исследований Sapporo Holdings Group (приемная № 19-005). Одновременно этот тест был зарегистрирован в публичной базе данных, созданной Национальным университетским больничным собранием (UMIN Test ID: 000034009).

## **Результаты**

### *Оценка безопасности*

В этом исследовании не было сообщений о нежелательных явлениях (данные не показаны).

### *Оценка эффективности*

В этом исследовании ни один из испытуемых не соответствовал критериям исключения. Таким образом, все 12 участников были включены в анализ эффективности.

**Влияние приема внутрь лимонного сока и вареного риса на постпридиальный уровень ППГ**

В **Table 4** показаны изменения уровня ППГ после начала теста. Не было достоверной разницы в уровнях ППГ натощак (0 мин) до приема тестируемых продуктов от А до С. Уровень ППГ у испытуемых повышался после каждого приема тестируемой пищи, достигал максимального значения через 45 мин, а затем снижался до 120 мин. Уровень ППГ в каждый момент измерения немного отличался между тестируемыми продуктами, но не был значительным.

Переход ΔBG показан на **Fig. 1**. ΔBG увеличивался во всех тестовых продуктах от А до С до 45 мин после начала теста. Через 30 минут ΔBG тестируемой пищи С имел тенденцию быть ниже, чем у тестируемых продуктов А и В (p < 0,1). ΔBG показал самое высокое значение через 45 мин после приема тестируемых продуктов от А до С, а ΔBG С

был ниже, чем у А (p < 0,05). ΔBG от А до С уменьшился с 45 мин до 120 мин. Среднее значение ΔBG в каждый момент времени было ниже в В и С, чем в А, однако разница не была существенной.

ΔCmax составлял А: 71,3 ± 4,2 мг/дЛ, В: 67,4 ± 4,2 мг/дЛ, С: 56,8 ± 3,6 мг/дЛ (**Fig. 2**). ΔCmax С был на 20,3% (-14,5 мг/дл) ниже, чем у А (p < 0,05).

iAUC составил А: 5,032 ± 433 мг/дЛ·мин, В: 4,368 ± 354 мг/дЛ·мин, С: 3,784 ± 323 мг/дЛ·мин (**Fig. 3**). iAUC С имел тенденцию быть на 24,8% (-1,248 мг/дл·мин) ниже, чем у А (p < 0,1).

**Обсуждение**

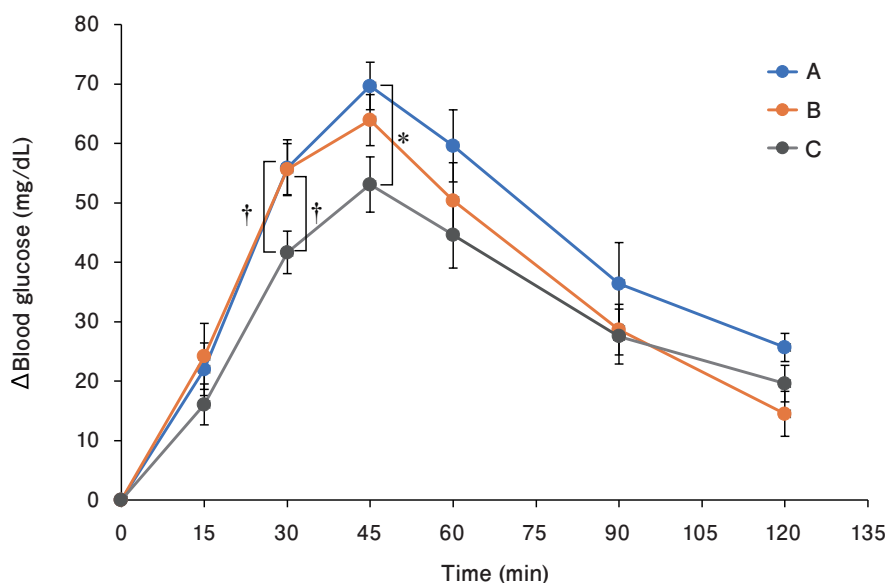
**Эффект лимонного сока по подавлению постпридиальной гипергликемии.**

С целью изучения влияния лимонного сока на уровень ППГ при употреблении вареного риса, влияние на постпридиальные изменения ППГ сравни-

**Table 4. Blood glucose level transition after a test food intake.**

Time	A (mg/dL)	B (mg/dL)	C (mg/dL)
0 min	73.8 ± 4.0 (8.8)	77.3 ± 3.0 (6.5)	73.7 ± 4.7 (10.2)
15 min	95.8 ± 5.2 (11.4)	101.5 ± 7.4 (16.4)	89.8 ± 5.1 (11.3)
30 min	129.8 ± 5.7 (12.5)	133.0 ± 6.2 (13.7)	115.3 ± 4.9 (10.8)
45 min	143.5 ± 6.3 (13.8)	141.3 ± 5.9 (12.9)	126.8 ± 5.3 (11.7)
60 min	133.4 ± 8.2 (18.0)	127.8 ± 7.4 (16.4)	118.3 ± 6.2 (13.6)
90 min	110.3 ± 7.4 (16.2)	106.0 ± 5.2 (11.3)	101.2 ± 5.1 (11.3)
120 min	99.5 ± 3.8 (8.4)	91.8 ± 3.9 (8.6)	93.3 ± 4.2 (9.2)

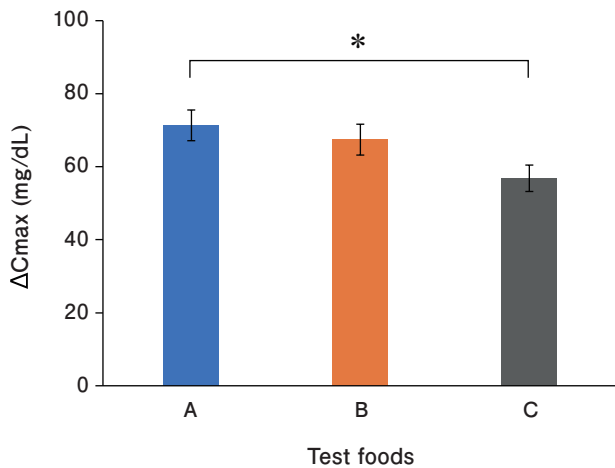
Results are expressed as mean ± standard error and parentheses show 95% confidence interval, n = 12. Test foods A, cooked rice; B, lemon juice (15 g) before cooked rice; C, lemon juice (30 g) before cooked rice.



**Fig. 1. Fluctuation of the blood glucose level at the time of intaking lemon juice ahead of rice.**

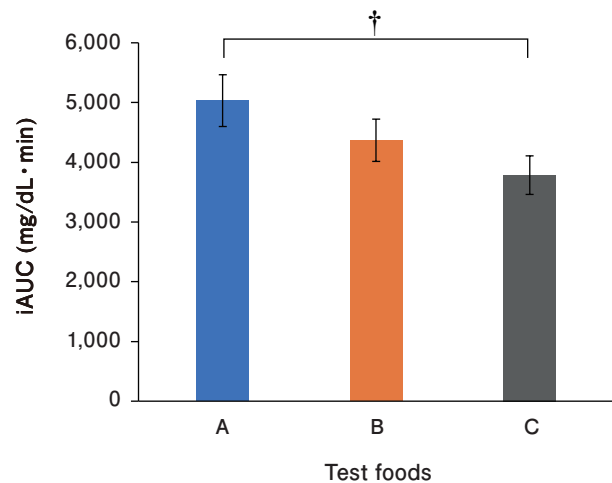
Results are expressed as mean ± standard error, n = 12, \* p < 0.05, † p < 0.1 by Bonferroni test. Test foods A, cooked rice; B, lemon juice (15 g) before cooked rice; C, lemon juice (30 g) before cooked rice.





**Fig. 2.** The amount of maximum blood glucose level change ( $\Delta C_{max}$ ) after intaking test food.

Results are expressed as mean  $\pm$  standard error,  $n = 12$ , \* $p < 0.05$  by Bonferroni test. Test foods **A**, cooked rice; **B**, lemon juice (15 g) before cooked rice; **C**, lemon juice (30 g) before cooked rice.



**Fig. 3.** The area under curve blood glucose level change (iAUC) after intaking test food.

Results are expressed as mean  $\pm$  standard error,  $n = 12$ , † $p < 0.1$  by Bonferroni test. Test foods **A**, cooked rice; **B**, lemon juice (15 g) before cooked rice; **C**, lemon juice (30 g) before cooked rice.

вали и верифицировали в следующих трех тестовых продуктах: Однократный прием вареного риса (**A**) в качестве стандарта и 15 г (**B**) или 30 г (**C**) лимонного сока перед употреблением риса.

Потребление тестируемой пищи **C** было ниже, чем потребление **A** в  $\Delta BG$  ( $p < 0,1$ ) через 30 мин и в  $\Delta BG$  ( $p < 0,05$ ),  $\Delta C_{max}$  ( $p < 0,05$ ) и iAUC ( $p < 0,1$ ) через 45 мин. Тестируемая пища **B** была ниже, чем у **A** в  $\Delta BG$  (15,4%),  $\Delta C_{max}$  (-5,5%) и iAUC (13,2%) через 60 мин, но это не было значимым.

Когда эффекты тестируемых продуктов **B** и **C** сравнивались с эффектами **A**, наблюдалось снижение  $\Delta BG$ ,  $\Delta C_{max}$  и iAUC в зависимости от приема лимонного сока. Поэтому ингибирующим действием на постпрандиальную гипергликемию считалось действие компонентов, содержащихся в лимонном соке.

Лимонный сок, используемый в тесте, содержал 6,3% лимонной кислоты. Количество лимонной кислоты в тестируемой пище, рассчитанное по потреблению, составило **B**: 0,95 г и **C**: 1,9 г (Table 3). Таким образом, было подсчитано, что эффективное количество лимонной кислоты для подавления постпрандиальной гипергликемии при приеме внутрь 200 г вареного риса составило 1,9 г.

Уже сообщалось, что употребление одного грейпфрута перед употреблением хлеба может подавить постпрандиальную гипергликемию<sup>8</sup>). Количество лимонной кислоты, содержащееся в одном грейпфруте (около 200 г), оценивается примерно в 2 г<sup>14</sup>), что было сопоставимо с 30 г лимонного сока (тестовая пища **C**) в данном исследовании. Помимо лимонной кислоты, лимон содержит различные органические кислоты, такие как аскорбиновая кислота, яблочная кислота, щавелевая кислота и уксусная кислота<sup>15</sup>). Уксус<sup>6</sup>) и простой йогурт<sup>9</sup>), как сообщается, подавляют постпрандиальную гипергликемию, когда проглатывается до приема углеводов. Уксусная

кислота, содержащаяся в уксусе, способствует замедленному опорожнению желудка<sup>16</sup>), ингибированию  $\alpha$ -глюкозидазы<sup>17</sup>) и улучшению метаболизма глюкозы<sup>18</sup>). Сообщалось, что ингибирующее действие простого йогурта на постпрандиальную гипергликемию связано с желатинизацией перевариваемых продуктов лактатом<sup>19</sup>), содержащимся в сыроватке, выработкой энергии митохондриями в мышечной ткани через монокарбоксилатный транспортер<sup>21</sup>), удлинением опорожнения желудка за счет подавления секреции гастрина за счет стимулированного высвобождения холецистокинина и секретина<sup>20</sup>), повышенной секрецией инкретина сыроваточным пептидом<sup>22</sup>). Органические кислоты, отличные от лимонной, также могут быть вовлечены в подавляющее действие лимонного сока на постпрандиальную гипергликемию. Одновременно сообщалось, что полифенолы, содержащиеся в плодах, обладают ингибирующим действием  $\alpha$ -глюкозидазы<sup>23</sup>), что было показано также в экстракте лимонной цедры<sup>24</sup>). В совокупности эти данные позволяют предположить, что подавляющее действие лимонного сока на постпрандиальную гипергликемию возможно связано с органическими кислотами, главным образом лимонной кислотой, и полифенолами, содержащимися в лимоне.

### Снижение гликативного стресса путем подавления постпрандиальной гипергликемии

Меры по снижению гликативного стресса включают подавление постпрандиальной гипергликемии, ингибирование выработки и накопления продуктов гликации и снижение потребления AGE-продуктов<sup>2, 3</sup>). Поскольку постпрандиальная гипергликемия приводит к избыточной секреции инсулина, повторная экстремальная гипергликемия участвует в индукции инсулинорезистентности<sup>25</sup>). Также сообщалось, что уровни промежуточных продуктов гликиро-

вания в крови, то есть 3-дезоксиглюкозона, глиоксаля и метилглиоксаля, повышаются в ответ на повышение уровня постприандиального ППГ<sup>26)</sup>. Метилглиоксаль в крови повреждает сосудистые эндотелиальные клетки<sup>27)</sup>. Таким образом, подавление постприандиальной гипергликемии может предотвратить повреждение тканей или органов, вторичное по отношению к микроангиопатии. С другой стороны, диетическая рекомендация по употреблению овощей, в первую очередь, перед употреблением основной пищи может продолжать подавлять постприандиальную гипергликемию, что связано со снижением уровня HbA1c и предотвращением осложнений у больных сахарным диабетом<sup>28)</sup>. Существует также метаанализ, согласно которому привычка есть фрукты снижает риск развития диабета 2 типа<sup>29)</sup>. Вместе с этими выводами диетическая привычка употреблять напиток или пищу, содержащую лимонный сок, перед едой может уменьшить гликативный стресс, подавляя постприандиальную гипергликемию, тем самым способствуя профилактике старения и возрастных заболеваний.

## Вывод

Исследование показало, что диета, при которой лимонный сок (30 г) выпивается до употребления риса, подавляет постприандиальную гипергликемию. Диетическая привычка употреблять напиток на основе лимонного сока перед едой может уменьшить гликативный стресс, подавляя постприандиальную гипергликемию, и может способствовать предотвращению старения и прогрессирования заболеваний.

## Заявление о конфликте интересов

Исследование получило поддержку от Pokka Sapporo Food & Beverage Ltd.

## Библиография

- 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: 13. Regulation of Glycative stress. 1. Postprandial blood glucose regulation. *Glycative Stress Res.* 2019; 6: 175-180.
- 3) Yagi M, Yonei Y. Glycative stress and anti-aging: 14. Regulation of Glycative stress. 2. Inhibition of the AGE production and accumulation. *Glycative Stress Res.* 2019; 6: 212-218.
- 4) Kanamoto I, Inoue Y, Moriuchi T, et al. Effect of differences in low glycemic index food intake sequence on plasma glucose profile. *J Japan Diab Soc.* 2010; 53: 96-101. (in Japanese)
- 5) Imai S, Matsuda M, Fujimoto S, et al. Crossover study of the effect of "Vegetables Before Carbohydrates" on reducing postprandial glucose and insulin in Japanese subjects with type 2 diabetes mellitus. *J Japan Diab Soc.* 2010; 53: 112-115. (in Japanese)
- 6) Endo M, Matsuoka T. The efficacy of vinegar on the suppression of postprandial glucose elevation. *J Japan Diab Soc.* 2011; 54: 192-199. (in Japanese)
- 7) 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.
- 8) Ogura M, Yagi M, Nomoto K, et al. Effect of grapefruit intake on postprandial plasma glucose. *Anti-Aging Med.* 2011; 8: 60-68.
- 9) Yagi M, Kishimura Y, Okuda F, et al. Effect of yogurt on postprandial blood glucose after steamed rice intake. *Glycative Stress Res.* 2018; 5: 68-74.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) Bailey T, Bode BW, Christiansen MP, et al. The performance and usability of a factory-calibrated flash glucose monitoring system. *Diabetes Technol Ther.* 2015; 17: 787-794.
- 13) Japanese Association of the Study for Glycemic Index. Unified protocol (unified procedure). (in Japanese) <http://www.gikenkyukai.com/protocol.html>
- 14) Kimura Y, Naeshiro M, Tominaga Y, et al. Metabolite composition of grapefruit (*Citrus paradisi*) grown in Japan depends on the growing environment and harvest period. *Hort J.* 2017; 86: 543-551.
- 15) Yamaki Y. Organic acids in the juice of citrus fruits. *J Japan Soc Hort Sci.* 1989; 58: 587-594. (in Japanese)
- 16) Liljeberg H, Björck I. Delayed gastric emptying rate may explain improved glycaemia in healthy subjects to a starchy meal with added vinegar. *Eur J Clin Nutr.* 1998; 52: 368-371.
- 17) Ogawa N, Satsu H, Watanabe H, et al. Acetic acid suppresses the increase in disaccharidase activity that occurs during culture of caco-2 cells. *J Nutr.* 2000; 130: 507-513.
- 18) White AM, Johnston CS. Vinegar ingestion at bedtime moderates waking glucose concentrations in adults with well-controlled type 2 diabetes. *Diabetes Care.* 2007; 30: 2814-2815.

- 19) 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.
- 20) Ebihara K. Effect of lactic acid on postprandial plasma-glucose and -insulin responses in rats administered glucose solution. *Nutrition Research*. 1996; 16: 1575-1585.
- 21) Kitaoka Y, Hoshino D, Hatta H, Monocarboxylate transporter and lactate metabolism. *J Phys Fitness Sports Med*. 2012; 1: 247-252.
- 22) Gunnerud U, Holst JJ, Östman E, et al. The glycaemic, insulinemic and plasma amino acid responses to equi-carbohydrate milk meals, a pilot-study of bovine and human milk. *Nutr J*. 2012; 11: 83.
- 23) Shen W, Xu Y, Lu YH. Inhibitory effects of Citrus flavonoids on starch digestion and antihyperglycemic effects in HepG2 cells. *J Agric Food Chem*. 2012; 60: 9609-9619.
- 24) Vasu P, Khan ND, Khan ZH, et al. *In vitro* antidiabetic activity of methanolic extract of *Citrus limon*, *Punica granatum*, *Musa acuminata* peel. *Int J Appl Res*. 2017; 3: 804-806.
- 25) Lutt WW. Postprandial insulin resistance as an early predictor of cardiovascular risk. *Ther Clin Risk Manag*. 2007; 3: 761-770.
- 26) Maessen DE, Hanssen NM, Scheijen JL, et al. Post-glucose load plasma  $\alpha$ -dicarbonyl concentrations are increased in individuals with impaired glucose metabolism and type 2 diabetes: The CODAM study. *Diabetes Care*. 2015; 38: 913-920.
- 27) Takahashi K, Tatsunami R, Tampo Y. Methylglyoxal-induced apoptosis of endothelial cells. *Yakugaku Zasshi*. 2008; 128: 1443-1448. (in Japanese)
- 28) 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.
- 29) Muraki I, Imamura F, Manson J, et al. Fruit consumption and risk of type 2 diabetes: results from three prospective longitudinal cohort studies. *BMJ*. 2013; 347: f5001.