

女子大学生における米飯の食後血糖に及ぼす 牛乳中たんぱく質・脂質の血糖上昇抑制効果

末 田 香 里* 奥 田 みゆき*

【目的】食後高血糖・糖尿病予防の観点より、牛乳・乳製品の食後血糖上昇抑制効果を検討した。食後血糖上昇を抑制する効果は、1) 牛乳の量を増やすことによる用量依存性の効果があるのか、2) 牛乳中のたんぱく質・脂質のいずれがより強力に作用しているのかを検討した。

【方法】被験者は女子学生10名(22±1歳)であった。基準食として米飯(サトウ食品147g, 糖質50g)を用いた。検査食は米飯とともに普通牛乳100ml・200ml・400ml, 低脂肪牛乳・無脂肪牛乳各200ml, チーズ40g およびヨーグルト180gを食し、糖質が50gになるように米飯の量を調節した。血糖は自己血糖測定器グルテストエース(三和科学研究所)を用い、被験者自身が負荷前、糖負荷後15, 30, 45, 60, 90, 120分後の計7回測定した。基準食ならびに検査食の血糖上昇曲線下面積(GAUC)ならびに基準食と比較した血糖上昇曲線下面積比(GAUC%)を算出した。基準食と検査食の血糖値の比較、血糖上昇曲線下面積の比較はpaired t-testを行なった。

【結果】1. 血糖上昇のピーク: 基準食の血糖値のピークは60分であるのに対して、検査食のピーク値は45分となり、ピークが前方へ移行した。2. 牛乳の用量依存性: 普通牛乳200・400mlの検査食では、基準食と比較して、GAUC%は有意に低下した。牛乳100mlの検査食と比較して400mlの検査食のGAUC%は有意に低かった。3. 乳製品の脂肪含有量: たんぱく質、糖質量が同じで脂質量が異なる牛乳、低牛乳、無脂肪乳の検査食では、基準食と比較して、GAUC%は有意に低下した。普通牛乳・低脂肪乳・無脂肪乳の検査食のAUCは、3群間で差はなかった。バター20g食GAUC%は基準食と差はなかった。

【結語】牛乳の食後血糖上昇抑制効果は、1) 用量依存性があり、2) 牛乳中のたんぱく質含有量のほうが、脂肪含有量より大きいと推測された。乳製品を米飯と摂食すると食後血糖上昇ピークが前方に移行し、インクレチンを介したインスリン分泌が関与すると推察された。

キーワード: 食後血糖, 米飯, 牛乳, インスリン, インクレチン, グリセミック・インデックス

I. はじめに

わが国の糖尿病の患者数は増加傾向にあり、平成19年の厚生労働省の国民健康・栄養調査結果によると推定患者数(糖尿病が強く疑われる人)は約890万人であり、その予備群(糖尿病の可能性が否定できない人)は約1320万人存在する。60歳以上で糖尿病推定患者数は67%に達する。食後高血糖は2型糖尿病に先んじて生じ、糖尿病では食後高血糖がごく一般的にみられる。また、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⁷⁾。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)である^{1,2)}。欧米では主食を変えることによりGIを低下させる方法がとられてきたが、米飯と日本人との特殊性を考慮して、Sugiyama等³⁾は米飯と日常の食事を組み合わせて摂取できる食品におけるGIを算出し、32の食事のGI一覧表を作成した。

*愛知学院大学心身科学部健康栄養学科
(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

前報「日常の食事におけるグリセミック・インデックスの検討」において⁴⁾、米飯（糖質50g）を基準食として、米飯と共に食物繊維、酢、バター、大豆製品、乳製品を日常的に摂取する分量をプラスした検査食を摂食した。その結果、大豆製品中豆腐、および乳製品を米飯と同時に摂取した場合、米飯のみの場合と比較して、血糖上昇に対する抑制効果が認められた⁴⁾。食後血糖上昇抑制効果のあった牛乳・乳製品および大豆製品の栄養成分を比較したところ、タンパク質、脂質含有量がある一定以上含まれていることが必要と推察された。

糖質単独の場合と比較して、脂質やたんぱく質を同時に摂取すると、食後の血糖上昇が抑制される。脂質とたんぱく質の血糖低下作用に機序の詳細はよくわかっていないが、1) 胃腸の通過遅延、2) 消化管ホルモン（インクレチン）分泌によるインスリン分泌促進などが、推測される⁵⁾。

今回は食後血糖上昇抑制効果のあった牛乳・乳製品をとりあげ、牛乳・乳製品と米飯の糖質量合計が50gになるように糖質量を一定にし、摂食後120分の血糖値を測定した。牛乳・乳製品の血糖上昇抑制作用に容量依存性があるのか、牛乳中のたんぱく質、脂質のいずれがより強力に血糖上抑制に作用するのか、どのようなメカニズムによって血糖上昇を抑制しているのかを検討した。

II. 方法

1. 被験者

女子大学生10名を被験者とした、年齢は21-22歳、体格指数（BMI）は $20.1 \pm 2.4 \text{kg/m}^2$ であった。被験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。本実験は愛知学院大学心身科学部の「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。

2. 実験計画

被験者は1) 実験前日に過激な運動・夜更かし・暴飲暴食を避ける、2) 実験前日の夕食後から10時間以上の絶食を遵守した。実験当日午前10時台に開始し、基準食あるいは検査食の摂食は10分以内に完了し、飲み物250mlは水またはお茶とした。

血糖値の測定、血糖上昇曲線下面積（GAUC）の算出：1) 血糖値の測定は自己血糖測定器グルテストエース（三和科学研究所）を用いて、基準食および検査食を摂食前、摂食後15、30、45、60、90、120分後の計7回測定した³⁾。2) 血糖上昇曲線下面積（GAUC）を算出した³⁾。血糖指数（GI：Glycaemic Index）は糖質を主体とする食品に使用される言葉なので、今回の検査食については血糖上昇曲線下面積（GAUC：glucose area under the curve）とした。基準食のGAUCを100とし血糖上昇曲線下面積比（GAUC%）=（検査食のGAUC/基準食のGAUC）×100を算出した。

3. 基準食・検査食

基準食は、米飯（糖質50g）とした、検査食は米飯とともに普通牛乳、低脂肪牛乳、無脂肪牛乳、チーズ、ヨーグルトを食し、検査食では糖質が50gになるように米飯量を調節した。米飯はサトウ食品「包装米飯サトウのごはん」とし、栄養成分表示がある同一ロットを用いた。牛乳・乳製品は小岩井の製品を使用した。

4. 計算方法および統計処理

分析には、Excel 統計ソフトを用いた。値は平均 ±

表1 基準食・検査食品の栄養成分

食品	エネルギー kcal	蛋白質 g	脂質 g	炭水化物 g	ナトリウム mg	カルシウム mg
基準食						
米飯（サトウのごはん）150g	217	3.0	0.6	50	0	1
牛乳量						
牛乳100ml+米飯135g	266	6.1	4.6	50	42	115
牛乳200ml+米飯120g	316	9.2	8.7	50	82	229
牛乳400ml+米飯90g	414	15.4	16.7	50	164	449
チーズ40g+米飯150g	358	10.4	12.6	50	448	217
ヨーグルト180g+米飯96g	285	8.2	5.5	50	58	166
脂肪量						
牛乳200ml+米飯120g	316	9.2	8.7	50	82	229
低脂肪牛乳200ml+米飯120g	272	9.2	3.5	50	80	215
無脂肪牛乳200ml+米飯120g	238	9.4	0.5	50	82	234
バター20g+米飯150g	363	3.2	16.8	50	110	1

標準偏差で表した。各時点での基準食と検査食の血糖値の比較は paired t-test を行い、 $p < 0.05$ を有意差ありとした。

III. 結果

1. 牛乳の用量依存的血糖上昇抑制効果

普通牛乳100, 200および400mlを米飯と同時に摂食し、基準食の血糖上昇曲線と比較した(図1)。糖質はいずれも同じ50gであるが、基準食と比較して、牛乳100ml, 200mlを米飯と摂取したときは食後90分の血糖値が基準食より有意に低かった。また400mlを同時摂取した場合には15, 45, 60, 90, 120分において低値を示した。基準食の血糖値のピークは60分であるのに対して、普通牛乳を同時摂取した検査食のピーク値はいずれもピーク値が45分となり、ピークが前方へ移行した。

血糖上昇曲線下面積(GAUC: Glucose Area Under Curve)は、基準食と比較して、普通牛乳100, 200および400mlのいずれの検査食でも小さかった(図2)。牛乳の量が多くなるに従って、GAUC(平均値)は低くなり、牛乳100mlの検査食と比較して400mlの検査食の方がGAUCは有意に低かった。

牛乳を多く飲むほど、血糖上昇を抑制する効果が大きかった。即ち牛乳中のたんぱく質・脂質が多いほうが血糖上昇抑制力が大きいと推察された。

2. 牛乳中の脂肪含有量(乳製品の脂肪含有量の比較)

牛乳中の脂肪含有量に着目し、糖質・たんぱく質含有量がほぼ同じの普通牛乳200ml(前述)、低脂肪乳200ml、無脂肪乳200mlおよびバター20gの検査食と、基準食と比較した(図3)。基準食と比較して、低脂肪乳および無脂肪乳を同時摂取した場合は糖負荷後90分に血糖値は低く、無脂肪乳では120分後にも低かった。バター検査食の血糖値は、糖負荷後45, 60分で基準食より低くそれ以降血糖値が下がることなく、他の牛乳・乳製品とは異なる血糖上昇曲線を示した。

低脂肪乳・無脂肪乳検査食のGAUC%は基準食よりも小さかった(表2)。脂質含有量が異なる普通乳、低脂肪乳、無脂肪乳のGAUC%は3群間に差はなかった。バター検査食のGAUC%は基準食と差がなかった。

脂質含有量より、乳中のたんぱく質含有量が血糖上昇抑制に作用していると推察された。

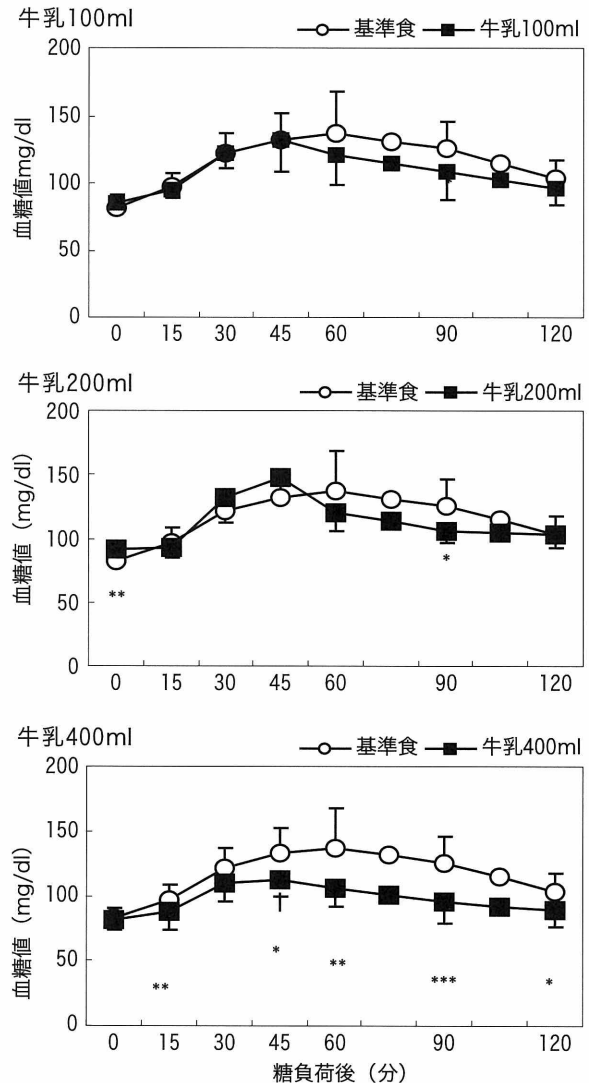


図1 牛乳量の食後血糖上昇に及ぼす効果

上段：牛乳100ml+米飯、中段：牛乳200ml+米飯、下段：牛乳400ml+米飯に、食後血糖を平均±SD(n=10)で示した。経過時間ごとに基準食と検査食の血糖値を比較した、paired t-test; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

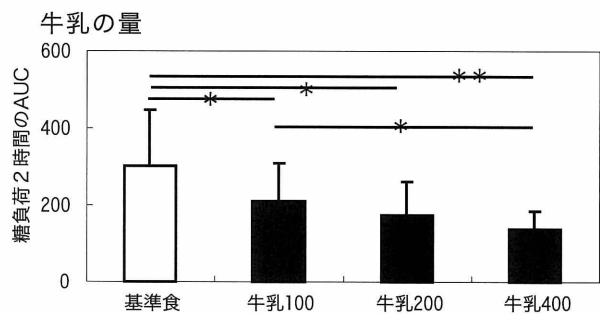


図2 牛乳の用量依存的血糖上昇抑制効果

牛乳100ml, 200mlおよび400ml摂食後2時間の血糖上昇曲線下面積(GAUC)を平均±SD(n=10)で示した。基準食vs検査食のGAUCを比較した、paired t-test; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ 。

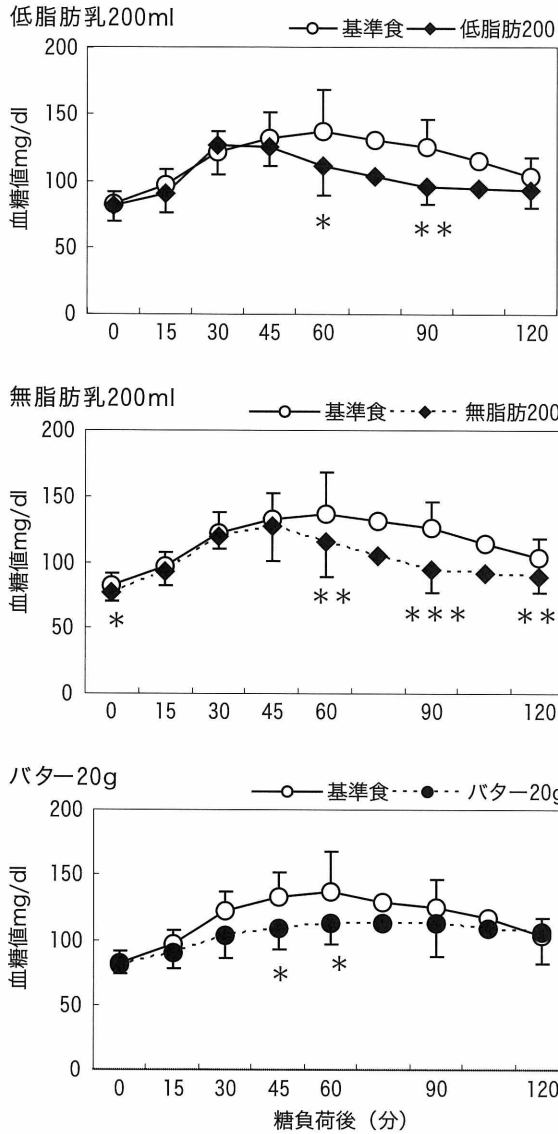


図3 牛乳の脂肪含有量が食後血糖上昇に及ぼす効果

上段：低脂肪乳+米飯、下段：牛乳200ml+米飯、に、食後血糖を平均±SD (n=10) で示した。経過時間ごとに基準食と検査食の血糖値を比較した、paired t-test; *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

3. 乳製品の血糖上昇抑制効果：

チーズ40g, ヨーグルト180gを米飯と同時に摂取した検査食の血糖上昇曲線は、牛乳摂取時と同じパターンをしめした。ピーク値はいずれもピーク値が45分となり、ピークが前方へ移行した。(図4)

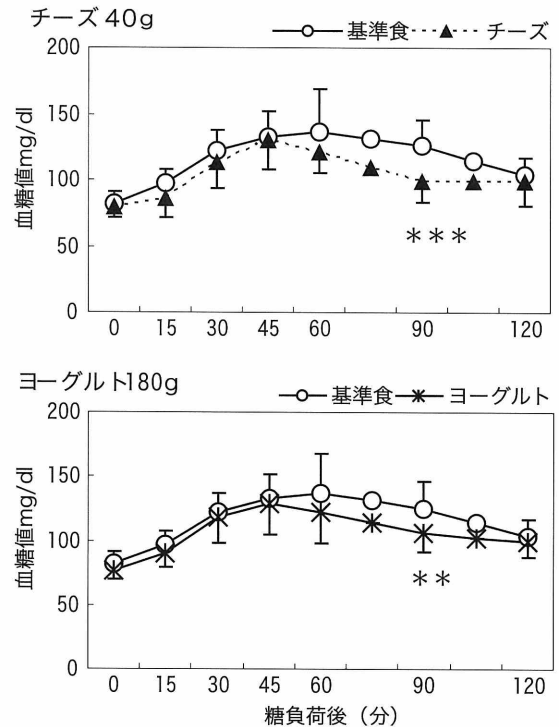


図4 チーズ・ヨーグルトの食後血糖上昇に及ぼす効果

上段：チーズ40g+米飯、下段：ヨーグルト180g+米飯の検査食の食後血糖を平均±SD (n=10) で示した。経過時間ごとに基準食と検査食の血糖値を比較した、paired t-test; **p<0.01, ***p<0.001

4. 牛乳・乳製品の米飯に対する血糖上昇曲線下面積比 (GAUC%)

表2に基準食に対する検査食のGAUC%を示した。基準食を100%としたとき、牛乳を摂取したときはい

表2 米飯に対する血糖上昇曲線下面積比 (GAUC%)

食品	血糖 GAUC% 平均±SD(%)	Pa	Pb	Pc	Pd	Pe
基準食 米飯 150g	100	●				
牛乳量						
牛乳100ml+米飯135g	74±22	*	●			
牛乳200ml+米飯120g	64±24	**		●		
牛乳400ml+米飯90g	56±31	*	+		●	
チーズ40g+米飯150g	77±20	*				
ヨーグルト180g+米飯96g	95±36		+	#	&&	●
脂肪量						
牛乳200ml+米飯120g	64±24	**				
低脂肪牛乳200ml+米飯120g	69±26	*				\$
無脂肪牛乳200ml+米飯120g	71±17	**				
バター20g+米飯150g	79±31					&

Pa (vs. 基準食): paired t-test, *p<0.005, **p<0.001

Pb (vs. 牛乳100ml+米飯): paired t-test: + p<0.05

Pc (vs. 牛乳200ml+米飯): paired t-test: # p<0.05

Pd (vs. 牛乳400ml+米飯): paired t-test: & p<0.05, && p<0.01

Pe (vs. ヨーグルト180g+米飯): paired t-test: \$p<0.05

いずれも血糖上昇の GAUC% が小さく血糖上昇抑制効果が認められた、チーズ 40g も血糖上昇抑制効果が認められたが、一方ヨーグルト 180g を米飯と一緒に食べた場合の GAUC% は、基準食のそれと差がなかった。

糖質・タンパク質含有量が同じで、脂肪量が異なる牛乳食、低脂肪乳食、無脂肪乳食ともに基準食よりも GAUC% の値は低く、食後血糖上昇抑制効果があった。一方脂質含有量が異なる 3 食品の GAUC% に差はなかった。バター 20g の GAUC% は基準食と差はなかった、すなわち食後血糖上昇抑制効果は認められなかった。

IV. 考 察

前報では米飯 150g (糖 50g) を基準食とし、基準食に日常摂取する食品をプラスした検査食の血糖上昇抑制効果を測定した。本実験では、糖負荷によるインスリン分泌量を考慮し、糖負荷量をいずれの検査食においても 50g と一定にした、その結果 1) 牛乳は用量依存的に食後血糖上昇を抑制した、2) 糖・たんぱく質量が同量の普通牛乳、低脂肪乳および無脂肪乳食では、脂質の多少に関わらず、食後血糖上昇を抑制する効果が認められた、またこの 3 群間の血糖上昇抑制効果に差はなかった、3) バター 20g 食では食後高血糖抑制効果は認められなかった。以上脂質含有量より、乳中のたんぱく含有量がより血糖上昇抑制効果があると推察された。

1. 牛乳の用量依存的な食後血糖上昇抑制作用

糖質を一定量 (50g) にした今回の実験においては、普通牛乳の 100, 200, 400ml の GAUC はともに基準食 GAUC よりも小さく、また牛乳 100ml と 400ml 検査食の間には有意差が認められた。牛乳量を増やすことによる用量依存効果はあると考えられた。牛乳量が多いほど、血糖上昇を抑制する効果が大きい、即ち牛乳中のたんぱく質・脂質含有量が多いほうが血糖上昇抑制効果が大きいと推察された。

2. 牛乳中の脂質・たんぱく質含有量の食後血糖上昇抑制に及ぼす影響

バター 20g の GAUC% は、基準食の GAUC% は差がなかった。前回のバター 10g と米食の組み合わせ実験でも血糖上昇抑制効果が認められなかった⁴⁾、杉山らも米飯 (糖質 50g) に 10g のバターは 96±48 で米飯のみ (GI 100) と差がないことを報告している³⁾。

今回 20g のバターは米飯 150g (糖質 50g) とともに食する限量だと体験的に感じたが、Greg⁷⁾ は糖質 50g とバター 50g の摂取で血糖 AUC% が低下したこと、遊離脂肪酸が胃からの排泄を遅延させると報告している。

低脂肪乳・無脂肪乳も、普通牛乳と同様に、血糖上昇抑制効果が認められた (図 3, 表 2)。糖質・たんぱく質量が同量の牛乳・低脂肪乳・無脂肪乳の 3 群間では、脂質含有量の多少に関わらず、GAUC% の差は認められなかった。

以上牛乳中の血糖上昇抑制効果は、脂質含有量より、むしろたんぱく質含有量のほうが強力ではないかと推察された。Elin⁸⁾等は、脂質とたんぱく質の血糖低下作用の機序はよくわかっていないが、人においてはたんぱく質は脂質より 2~3 倍血糖上昇を抑制し、両者の間には相乗効果はないと報告している。Carr¹⁰⁾もたんぱく質摂取が、インクレチン分泌を介するインスリン、グルカゴン分泌が重要であると述べている。脂肪 (オレイン酸) たんぱく質 (ミルク・卵蛋白) 摂食後のインクレチンおよび膵臓ホルモンを食後 5 時にわたって調べ、脂肪も蛋白もインクレチンと膵臓ホルモンを分泌を促すが、たんぱく摂取の初期にみられる GIP (glucose-dependent insulinotropic peptide) 分泌が膵臓ホルモン分泌に特に重要であると結論している。

3. 牛乳の上昇抑制のメカニズム

血糖上昇曲線の比較: 基準食の血糖値のピークは 60 分であるのに対して、牛乳を同時摂取した検査食のピークはいずれも 45 分となり、ピークが前方へ移行した。牛乳中のアミノ酸・たんぱく質がインスリン分泌に関与するであろう、インスリンの分泌が亢進し、その結果として血糖値を下げたとの報告がある^{8,10)}。バター 20g 検査食の血糖上昇曲線は牛乳検査食の血糖上昇曲線とは異なり、摂取後 90 分でも血糖値が低下しないことから、バター摂取では糖の吸収が遅延している⁷⁾と推察された。

脂質の血糖低下効果は糖尿病患者においては低下しているか欠損している⁶⁾、たんぱく質の血糖およびインスリン反応効果は脂質の効果とは異なり、健康人糖尿病患者ともに見られ、個人差が大きい⁹⁾との報告がある。以上のことより、脂質とたんぱく質は異なる経路で食後血糖を修飾している、と推論される。

4. チーズ・ヨーグルトの血糖上昇抑制効果

チーズ 40g は血糖上昇抑制効果が認められた、食後

の血糖上昇曲線も牛乳の上昇曲線と同じくピーク値が45分になり、インスリン分泌が促進した結果血糖値が低下したと推測された。ヨーグルト180gに関しては、たんぱく質・脂質含有量は牛乳200mlと遜色がないのに、抑制効果はなかった。その理由としてヨーグルト製造の発酵行程で栄養素の変化、生じた化合物の作用があるのかもしれない、また標準偏差 (SD) が大きく個人差が大きいことも要因であろうと、推察された。

付 記

本研究は平成22年度科学研究費補助金費により実施した。

本実験は平成22年度卒業論文研究臨床栄養学ゼミ生、井口真季子、泉麻那、大島由加里、串上早季、柴田有加里、竹島唯、夏目さやか、並河樹恵、細田若葉、前谷典子によって行われた。

引用文献

- 1) Jenkins DJA, Wolever TMS, Leeds AR, Gassull MA, Haisman P, Dilawari J, Goff DV, Metz GL, Alberti KGM; Dietary fibers, fiber analogues, and glucose tolerance: importance of viscosity. *Br Med J*; 1978; 1392-4.
- 2) Gbreole R, Angela A R and Rosalba G: Role of glycemic index and glycemic load in the healthy state, in prediabetes, and diabetes. *Am J Clin Nutr* 2008; 84: 269s-74s.
- 3) M Sugiyama, AC Tang, Y Wakai and W Koyama: 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.
- 4) 末田香里, 奥田みゆき, 山田真紀子; 健常女子大学生における米飯の食後血糖に及ぼす食物繊維, 酢, 油, 大豆製品, 牛乳・乳製品の影響, 愛知学院大学心身科学研究所紀要心身科学 2008; 1, 23-30.
- 5) Moghddam E, Vogt JA, Wolever TMS. The effect of fat and protein on glycemic responses in nondiabetic humans vary with waist circumference, fasting plasma insulin and dietary fiber intake, *J Nutri* 2006; 136 : 2506-11.
- 6) Gannon MC, Ercan N, Westphal SA, Nuttall FQ. Effect of added fat on plasma glucose and insulin response to ingested potato in individuals with NIDDM. *Diabetets Care* 1993 ; 16 : 874-80.
- 7) Greg Collier BS and Kerin O' Dea. The effect of coingestion of fat on the glucose, insulin , and gastric inhibitory polypeptide responses to carbohydrate and protein *Am J Clin Nitr* 1983; 37: 941-4.
- 8) Elin MO, Helena GM, Liljeberg E and Inger EB. Inconsistency between glycemic and insulinemic responses to regular and fermented milk products. 2001; 74: 96-100.
- 9) Wolever TMS, ed. *The Glycemic index : a physiological classification of dietary carbohydrate*. Wallingfold, United Kingdom: CABI Publishing 2006.
- 10) Carr RD, Larsen MO, Winzell MS, Jelic K, Lindgren O, Deacon CF, Ahren B. Incretin and islet hormonal responses to fat and protein ingestion in healthy men. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2008;295(4): E779-84.

最終版平成23年8月1日受理

Effect of Fat and Protein in Milk on Postprandial Changes in Blood Sugar in Healthy Female Students

Kaori SUEDA, Miyuki OKUDA

Objective: The objectives were to examine how much the postprandial blood glucose level of white rice were decreased, with milk. We examined dose dependent hypoglycemic effects of milk and compared the contents of protein and fat on the effects.

Subjects: A total of 10 females, non-diseased subjects, aged 21 ± 1 y and mean BMI $20.1 \pm 2.4 \text{ kg/m}^2$ were included.

Design: The subjects were served a total of 50g of carbohydrates of the white rice alone or together with milk products. The plasma glucose response was determined over the subsequent 2h. The plasma glucose area above the base line (GAUC) following a glucose meal was calculated. GAUC% for daily products are defined, as GAUC% for rice only is 100; GAUC% for white rice with daily products = (GAUC for white rice with daily products / GAUC for white rice only) \times 100.

Results:

1) Effect of milk on post prandial change in blood glucose: White rice administration increased plasma glucose, which peaked at 60min. When milk was added to rice, the plasma glucose peak at 45min, which was supposed to be associated with increased insulin levels.

2) Dose dependent hypoglycemic effect of milk ; Milk (100•200•400ml) served with the white rice did decreased GAUC% (74 ± 22 , 64 ± 24 and 56 ± 31). Ingestion of both fat and protein in milk induced suppressed the post prandial blood sugar rise. A significantly lower GAUC% (56 ± 31) of the rice with milk 400ml was seen, compared with that (74 ± 22) of white rice with milk 100ml. The more of protein and fat in foods, showed the more hypoglycemic effects.

3) Protein and fat contents on hypoglycemic effect: Milk, low fat milk and non fat milk (200ml respectively) served with the white rice, which contained the same amount of carbohydrate and protein, had hypoglycemic effect as seen decreased GAUC% (64 ± 24 , 69 ± 26 and 77 ± 20). There were no differences in GAUC% among them. GAUC% with the butter 20g showed no difference from the reference (rice only) %. The protein rather than the fat in milk, served to lower GAUC%.

Conclusion: The protein rather than the fat in milk had the effect of suppressing the postprandial change in blood sugar.

Keywords: postprandial blood glucose, rice, milk, insulin, incretin, glycemic index, protein, fat

