

平成9年度 九州大学健康科学センター科学研究費助成研究：種々の糖質摂取が血糖および血清インスリン値に及ぼす影響

齊藤，篤司
Institute of Health Science, Kyushu University

<https://doi.org/10.15017/693>

出版情報：健康科学. 21, pp.127-133, 1999-03-15. Institute of Health Science, Kyushu University
バージョン：
権利関係：



— 研究資料 —

種々の糖質摂取が血糖および血清インスリン値に及ぼす影響

齊 藤 篤 司

Postprandial Plasma glucose and Serum Insulin Responses to Different Carbohydrate

Atsushi SAITO

緒 言

耐糖能障害を引き起こす危険因子として、インスリン抵抗性やインスリン分泌不全が考えられている。この背景には日常の食事におけるインスリンの分泌を強く刺激する糖質の過剰な摂取も要因の1つとして考えられる。しかし、炭水化物の種類やその調理法、食事に対する割合など血糖応答に及ぼす因子は多い。

これに対し、Jenkins⁽¹³⁾⁽¹⁵⁾や Wolever⁽²⁰⁾⁽²²⁾⁽²³⁾は多くの天然あるいは市販されている糖質食品摂取後の血糖応答を glycemic index (GI) で表し、食事に含まれる糖質食品の GI から食事に対する血糖応答を予測可能にした。低 GI 食は炭水化物の利用を促し、インスリンの感受性を亢進するという報告もある⁽¹⁷⁾。

また、でんぷんにしめるアミロースとアミロペクチンの割合が糖代謝に影響を及ぼし⁽¹⁾⁽²⁾、アミロース含有率の高いでんぷんの摂取はインスリン応答の正常化に有効であることが報告されており⁽³⁾、その際、高いアミロース含有率を有する米の有効性も示されてきた⁽¹⁰⁾⁽¹⁶⁾。

日本人の場合、主食である糖質の摂取は不可欠であり、食事にしめる糖質の割合も高い。また、米を含む穀類を主食としてきた食習慣が、欧米人を対象として報告されてきた GI とどう関連するのか検討する必要がある。そこで、本研究では日本人が主食として摂取する可能性の高い糖質食品について、血糖およびインスリンの応答について検討することを目的とする。

方 法

1. 被検者

被検者は本実験の主旨および危険性に関する説明を受けた上で、協力を承諾した3名の男子学生とした。被検者の身長、体重、BMI および皮下脂肪厚（上腕背部、肩甲骨下部）より算出した体脂肪率を Table 1. に示した。

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI	%fat (%)	Fasting plasma glucose* (mg/dl)
sub.H	25	168.4	59.7	21.1	12.0	91.3±4.9
sub.N	23	169.4	58.1	20.2	11.1	90.1±5.3
sub.F	23	163.5	67.5	25.3	21.0	87.4±3.3

* values of fasting plasma glucose are presented as the mean ±SD in nine experiments.

被検者の空腹時血糖値はすべて正常であった。被検者HおよびNのBMI、%fat はともに正常であったが、被検者Fは BMI、%fat とともに軽度の肥満傾向を示した。各種糖質負荷に先立って行われたグルコース75g 摂取の結果、摂取後2時間血糖値は被検者H、N、F でそれぞれ84、82、92mg/dl と正常な耐糖能を示した。しかし、被検者Fはグルコース負荷での血清インスリンのピーク値が305 μU/ml を示し、他の2名が30分をピークに60分には低下するのに対し、60分にピーク値を示すというようにインスリンの分泌過剰と低下の遅延が認められた。

2. 実験手順

被検者は実験前日できるだけ運動を避け、夜10時までに食事を終了した。また、以降は水以外の摂取を禁じた。当日は歩行を避け、朝9時までに実験室に来室し、その後30分間の座位安静を保持した。糖摂取前の採血を行った後、グルコース75gの水溶液500ml、およびグルコース75gに相当する糖質を含むご飯、餅、食パン、ジャガイモ、コーン、うどん、そば、パスタを摂取した。摂取終了後から、30、60、90、120分に採血を行った。実験中は座位安静とし、飲食、喫煙は禁止した。各糖質の摂取は1週間以上の間隔において、グルコースを除きランダムに行われた。測定項目は血漿グルコース、血清インスリンとした。

3. 糖質食品の摂取量と摂取方法

摂取した糖質食品の量、成分および摂取方法をTable 2.に示した。ご飯の炊飯やそば、うどん、パスタを茹でる際等の調理に用いた水はすべて蒸留水とした。調理時間に関しては、調理時間は血糖応答に影響しないという報告²¹⁾があることから特に設定しなかった。うどん、そば、パンはそれぞれ約2gの食塩を含むが、食塩は血糖応答に影響しないという報告¹⁸⁾があることから他の食品への添加等の調整は行わなかった。また、グルコース水溶液重量からこれら糖質食品の重量を引いた重量の蒸留水を摂取した。糖質食品摂取に要した時間は平均8.4分±4.8分で、最も大きなずれを生じたのは、被検者HおよびFのコーン摂取のそれぞれ17分と22分、および被検者Hのジャガイモ20分であった。それ以外はほぼ同一時間で摂取された。グルコース水溶液および各糖質食品はすべて室温(23.1±1.0℃)で摂取された。

結 果

1. 血糖値の変化

糖質負荷前値に対する血糖値の変化率をFig. 1に示した。血糖値はほとんどの糖質負荷において、負荷後30分にピーク値を示した後、低下し、負荷後120分には負荷前値まで低下する傾向を示したが、ピーク値や血糖曲線に糖質食品による一定の傾向は認められなかった。

被検者Hでは、ご飯とうどんで最も大きな増加を示したが、ご飯が60分には負荷前値以下に低下したのに対し、うどんでは120分においても負荷前値まで低下しなかった。また、ご飯は120分でのリバウンドが大きく、負荷後120分では他の糖質食に比し最も高い値を示した。コーン負荷後、血糖値は低下し、90分に負荷前値まで回復するというように他の糖質とは異なる動態を示した。

被検者Nではジャガイモが最も大きな増加を示し、ついでコーンが高い増加率を示した。両者とも60分には低下するが、ジャガイモではコーンに比し30分間の遅延が生じた。次にご飯とグルコース、パスタが同一の高い増加率を示したが、ご飯とグルコースが60分には負荷前値もしくはそれ以下まで低下したのに対し、パスタは60分においても高値を維持し、わずかではあるがさらに増加する傾向を示した。

被検者Fは、いずれの糖質負荷に対しても負荷後120分には120mg/dl以下に低下していることから、正常な耐糖能を有しているが、他の2名の被検者に比し、多くの糖質食品に対し、高い血糖応答を示した。特に、グルコースに対し最も大きな血糖応答を示し、ついで、ご飯、餅に対し、高い血糖応答を示した。これに対し、コーンおよびパスタに対しては低い血糖応答を示した。

Table 2. Composition of carbohydrate test loads*

	Weight (g)	Energy (kcal)	Carbohydrate (g)	Fat (g)	Protein (g)	Preparation
Glucose	75	275	75.0	0.0	0.0	Dissolved in water
Rice	236	349	74.8	1.2	6.1	Boiled
Rice cake	139	349	75.1	1.0	5.8	Microwaving
Noodle (buckwheat)	350	381	74.9	2.4	14.6	Boiled
Noodle (wheat)	426	361	75.5	2.2	9.9	Boiled
Pasta	265	395	74.9	2.1	13.5	Boiled
Bread (white)	156	406	74.9	5.9	13.1	Plain
Potato	404	339	75.1	0.8	7.7	Boiled
Whole kernel corn	419	385	75.0	4.6	12.2	Boiled

*Calculations based on Standard tables of food composition in Japan.

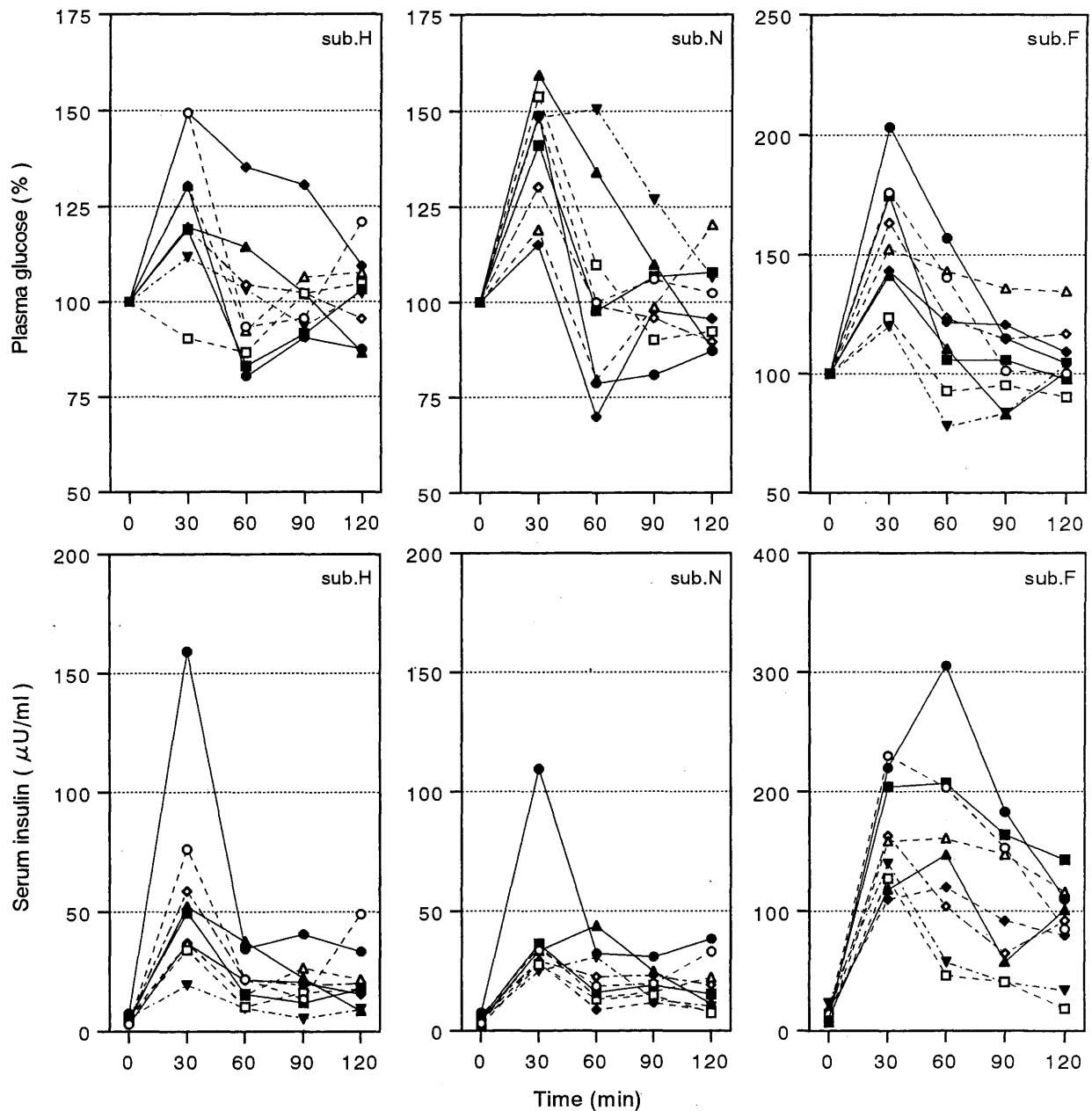


Fig. 1 Plasma glucose (*upper*) and serum insulin (*bottom*) responses to glucose(●), rice(○), rice cake(■), corn(□), potato(▲), bread(△), noodle(wheat)(◆), noodle(buckwheat)(◇) and pasta(▼).

2. 血清インスリン値の応答

各糖質摂取後の血清インスリンの変化を Fig. 1 に示した。血糖応答に比し、血清インスリンの応答ではすべての被検者において、グルコースに対し最も高い応答を示した。また、耐糖能低下傾向を示した被検者 F 以外の 2 人はほとんどの糖摂取後 30 分にピーク値を示した後、低下する傾向を示した。

被検者 H ではグルコースを除き、各糖質摂取に対する血清インスリンのピーク値は血糖のピーク値の大きさと同様の傾向を示したが、最も高い血糖応答を示し

たうどんは必ずしも高いインスリン応答は示さなかった。また、負荷後、血糖の低下をもたらしたコーンにおいても血清インスリンは負荷後 30 分にピーク値を示した後低下するというように他の糖と同様の応答を示した。

被検者 N ではグルコース以外の各糖質負荷に対する血清インスリンの応答はほぼ同様であった。血糖値の低下が遅延したパスタと最も高い血糖応答を示したジャガイモではピーク値が 60 分に遅延した。

被検者 F では各糖質負荷に対するインスリンの応答

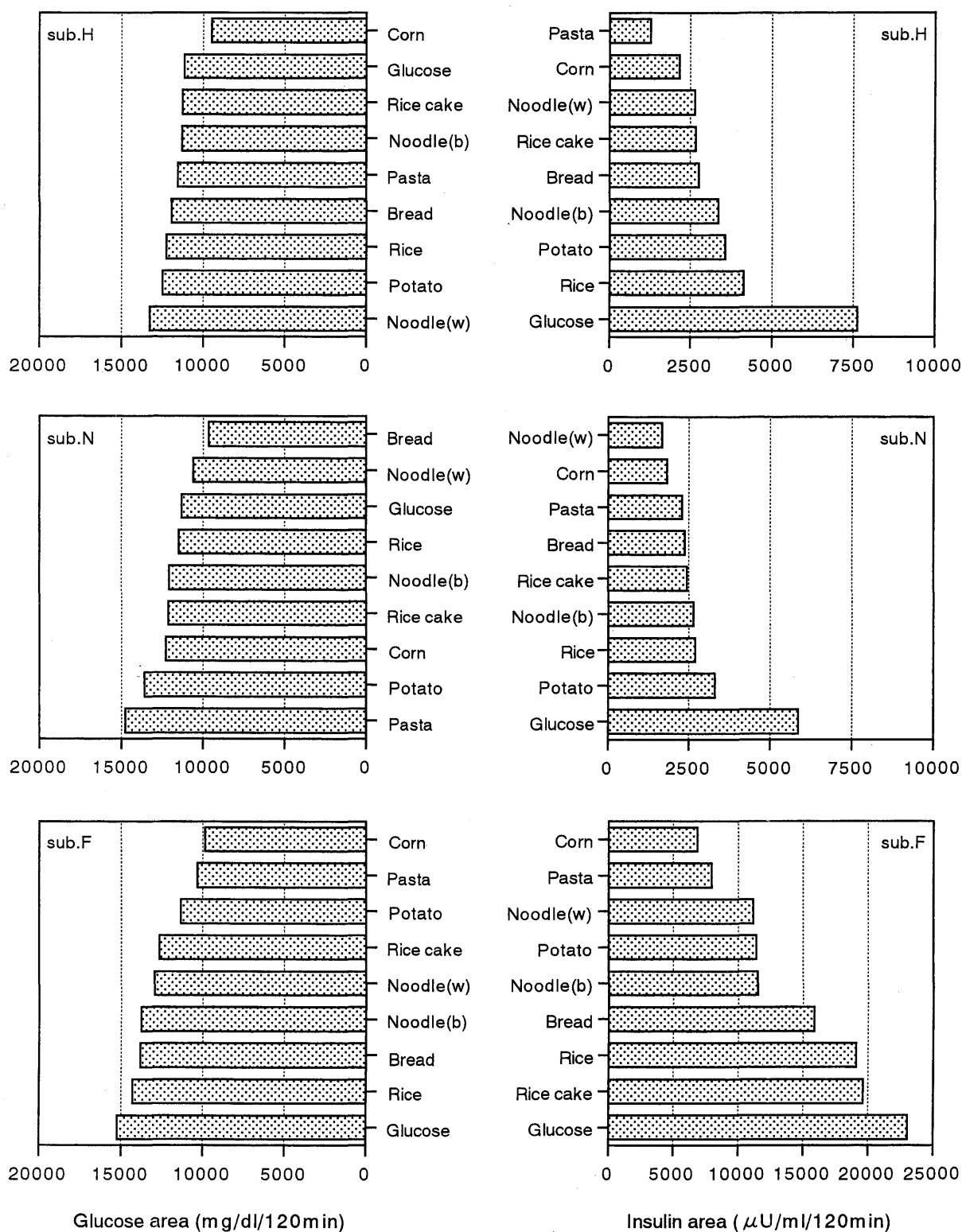


Fig. 2 Areas under the plasma glucose (left) and serum insulin (right) response curves for glucose, rice, rice cake, corn, potato, bread, noodle(wheat), noodle(buckwheat) and pasta.

は血糖応答と同様の大きさを示したが、ピーク値の遅延や低下の遅延が認められた。血糖応答ではすべての

糖質負荷に対し、負荷後30分にピーク値を示したのに対し、血清インスリン値はグルコース、餅、パン、ジ

ジャガイモ、うどんでピーク値が60分にずれ、ご飯、そばで低下の遅延が認められた。

3. 血糖およびインスリン曲線面積

各糖質食品摂取に対する血糖曲線面積(A)および血清インスリン曲線面積(B)を Fig. 2 に示した。各糖質負荷に対する被検者内の血糖曲線面積の大きさは血清インスリン曲線面積の大きさとほぼ同様の傾向を示した。しかし、血糖曲線面積は血糖曲線のピーク値の大きさを反映し、糖質の種類による一定の傾向は認められなかった。被検者HおよびNではグルコースの血糖曲線面積が小さく、ジャガイモで大きい傾向を示したのに対し、被検者Fでは逆にグルコースの血糖曲線面積が最も大きく、ジャガイモは小さかった。インスリン曲線面積も血清インスリンのピーク値の大きさを反映し、3被検者ともグルコースが最も大きな値を示した。また、ご飯のインスリン曲線面積が大きくコーンやパスタで小さいという傾向は3被検者に共通した傾向であった。

考 察

様々な炭水化物に対する血糖や血清インスリンの応答を明確にすることにより、過剰な血糖応答とインスリン分泌、そして、これに伴うインスリン抵抗性、耐糖能低下を引き起こす危険性を減少させることが可能である。Crapo らは⁵⁾50 g のグルコースを含むグルコース、スクロース、スターチをそれぞれ単独あるいは蛋白質や脂肪を加えた混合食として摂取させ、その後の血糖および血清インスリン値の動態について比較している。その結果、グルコースは単独、混合食共にスターチに比し高い血糖およびインスリン応答を示したことから、でんぷんの分子量の大きさとこれに伴う消化吸収の違いが、影響していると推察している。さらに、Crapo らは⁶⁾50 g のグルコースに相当するデキストロース、ライス、ポテト、コーン、パンを摂取させた後の血糖およびインスリン応答について検討した。その結果、血糖、インスリン応答共に、デキストロースとポテトが大きく、ライスとパンが小さく、コーンがその中間を示し、この差はそれぞれのでんぷんの分子量の差とこれに伴う消化吸収の違いによると示唆した。同様の結果を耐糖能低下者を対象とした研究においても報告している^{7,8)}。その他、ポテトはスパゲッティ¹²⁾やライス⁹⁾よりも血糖応答が大きく、スパゲッティはパン¹⁴⁾やポテト、ライス¹¹⁾より小さいといった報告がなされている。

以上の結果から、本研究で摂取された糖質食の血糖応答はグルコース>ポテト>コーン>パン、ライス>パスタといった傾向が認められるはずである。しかし、本研究に示されるように、やや耐糖能低下傾向を示した被検者F以外の健常者被検者HおよびNではグルコース溶液摂取時の血糖応答は他の炭水化物食に比し、低い傾向を示し、他の糖質に対する応答も被検者により異なった。

Wahlqvist らは¹⁹⁾健常者に monosaccharide としてグルコース、pentasaccharide として Caloreen (グルコース4~15分子(平均5分子)からなる)、polysaccharide としてスターチの水溶液を摂取させた結果、グルコース分子鎖の長さは血糖やインスリンの応答に影響しないことを示した。しかし、食物摂取として考えた場合、必ずしも水溶液での結果が当てはまるかどうかには疑問が残る。これに対し、Brand ら⁴⁾は水溶液ではなくコーン、ライス、ポテトをそのまま茹でたものと、コーンフレークとコーンチップ、インスタントライスとライスパブル、インスタントポテトとポテトチップのように調理されたものとを *in vitro* での消化時間と *in vivo* での Glycemic index (GI) で比較した。その結果、消化率の高いあらかじめ加工された食品は素材そのものよりも高い GI を示したことを報告し、でんぷんの消化しやすさが血糖応答に影響することを示した。しかし、グルコース溶液摂取が必ずしも高い血糖応答を示していない本被検者では消化率からだけで糖質食品の血糖応答を判断できない可能性が示された。

Wolever と Jenkins は「Sugar and blood glucose control」という総説²⁴⁾の中で、GI の決定に食習慣の影響はないのかという論評に対し、何の返答もしていない。しかし、アミロースを多く含有するでんぷんの摂取は一過性、長期のいずれにおいてもインスリンの感受性の亢進を伴う糖代謝の改善を示している^{3,10,16)}。このことは欧米に比し、穀類、特に米を主食とする食習慣を持つ日本人では糖質食品に対する血糖やインスリンの応答が異なる可能性を示唆していると思われる、これが先行研究での種々の糖質食品に対する血糖応答と本被検者の血糖応答に差をもたらした可能性が示唆された。しかし、本研究は3例という少数例の報告であり、今後、日本人を対象としたさらなる検討の重要性が示唆された。

ま と め

日本人が摂取する可能性の高い糖質食品について、血糖および血清インスリン値の応答について検討する

ことを目的とした。摂取した糖質食品は、グルコース75gを含む500mlの水溶液とこれに相当する糖質を含むご飯、餅、スイートコーン、ジャガイモ、食パン、うどん、そば、パスタである。被検者は耐糖能正常な男子学生2名とやや耐糖能低下傾向を示す男子学生1名であった。

糖質食品と摂取後の血糖応答には一定の傾向は認められなかった。耐糖能正常な2名では血糖ピーク値および血糖曲線面積共にグルコースよりも他の糖質食品が高い傾向を示した。これに対し、血清インスリンの応答はグルコースで最も高いピーク値を示し、インスリン曲線面積も他の食品の2倍以上の値を示した。グルコース以外の糖質食品ではジャガイモやご飯、そば他の食品に比しやや高いインスリン応答を示す傾向が認められた。

以上の結果はきわめて少数例ではあるが、欧米人を対象として行われてきた糖質食品と血糖応答との関係と異なる可能性を示した。

本研究の研究費の一部は、平成9年度の健康科学センター科学研究費の助成による。

参考文献

- 1) Behall KM, Scholfield DJ and Canary J: Effect of starch structure on glucose and insulin responses in adult. *Am J Clin Nutr*, **47**:428-432, 1988.
- 2) Behall KM, Scholfield DJ and Canary J: Diets containing high amylose vs amylopectin starch: effects on metabolic variables in human subjects. *Am J Clin Nutr*, **49**:337-344, 1989.
- 3) Behall KM and Howe JC: Effect of long-term consumption of amylose vs amylopectin starch on metabolic variables in human subjects. *Am J Clin Nutr*, **61**:334-340, 1995.
- 4) Brand JC, Nicholson PL, Thorburn AW and Truswell AS: Food processing and the glycemic index. *Am J Clin Nutr*, **42**:1192-1196, 1985.
- 5) Crapo PA, Reaven G and Olefsky J: Plasma glucose and insulin responses to orally administered simple and complex carbohydrates. *Diabetes*, **25** (9):741-747, 1976.
- 6) Crapo PA, Reaven G and Olefsky J: Postprandial plasma-glucose and -insulin responses to different complex carbohydrates. *Diabetes*, **26** (12):1178-1183, 1977.
- 7) Crapo PA, Kolterman OG, N Waldeck, GM Reaven and JM Olefsky: Postprandial hormonal responses to different types of complex carbohydrate in individuals with impaired glucose tolerance. *Am J Clin Nutr*, **33**:1723-1728, 1980.
- 8) Crapo PA, Insel J, Sperling M and Kolterman OG: Comparison of serum glucose, insulin, and glucagon responses to different types of complex carbohydrate in noninsulin-dependent diabetic patients. *Am J Clin Nutr*, **34**:184-190, 1981.
- 9) Crapo PA and Henry RR: Postprandial metabolic responses to the influence of food form. *Am J Clin Nutr*, **48**:560-564, 1988.
- 10) Goddard MS, Young G and Marcus R: The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. *Am J Clin Nutr*, **39**:388-392, 1984.
- 11) Hermansen K, Rasmussen O, Arnfred J, Winther E, Schmitz O: Differential glycaemic effects of potato, rice and spaghetti in type 1 (insulin-dependent) diabetic patient at constant insulinaemia. *Diabetologia*, **29** (6):358-361, 1986.
- 12) Hermansen K, Rasmussen O, Arnfred J, Winther E and Schmitz O: Glycemic effects of spaghetti and potato consumed as part of mixed meal on IDDM patients. *Diabetes Care*, **10** (4):401-406, 1987.
- 13) Jenkins DJA, Wolever TMS, Taylor RH, Barker H, Fielden H, Baldwin JM, Bowling AC, Newman HC, Jenkins AL and Goff DV: Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr*, **34**:362-366, 1981.
- 14) Jenkins DJA, Wolever TMS, Jenkins AL, Lee R, Wong GS, Josse R: Glycemic response to wheat products: reduced response to pasta but no effect of fiber. *Diabetes Care*, **6** (2):155-159, 1983.
- 15) Jenkins DJA, Wolever TMS and Jenkins AL: Starchy foods and glycemic index. *Diabetes Care*, **11** (2):149-159, 1988.
- 16) Miller JB, Pang E and Bramall L: Rice: a high or low glycemic index food? *Am J Clin Nutr*, **56**:1034-1036, 1992.
- 17) Ritz P, Krempf M, Cloarec D, Champ M and Chabonnel B: Comparative continuous-indirect-calorimetry study of two carbohydrates with different glycemic indices. *Am J Clin Nutr*, **54**:855-

- 859, 1991.
- 18) Slyper A, Schectman G, Pleuss J and Anderson A: Lack of effect of salt on the glucose and insulin response to mashed potatoes, white rice, and lima beans. *Metabolism*, **40** (7):747-750, 1991.
- 19) Wahlqvist ML, Wilmschurst EG and Richardson EN: The effect of chain length on glucose absorption and the related metabolic response. *Am J Clin Nutr*, **31**:1998-2001, 1978.
- 20) Wolever TMS and Jenkins DJA: The use of glycemic index in predicting the blood glucose response to mixed meals. *Am J Clin Nutr*, **43**:167-172, 1986.
- 21) Wolever TMS, Jenkins DJA, Kalmusky J, Giordano C, Giudici S, Jenkins AL, Thompson LU, Wong GS and Josse RG: Glycemic responses to pasta: effect of surface area, degree of cooking, and protein enrichment. *Diabetes Care*, **9** (4):401-404, 1986.
- 22) Wolever TMS, Jenkins DJA, Jenkins AL and Josse RG: The glycemic index: methodology and clinical implications. *Am J Clin Nutr*, **54**:846-854, 1991.
- 23) Wolever TMS, Katzman-Relle L, Jenkins AL, Vuksan V, Josse RG and Jenkins DJA: Glycemic index of 102 complex carbohydrate foods in patients with diabetes. *Nutrition Research*, **14** (5): 651-669, 1994.
- 24) Wolever MS and Brand Miller J: Sugars and blood glucose control. *Am J Clin Nutr*, **62** (suppl): 212s-227s, 1995.