

卵の食後血糖上昇抑制効果

——卵の形態および食べる順序の検討——

末田 香里*1) 伊藤 萌子*2) 島崎 春菜*3) 鈴木 千晶*4)
平田 麗菜*5) 八合 加奈*6) 酒井 映子*1)

【目的】半熟卵3個を、米飯摂食の15分前/同時/15分後に摂取した時の血糖上昇抑制効果を検討した。

【被検者】21~22歳の健常な本学女子学生9名、体格指数は $20.8 \pm 2.3 \text{ kg/m}^2$ (Mean \pm SD)であった。

【方法】基準食は米飯150gのみとした。卵を食べる順序の検討では、半熟卵3個を、米飯摂取の15分前、同時、15分後に摂取した。すなわち15分前食は米飯摂取の15分前に半熟卵3個を摂取した。同時食は米飯と半熟卵を同時に摂取し、15分後食は米飯摂取の15分後に半熟卵を摂取した。

血糖値を米飯摂取前(0)、15、30、45、60、90、120分後の計7回測定した。血糖上昇曲線下面積 (Glucose Area under the Curve: 以後血糖AUCと略)を算出した。

【結果】基準食の血糖値と比較して、半熟卵15分前食では、30分 ($p < 0.01$)、45分 ($p < 0.05$)で低くなった。半熟卵同時食では、30分 ($p < 0.05$)、45分 ($p < 0.01$)、60分 ($p < 0.01$)で低くなった。基準食AUCと比較して、半熟卵AUCは15分前食 ($p < 0.05$)、同時食 ($p < 0.001$)で低くなったが、一方半熟卵15分後食では差がなかった。

【結語】半熟卵3個食の血糖AUCは15分前食、同時食で米飯摂取による食後血糖上昇を抑制した。米飯摂取の15分前および同時に卵を負荷することにより、胃からの排泄を抑制したこと、インクレチン分泌の促進や糖依存性以外のインスリンの分泌が影響したと考えられる。

キーワード: postprandial blood glucose, rice, half-boiled egg, preload

目 的

厚生労働省から発表された平成24年11月実施の国民健康栄養調査の結果では、糖尿病が強く疑われる者(糖尿病有病者)は約950万人、糖尿病の可能性を否定できない者(糖尿病予備軍)は約1100万人であり合計2050万人という結果となっている。糖尿病予備軍は平成19年に比べ220万人減少したものの、糖尿病有病者は60万人増で過去最多となった¹⁾。

糖尿病はひとたび発症すると完治することはなく、血糖コントロールの不良状態が続くと長期にわたる合併症に悩まされる。したがって、早い段階で病気の進行を抑え、合併症の発症と進展を防止する必要がある。

その為には適切な食事と継続的な運動による血糖コントロールが求められる。食事においては空腹時血糖のみならず、食後の過度の血糖上昇を避ける必要がある。食後高血糖は、空腹時血糖よりも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²⁾。

Jenkins³⁾やFoster-Powell⁴⁾等は血糖コントロールのためにグリセミックインデックス(GI)という概念を提唱した。従来は、食品に含まれる糖質の量に比例して、血糖値は上がるものと考えられてきたが、Jenkins等は糖質量が同じでも食後の血糖上昇が異なることを見出した。基準食品摂取後の血糖上昇に対する各食品摂取後の血糖上昇を百分率で表したものを

*1) 愛知学院大学心身科学部健康栄養学科

*2) 社会福祉法人洗心福祉会

*3) 株式会社菓業のアオキ

(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

*4) 社会福祉法人天竜厚生会

*5) 医療法人宏和会あさひ病院

*6) 株式会社日清医療食品

GIとし、低GI食品は食後の血糖上昇を抑制するとされている。また、食後の血糖上昇は糖質の量だけではなく食品に含まれる糖質の種類や構造、食品を加工・調理する方法、食品の組み合わせによって糖質の消化吸収の効率は異なる。更に同時に摂取するたんぱく質や脂質、食物繊維の影響も受けると言われている^{5,6)}。

本研究では、我が国で増加傾向にある糖尿病の予防を、普段の食生活からの工夫で予防する事ができないかを検討した。日常の食生活で摂取される機会の多い食品である卵を用い卵の摂取によって食後の血糖上昇を抑制できないかを検討した。1. 米飯とともに摂取する卵の調理形態について、2. 半熟卵の食べる順序について検討した。

実験方法

1) 被験者

被験者は21~22歳の健常な本学女子学生9名、体

格指数は $20.8 \pm 2.3 \text{kg/m}^2$ (Mean \pm SD)であった。

2) 基準食・卵検査食

基準食と卵検査食の栄養成分を表1に示す。エネルギー密度(kcal/g)を計算するにあたってお茶の比重は1.0として計算した。基準食は米飯150gとし、米飯(包装米飯サトウのご飯:サトウ食品, 150g, 炭水化物50g), 飲み物はお茶200mlとした。卵検査食は米飯150gと卵2個を摂取したものを卵2個食, 米飯150gと卵3個を摂取したものを卵3個食とした。

卵の調理形態別の検討では、卵2個(生卵, 半熟卵, ゆで卵)+米飯(150g)+お茶を同時に摂取し、3種類をそれぞれ生卵2個食, 半熟卵2個食, ゆで卵2個食とした。また、卵3個の半熟3個食卵食, ゆで卵3個食についても検討した。卵の調理形態:半熟卵は沸騰したお湯で5分, 中火で茹でた後に流水で粗熱を除いた。ゆで卵は水に入れて加熱し沸騰させて10分茹でた後に流水で粗熱を除いた。味付けとして食卓塩もしくは卵かけご飯しょうゆ(タケサン株式会社)を用

表1. 基準食と卵検査食の栄養成分, エネルギー密度

	エネルギー kcal	タンパク質 g	脂質 g	炭水化物 g	重量 g	エネルギー 密度 kcal/g
基準食						
米飯150g	221	3.2	0	50	150	1.47
お茶	0	0	0	0	200	0
計	221	3.2	0	50	350	0.63
卵2個食						
米飯150g+お茶	221	3.2	0	50	350	0.63
卵2個	152	12.3	10.3	0.3	100	1.52
計	372	15.5	10.3	50.3	450	0.83
卵3個食						
米飯150g+お茶	221	3.2	0	50	274.2	0.63
卵3個	227	18.5	15.5	0.6	150	1.51
計	448	21.7	15.5	50.6	500	0.90

表2. 血糖測定, 卵負荷および米飯摂取スケジュール

米飯摂取後(分)	-15	0	15	30	45	60	90	120
血糖測定・採血	↓*	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
基準食		□						
15分前たまご食	●	□						
同時たまご食		□●						
15分後たまご食		□	●					

●たまご負荷, □米飯摂取を示す。血糖測定・採血後に、たまご・米飯を摂取した。

↓*は15分前たまご食のみの血糖測定とした。

いた。

卵を食べる順序の検討では、基準食+半熟卵3個を卵の摂取時間により15分前食、同時食、15分後食とした。すなわち15分前食は米飯摂取の15分前に半熟卵3個を摂取した、同時食は米飯と半熟卵を同時に摂取し、15分後食は米飯摂取の15分後に半熟卵を摂取した(表2)。

米飯は「包装米飯サトウのごはん大盛り」(サトウ食品工業株式会社)の同一ロットを使用した。お茶は「サントリー緑茶 伊右衛門」(サントリーフーズ株式会社)を使用した。

3) 実験実施法

基準食負荷試験は最低2回実施し⁷⁾、卵を食べる順序の検討では、1週間の間隔で無作為化比較試験方式で行なった。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。午前9時に実験を開始した。米飯の摂取は10分以内に完了し、実験終了までの所要時間は約2時間半であった。その間被験者は、椅子に座って、読書・勉強をして過ごした。生理周期については考慮しなかった。

4) 血糖値の測定・血糖上昇曲線下面積の算出

血糖値の測定は自己血糖測定器(SMBG)グルテストNeoエース(三和化学研究所)を用いて被験者自身で測定した。血糖値を、基準食と15分後食、同時食では米飯摂取前(0)、15、30、45、60、90、120分後の計7回測定、15分前食では米飯摂取の15分前(-15)を加えた計8回測定した。

血糖上昇曲線下面積(Glucose Area under the Curve: 以後AUCと略)は、不等辺四角形の原理で、算出した⁷⁾。血糖AUC120分は-15分から米飯摂取後120分までの135分間の血糖AUCを算出した。食べる順序の検討では基準食、同時食、15分後食では、-15分の血糖は測定していないので、米飯摂取-15分の値=0分の値として計算した。

5) 統計処理

統計分析にはSPSS(version 18 for Windows)統計ソフトを用いた。血糖値の比較は基準食と検査食の血糖値をpaired t-testで検定した。血糖AUCの比較にはANOVA(一元配置分散分析法)を用い、その後Scheffeによる多重比較を行った。P<0.05を有意差ありとした。数値はMean±SDで示した。

6) 倫理委員会の承諾

本研究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」の承認を得て行なった。被験

者は口頭ならびに文書で研究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。

結 果

1. 卵の調理形態についての検討

基準食と卵2個食:基準食ならびに3つの卵2個食の血糖値は、ともに食後45分後にピークを示し、その後緩やかに低くなった。基準食の血糖値と比較して、生卵2個食の血糖値は米飯摂取後30分、45分、60分、90分(いずれもp<0.05)で低くなり、食後血糖上昇が抑制された。

基準食血糖AUCと比較して、卵2個食血糖AUCはいずれも小さい傾向があったが、4群間で有意差はなかった。

基準食と卵3個食:基準食とゆで卵3個食の血糖値は食後45分にピークを示し、半熟卵3個食の血糖値は食後60分にピークを示した。基準食と比較して、半熟卵3個食の血糖値は食後30分、45分、60分(共にp<0.001)、90分(p<0.01)でも低値であった。また基準食の血糖値と比較して、ゆで卵3個食の血糖値は、

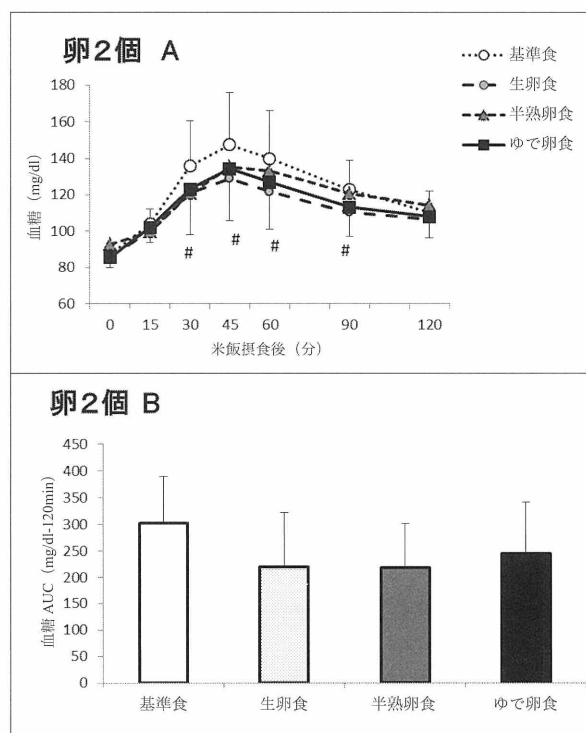


図1. 基準食と卵2個食(生卵, 半熟卵, ゆで卵)の食後血糖ならびに血糖AUC

Aに食後血糖を、Bに血糖AUCを示す。Mean±SD(n=9), A#: p<0.05(生卵2個食 vs. 基準食)

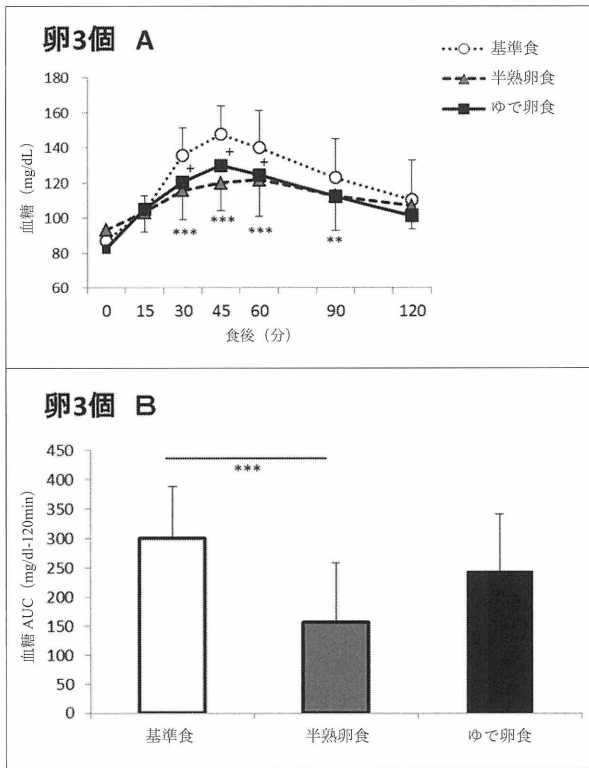


図2. 基準食と卵3個食(半熟卵, ゆで卵)の食後血糖ならびに血糖AUC

Aに食後血糖を, Bに血糖AUCを示す. Mean±SD (n=9), A **: p<0.01, ***: p<0.001 (半熟卵3個食 vs. 基準食), +: p<0.05 (ゆで卵3個食 vs. 基準食), B ***: p<0.001 (ANOVA, その後 Scheffe による多重比較)

30分, 45分, 60分で低くなった(いずれも p<0.05). 半熟卵3個, ゆで卵3個はいずれも, 食後30~60分にわたって, 血糖上昇を抑制した.

基準食血糖AUCと比較して, 半熟卵3個食血糖AUCは有意に低値であった(p<0.001)が, ゆで卵3個食血糖AUCでは有意差はなかった. また, 半熟卵3個食血糖AUCとゆで卵3個食血糖AUCの間に差がなかった.

半熟卵2個食の血糖AUCと比較して, 半熟卵3個食の血糖AUCは有意に低値であった(p<0.05).

2. 半熟卵3個を食べる順序の検討

食後血糖上昇を抑制効果のみられた半熟卵3個の食べる順序を検討した.

基準食, 15分前食, 同時食, 15分後食の血糖値はともに45分後にピークを示した. 15分前食では, 30分(p<0.01), 45分(p<0.05)で低値であった. 同時

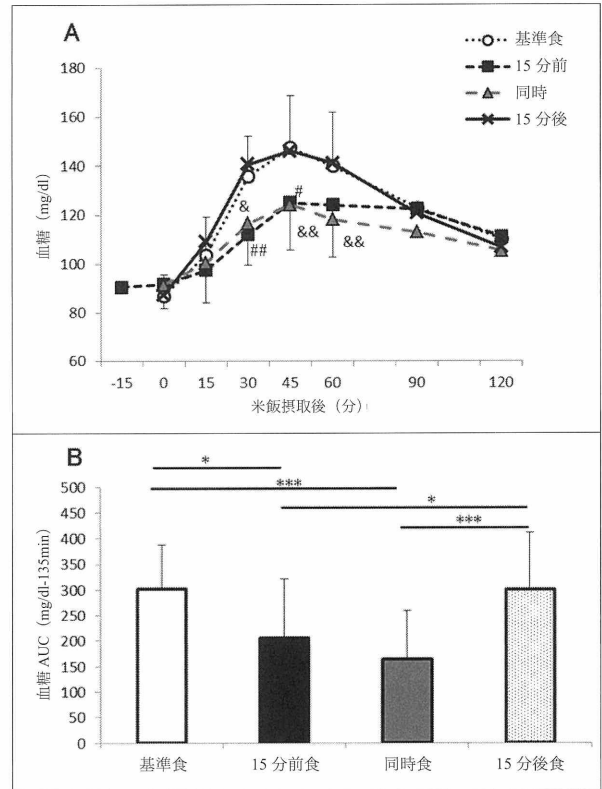


図3. 基準食と半熟卵3個食(15分前食, 同時食, 15分後食)の食後血糖ならびに血糖AUC

Aに食後血糖を, Bに血糖AUCを示す. Mean±SD (n=9), A #: p<0.05 (15分前食 vs. 基準食), ##: p<0.05 (15分前食 vs. 基準食), &: p<0.05 (同時食 vs. 基準食), &&: p<0.01 (同時食 vs. 基準食), B *: p<0.05, ***: p<0.001 (ANOVA, その後 Scheffe による多重比較)

食では, 30分(p<0.05), 45分(p<0.01), 60分(p<0.01)で低値であった. 15分前食は, 米飯摂取後30~45分, 同時食では米飯摂取後30~60分で米飯摂取による食後血糖上昇を抑制した. 基準食の血糖値と比較して, 15分後食では差がなかった.

基準食血糖AUCと比較して, 半熟卵3個食血糖AUCは15分前食(p<0.05), 同時食(p<0.001)で低くなった. 一方半熟卵3個食血糖AUCは, 15分後食と比較して, 15分前食(p<0.05), 同時食(p<0.001)で低値であった. 半熟卵3個を米飯摂取の15分前食あるいは同時にたべることによって, 米飯摂取による食後血糖上昇を抑制した.

考 察

1. 米飯とともに摂取する卵の調理形態について

生卵2個食, 半熟卵3個食, ゆで卵3個食は, 基準

食と比較して、食後血糖上昇を抑制した。3個食の半熟卵食血糖 AUC は基準食血糖 AUC と比較して低値であった。半熟卵 2 個食の血糖 AUC と比較して、半熟卵 3 個食の血糖 AUC は有意に低値であった ($p < 0.05$)。

食後血糖上昇が抑制された理由として、1) 卵中の脂質・たんぱく質の含有量が関与している (表 1)。脂質、たんぱく質の摂取は、血糖コントロール作用を持つインスリンの分泌を促進する消化管ホルモンであるインクレチン (Glucagon-like peptide (GLP-1 と略)、Glucose-dependent insulintropic polypeptide (GIP と略) 等) の分泌を促進させると言われている^{8,9)}。GLP-1 には、①インスリン分泌促進作用、②グルカゴン分泌抑制作用、③胃腸管での胃酸や膵液の分泌抑制による運動の抑制、④食欲と摂食の抑制効果があるとされている^{10,11)}。半熟卵の摂取で GLP-1 の分泌が促進され、血糖上昇を抑制するインスリン分泌が増加、血糖上昇を促進させるグルカゴン分泌を抑制された事で、血糖上昇抑制効果が認められたと考えられる。2) また消化管での運動を抑制し、胃からの食物排泄と小腸での吸収を遅らせた事で急激な血糖上昇が抑制されたと考えられる。胃排泄能は通常 2-3kcal/min と比較的定常に調節されているが、エネルギー密度が高くなると胃排泄能が低下し、吸収が緩徐になる¹²⁻¹⁴⁾。表 1 に示すように、エネルギー密度は、基準食 0.63kcal/g に対して、卵 2 個食は 0.83kcal/g、卵 3 個食は 0.90kcal/g と高く、胃排泄能が低下し、糖の吸収が抑制された可能性がある。

卵の調理形態として、生、半熟およびゆで卵を比較した。卵食品は加熱により成分や構造が変化し、たんぱく質は変性して高次構造が変化する、その結果、加熱する前よりも消化吸収をしやすくなる¹⁵⁾、とされている。今回、生卵 2 個食で食後血糖値は、基準食と比較して低値であったが、基準食および生卵・半熟卵・ゆで卵 2 個食の血糖 AUC は 4 群間で差はなかった。なお生卵 3 個食の実験は行わなかった。愛知県では卵の衛生的な取り扱いのため、高齢者や乳幼児、妊娠中の女性、免疫機能が低下している人は生卵を避けて、十分加熱した卵料理を提供するよう呼びかけている¹⁶⁾。

2. 半熟卵の食べる順序について

卵 3 個を、ご飯の 15 分前もしくは同時摂取にすることで食後の血糖上昇抑制効果が認められた (図 3)。15 分後食では血糖値、血糖 AUC とともに、血糖上昇抑制効果は認められなかった。

血糖上昇抑制効果の機序として上記に述べた如く、半熟卵 3 個の負荷により、1) 胃排泄速度 (能) の低下、2) 消化管ホルモンの分泌等が考えられる。

エネルギー密度は、基準食 0.63kcal/g に対して、卵 3 個食は 0.90kcal/g と高く、また米飯摂取 15 分前および 15 分後に卵 3 個を単独で摂取する場合、卵のエネルギー密度は 1.51kcal/g と高い (表 1)。さらに半熟卵で半固体であるので、胃排泄能が低下し、糖の吸収が抑制された可能性がある。特に 15 分後半熟卵食では、米飯後に負荷した卵の胃排泄が遅延し、脂質とたんぱく質の摂取によるインクレチンの分泌が 15 分前食、同時食に比べて少なく、インスリンの分泌に影響した事も考えられる。

その他の消化管ホルモンに関しては、Ratliff¹⁷⁾ は朝食に卵食 (卵 3 個と白パン) とベーグル食 (ベーグルと低脂肪クリームチーズと低脂肪ヨーグルト) を比較して、ベーグル食に比して、卵食では食後血糖値、インスリンおよびグレリン値が低値になること、レプチン、GLP-1、および PYY は空腹時、食後 30 分、180 分で両群間で有意差がないことを報告している。

要 約

1. 卵の調理形態による血糖上昇抑制効果:

- 1) 卵 2 個食: 生卵, 半熟卵, ゆで卵を検討した。基準食と比較して、生卵食では米飯摂取後 30, 45, 60, 90 分で血糖値は低値であった。一方、血糖 AUC は、基準食と 3 つの卵食の間に有意差はなかった。
- 2) 卵 3 個食: 半熟卵, ゆで卵を検討した。基準食 AUC と比較して、半熟卵血糖 AUC は低値であり、米飯摂取後の食後血糖上昇に対する抑制効果が認められた。一方、半熟卵食 AUC, ゆで卵食 AUC の間に差はなかった。

以上、生卵, 半熟卵, ゆで卵の調理形態による食後血糖上昇抑制効果に有意差はなかった。

2. 半熟卵 3 個を食べる順序の検討:

基準食と比較し、15 分前卵食と同時卵食では食後血糖上昇が抑制され、血糖 AUC が有意に低値であった。一方 15 分後卵食では血糖上昇抑制効果はなかった。食後血糖上昇の機構としては、卵を負荷することにより、胃からの排泄を抑制したこと、インクレチン分泌の促進や糖依存性以外のインスリンの分泌が影響したと推察された。

文 献

- 1) 厚生労働省：平成24年国民健康・栄養調査, <http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-10904750-Kenkoukyoku-Gantaisakukenkouzhoushinka/0000032813.pdf>
- 2) Glucose tolerance and mortality: comparison of WHO and American Diabetes Association diagnostic criteria. The DECODE study group. European Diabetes Epidemiology Group. Diabetes Epidemiology: Collaborative analysis of Diagnostic criteria in Europe. *Lancet* **354**: 617–621, 1999.
- 3) Jenkins DJ, Wolever TM Taylor RH, et al. Glycemic index of food. A physiological basis for carbohydrate exchange, *Am J Clin Nutr* **34**: 362–366, 1981.
- 4) Foster-Powell K, Miller JB. International tables of glycemic index. *Am J Clin Nutr* **62**(4): 871S–890S, 1995.
- 5) Riccardi G, Rivellese AA, Giacco R. Role of glycemic index and glycemic load in the healthy state, in prediabetes, and indiatetes. *Am J Clin Nutri* **87**: 269–274, 2008.
- 6) Wolever TM. The glycemic index. *World Rev Nutr Diet* **62**: 120–185, 1990.
- 7) 杉山みちこ：グリセミックインデックスとは（栄養緑書 —これでいいのか日本の栄養問題(細谷憲政監修)）日本医療企画, 東京, 2004, pp. 71–85.
- 8) Elliott RM, Morgan LM, Tredger JA, et al. Glucagon-like peptide-1 (7–36) amide and glucose-dependent insulinotropic polypeptide secretion in response to nutrient ingestion in man. acute post-prandial and 24-h secretion patterns. *J Endocrinol* **138** : 159–166, 1993.
- 9) Deacon CF. What do we know about the secretion and degradation of incretin hormones? *Regul Pep* **128**: 117–124, 2005.
- 10) Nauck MA, Niederechiholz U, Ettl R, et al.: Glucagon-like peptide 1 inhibition of gastric emptying out weight its insulinotropic effects in healthy humans. *Am J Physiol* **273**: E981–E988, 1997.
- 11) Delgado-Across S, Kim DY, Burton DD, et al.: Effect of GLP-1 on gastric volume, emptying, maximum volume ingested, and postprandial symptoms in humans. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* **282**: G424–G431, 2002.
- 12) Brener W, Hendric TR, Mc Hugh PR. Regulation of the gastric emptying of glucose. *Gastroenterology* **85**: 76–82, 1983.
- 13) Horowitz M, Dent J, Fraser R, Sun W, Hebbard G. Role and integration of mechanisms controlling gastric emptying. *Dig Dis Sci* **39**(suppl): 7s–13s, 1994.
- 14) Karamanslis A, Chaikomin R, Doran S, Bellon M, et al.: Effects of protein on glycemic and incretin responses and gastric emptying after oral glucose in healthy subjects. *Am J Clin Nutr* **86**: 1364–1368, 2007.
- 15) Evenepoel P, Claus D, Geypens B, Hiele M, Geboes K, Rutgeerts P, Ghoo Y. Amount and fate of egg protein escaping assimilation in the small intestine of humans, *Am J Physiol* **277**, 935–943, 1999.
- 16) 愛知県公式 web サイト：卵の衛生管理について, <http://www.pref.aichi.jp/0000008894.html>
- 17) Ratliff J, Leite JO, de Ogburn R, Puglisi MJ, VanHeest J and Fernandez ML. Consuming eggs for breakfast influences plasma glucose and ghrelin, while reducing energy intake during the next 24 hours in adult men. *Nutrition Research* **30**: 96–103, 2010.

(最終版平成27年9月30日受理)

Effect of Pre/Co/Post Rice Consumption of 3 Half-boiled Eggs on Postprandial Glycemia in Healthy Students

Kaori SUEDA, Moeko ITOU, Haruna SHIMAZAKI, Chiaki SUZUKI,
Rena HIRATA, Kana YAGOU and Eiko SAKAI

Abstract

Objective: The present study aimed to compare the effect of half-boiled eggs, when consumed before /while/ after eating rice, on postprandial blood glucose in healthy students.

Subjects: A total of 9 females, non-diseased subjects, aged 21~22 y and BMI 20.8 ± 2.3 (mean \pm SD) kg/m² were included.

Methods: Nine subjects were served the total 50g carbohydrate of the white rice alone, or together with 3 half-boiled eggs. In experiment1 (reference meal), white rice (carbohydrate 50g) was provided. In experiment 2 (test meals), three half boiled-eggs with white rice (total carbohydrate 50g) were provided. Three studies were conducted, 1) 15min before 2) with and 3) 15min after a white rice consumption, three half-boiled eggs were provided to the subjects. This was a randomized, cross-over design study where subjects consumed test meals on separate occasions, followed by the measuring blood glucose (fasting, 15, 30, 60, 45, 60, 90 and 120 min). The area under the curves for glucose (GAUC) were calculated. Comparisons of blood glucose, GAUC among meals were analyzed based on ANOVA.

Results: Compared with the rice only, the blood glucose of three half-boiled eggs before 15min / with a rice had significantly low, at 30min ($p<0.01$ / $p<0.05$, respectively), 45min ($p<0.05$ / $P<0.01$) and 60min (ns/ $p<0.01$). Three half-boiled eggs before 15min / with a rice had significantly lowered the GAUC values ($p<0.001$, $P<0.05$, respectively vs. with rice only). There are no differences of GAUC between the half boiled eggs after a rice and the white rice only.

Conclusions: The loading of half-boiled eggs, 15min before and with a rice, lowers postprandial blood glucose concentrations, probably by slowing gastric emptying and stimulating incretin hormone and non glucose-dependent insulin release.

Keywords: postprandial blood glucose, rice, half-boiled egg, preload

