

博士(栄養学)学位論文

論文題目

栄養学的見地からの食物物性研究  
—米類の物理的性状とヒトの血糖・インスリン分泌反応—

1992年

氏名 柳 裕 幸 江

指導教員 岩村 孝 義 教授

①

博士（栄養学）学位論文

栄養学的見地からの食物物性研究

—米飯の物理的性状とヒトの血糖・インスリン分泌反応—

1992年

柳 澤 幸 江

指導教員 若 林 孝 雄 教授

Study on physical property of food from a  
nutritional standpoint

Effects of physical properties of various types of cooked rice upon the postprandial responses of plasma glucose and insulin in healthy and diabetic subjects.

ABSTRACT

The effects of physical properties of various types of cooked rice on digestion and absorption were investigated in vivo and in vitro, using 23 patients with non-insulin-dependent diabetes mellitus (NIDDM) and 7 healthy subjects as controls. Three categories of test meals were applied as follows; 196g of regular-cooked rice, 409g of rice gruel and 162g of hard-cooked rice. Each test meal which mainly contains carbohydrate was calculated to be equivalent to 75g glucose.

Plasma glucose and insulin were measured at 0, 30, 60 and 120 min after test meals. In addition, hydrolysis after mastication of test meals was examined in two ways. Firstly in vitro, reducing sugars were measured to estimated effect

of digestion of cooked rice by mixing human salivary  $\alpha$ -amylase(15U/ml). Secondly in mastication test, chewed test meals incubated for 30 min in 37 °C in vitro. The mixtures were measured hydrolysis to maltose, maltotriose and maltotetraose. In these experiments rice gruel was hydrolyzed most rapidly, and hard-cooked rice was hydrolyzed most slowly. Of course, these hydrolysates increased depending on the number of chewing in mastication.

In diabetics, the rice gruel elicited about 2 times higher peak of plasma glucose and insulin than either of test meals did. The average incremental area under the curves of plasma glucose for 120 min after rice gruel was 146 ( $\pm$  48) %, when compared with the area after regular-cooked rice designated as 100%. The insulin response to rice gruel in normal subjects was also significantly larger than that to the regular-cooked rice, despite no differences of plasma glucose. Namely, it is suggested that these results might be coming from more rapid digestion and absorption of rice gruel, at least in part, due to its fast hydrolysis by salivary  $\alpha$ -amylase, though the other factors should be concerned.

Unexpectedly, the postprandial response of plasma glucose

to hard-cooked rice in diabetic subjects were significantly greater than that to regular-cooked rice, though there were no significant differences between insulin responses to regular- and hard-cooked rice in either diabetic or normal subjects. In the experiment in vitro, hard-cooked rice was hydrolyzed most slowly, however, as observed in necessitated most large number of chewing at its eating. The enough mastication may account for larger rapid digestion and absorption of hard-cooked rice. The analyses of the effects of mastications on test meals revealed that salivary amylase secreted during mastication plays an important role for the digestion and absorption of starch.

In conclusion, these data highlight the significant role of physical property of foods in determining their metabolic responses in both diabetic and normal subjects.

## 目 次

	頁
I. 緒 言	1
II. 方 法	4
1. 試料の選定及び調製	4
2. 試料の物理的性状の測定	6
3. in vitroでの消化性の分析	6
4. 咀嚼によるでんぷん消化の分析	7
5. 負荷実験方法	8
1) 対象	8
2) 負荷食品および負荷方法	8
3) 検査項目	10
III. 結 果	11
1. 試料の物理的性状	11
2. in vitroでの消化性	11
3. 咀嚼による消化性	11

	頁
4. 負荷実験	14
1) 摂食状態	14
2) 血糖反応, インスリン・ C-ペプチド分泌反応	18
<飯-粥の比較>	20
<飯-硬飯の比較>	20
IV. 考 察	28
V. 結 論	38
VI. 謝 辞	39
VII. 引用文献	40

	頁
図1 $\alpha$ -アミラーゼによるin vitroでの消化性	13
図2 咀嚼によるでんぷんの消化	15
図3 飯・粥負荷後の血糖曲線と血中インスリン・ C-ペプチド分泌曲線の比較	23
図4 飯・硬飯負荷後の血糖曲線と血中インスリン・ C-ペプチド分泌曲線の比較	24
図5 飯・粥・硬飯負荷による血糖とインスリン 上昇面積	25
図6 飯・粥・硬飯負荷後2時間の $\Sigma \Delta$ 血糖と $\Sigma \Delta$ インスリンの関係	27
表1 粥と飯の認識による分類	5
表2 対象者プロフィール	9
表3 飯粒の水分・体積・テクスチャー	12
表4 咀嚼回数によるマルトース・マルトトリオース ・マルトテトラオースの含有比の変化	16
表5 負荷時の食物摂取状況	17
表6 咀嚼による飯のでんぷん消化度と飯負荷後初期 の血糖・インスリン分泌反応の関係	19
表7 glyceimic index の比較	26



## I. 緒 言

食物の物理的性状は、家庭レベルでの調理によって任意に変化させることができる。そのため、摂食者に応じた物理的性状を調製することは比較的容易なことと言える。食物の物理的性状は、これまで食物の嗜好性との関連から数多くの研究がなされてきた。その一方で、近年身体的健康との関連から、咀嚼活動に及ぼす影響<sup>1-3)</sup>や唾液分泌への影響<sup>4-6)</sup>が論じられ始めてきている。また糖尿病患者の食事コントロールの観点から、食物形状の差が食後の血糖・インスリン分泌反応に及ぼす影響も報告されている<sup>7, 8)</sup>。

これまで著者は、食物の物理的性状と咀嚼活動の関連について検討し<sup>1, 9, 10)</sup>、食物咀嚼時の咀嚼筋の活動が食物の物理的性状によって規定されることを示した。咀嚼活動は、食物の粉碎と同時に唾液の分泌を引き起こし特にでんぷん性食品の消化と深く関わる<sup>11-13)</sup>。でんぷん性食品の栄養的役割は、Jenkins ら<sup>14-16)</sup>によるglycemic index (GI) の概念の導入により、その吸収率と共に消化・吸収速度が重要であることが示された。特に糖尿病患者にとって、食物の血糖上昇作用は食物選択

の上で重要な項目となる。食物のGIはでんぶんの糊化状態<sup>17-19)</sup>やアミロペクチンの含有量<sup>20-22)</sup>等による影響を受け、in vitroの消化性に対応する<sup>18, 19, 23, 24)</sup>。加えて摂食時の咀嚼の有無によっても変化することが報告されている<sup>25)</sup>。

本研究は、調理によって変化する食物の物理的性状がヒトの生理に及ぼす影響を栄養学的視点から検討することをねらいとした。そして、咀嚼と関連の深いでんぶん性食品の消化・吸収速度に焦点をあて、日本人の食生活の中で、主食として質的・量的に重要な地位を占めている米飯を今回の研究試料とした。従って本研究の目的は、米飯の物理的性状の差がでんぶんの消化・吸収速度に及ぼす影響を明らかにすることである。

米を用いたGIの研究は他のでんぶん性食品との比較<sup>26-28)</sup>や、粉食と粒食との比較<sup>7, 29)</sup>が既に報告されている。しかし、日本人にとって米は粒食が基本であり、これら日本の食習慣に対応したGIの研究は殆ど進められていない。しかも日本での米食は、物理的性状が著しく異なる飯と粥とが、日常的に食されるという特徴を併せ持つ。

でんぷんの消化は，摂食時の咀嚼活動から始まり，血糖上昇量，インスリン分泌反応として分析することができる。そこで今回は，GI研究で通常行われている *in vivo* の負荷実験と，*in vitro* の消化実験に加えて，咀嚼によるでんぷん消化を分析した。これによって，血糖・インスリン反応に対する物理的性状の効果の差異を，摂食の場面からも分析しようと試みた。また，負荷実験は健常者と糖尿病患者とで行い，物理的性状の効果を双方で検討した。

以上，米飯の物理的性状が血糖やインスリン分泌反応に及ぼす影響を明らかにすることは，糖尿病患者にとって，食物選択の際に有効となるばかりでなく，健常者においても，食物物性選択の意義を栄養学的見地から論じることが可能にするものである。

## II. 方 法

### 1. 試料の選定及び調製

試料は、日常的に摂取される食物の範囲内であることを条件とし、表1に示した粥・飯の識別調査及び飯の官能検査によって4種の試料を選定した。まず、粥の範疇からは、全粥と称される20%試料（以下粥と称す）を選んだ。これは重湯がないため、他の粥に比べ均質な試料が得やすい。飯の範疇からは、表1に示した4種の飯の官能検査（パネラー25人；成人女子）を行い、最も柔らかいと評価された35%試料（軟飯と称す）、最も好ましいと評価された45%試料（飯と称す）、最もかたいと評価された50%試料（硬飯と称す）の3種を選定した。

これらの試料は1989年度産の群馬県産コシヒカリ（歩留り90~92.5%）を用い、一定条件下で洗米、浸水（25℃、30分）し、炊飯器（東芝RCK-10 CMT）にて炊飯した。試料はいずれも1000g炊き上がりとし、粥は米200gに水880g（4.40倍加水）、軟飯は米350gに水753g（2.65倍）飯は米450gに水650g（1.44倍）、硬飯は米500gに水550g（1.10倍）を加えそれぞれ炊飯した。尚、いずれの試料にも今回の実験に影響なく食味を増す目的で3gの食塩を

表1 粥と飯の認識による分類

試料 米比率(%) <sup>1)</sup>	認識率 (%)		評価
	粥	飯	
10 (五分粥)	100	0	粥
15	100	0	
* 20 (全粥)	100	0	
25	75	25	飯
30	48	52	
* 35	0	100	
40	0	100	
* 45	0	100	
* 50	0	100	

n = 25

1) ; 米重量 / 出来上がり重量 × 100 (%)

\* ; 実験試料として採用 (一般名称)

炊飯直前に添加した。炊飯後は25℃で1時間～3時間保存し試料に供した。ただし、負荷実験においては保温庫内で保存した。

## 2. 試料の物理的性状の測定

試料の水分・体積・膨潤度・テクスチャーを測定した。水分はアルミニウムはく法<sup>30)</sup> (135±1℃, 2時間乾燥) によって求め、体積は10mlシリンダーを用いて10粒単位で測定した。膨潤度は、生米の体積との比から求めた。テクスチャーはクリープメーター(山電)を用い、飯粒の圧縮変形をφ30mmの円柱プランジャーによって測定した。測定項目はかたさ、凝集性、付着性とし前2者は厚みの90%圧縮、後者は50%圧縮にて測定した。これらの測定方法は予備実験によって、官能評価と高い相関性を得ているものである。

## 3. in vitroでの消化性の分析

試料それぞれ1g固形量を秤りとり、0.04Mのリン酸緩衝液(pH6.8)4mlとヒト唾液由来のα-アミラーゼ(SIGMA社 MO, USA)15U/ml, 1mlを添加した。それらを37℃で0, 15, 30, 60, 120, 及び180分間インキュベートした後、エタノールを終濃度80%になるように加え、0℃に冷却し

反応を停止させた。糖の抽出は、試料をホモジナイズ (10<sup>4</sup> rpm, 3 分) した後80℃で30分加温して行った。このホモジネートを3,500rpm, 20分, 0℃で冷却遠心し, 上清を回収, さらに80% エタノールを加え, 懸濁, 遠心を繰り返した。これらの上清を合わせ100 mlに定容した。実験は3回繰り返し,  $\alpha$ -アミラーゼによって生成した還元糖量 (マルトースとして換算) をSomogyi-Nelson法<sup>31)</sup>によって求めた。

#### 4. 咀嚼によるでんぷん消化の分析

被検者は健常者女子8名であり, 予備実験での筋電図学的咀嚼実験の結果を基に, 通常 of 咀嚼に対応する回数を設定した。即ち, 粥10回, 軟飯・飯・硬飯それぞれ10, 20, 35回である。方法は平均1口量に相当する試料10gを一定回数咀嚼後, 回収し, 口腔内に残存する試料を20 mlの水を用い30秒以内で, 3回に分けて口洗し回収した。咀嚼物は37℃で30分間インキュベートし, 先と同様に糖を抽出し200 mlに定容した。唾液 $\alpha$ -アミラーゼによって生成したオリゴ糖は高速液体クロマトグラフィー (日本分光TRI ROTAR-VI型) で分離定量した。カラムはShodex Ionpak KS-801, カラム温度は80℃, 展開溶媒は水 (流

速0.5 ml/min)とした。糖の検出には示差屈折計(昭和電工 Shodex RI, SE-61)を用いた。咀嚼実験は負荷実験対象者でも行い、その際の咀嚼条件は飯20回咀嚼とした。

## 5. 負荷実験方法

### 1) 対象

対象者は健常者7名(学生ボランティア)、糖尿病患者のべ23名(内4名重複)である。表2に糖尿病の罹患年数、年齢、body mass index、咀嚼時の唾液 $\alpha$ -アミラーゼ活性を示した。糖尿病患者は1990年9月から1991年8月の間、東京顕微鏡院にて外来通院治療を行ったインスリン非依存型糖尿病患者(NIDDMと略す)である。患者は空腹時血糖とヘモグロビンA<sub>1c</sub>(HbA<sub>1c</sub>)の値からコントロール良群と不良群に分けた。良群は食事療法患者を4名含み、それ以外は経口血糖降下薬治療患者である。

### 2) 負荷食品および負荷方法

負荷した試料は軟飯を除いた粥・飯・硬飯の3種で、負荷量はいずれも75gブドウ糖量に相当する粥409g、飯196g、硬飯162gとした。

負荷は午前9:00~10:00までの空腹時に行い、試料に加えて60-90 mlの湯、4gののり佃煮を供した。摂取方法



表2 対象者プロフィール

	男	女	罹患年数 (年)	年齢 (年)	BMI <sup>1)</sup>	唾液 アミラーゼ活性 <sup>2)</sup> (U/ml/分)
健常者群	0	7	—	29.4±6.4	20.5±1.0	281±325
糖尿病患者群						
飯・粥負荷						
コントロール良	4	1	12.8±5.6	57.4±17.1	21.5±3.5	557±834
コントロール不良	3	2	13.2±5.3	54.8±5.6	25.1±4.7	299±194
飯・硬飯負荷						
コントロール良	5	2	10.6±6.0	56.1±9.0	22.7±2.5	182±179
コントロール不良	5	1	12.2±4.7	55.2±6.1	23.6±3.1	392±320

コントロール良 ; 空腹時血糖値 140mg/100ml未満かつHbA<sub>1c</sub> 8%未満 (平均値±SD)

コントロール不良 ; 空腹時血糖値 140mg/100ml以上又はHbA<sub>1c</sub> 8%以上

1) body mass index 2) パラフィンワックス咀嚼時の唾液性状

は自由とし、摂取時間を観察した。負荷後、対象者に食事の満腹感を聞き取り調査した。糖尿病患者に対する負荷は飯・粥群と飯・硬飯群とに分けて実験を行い、2回の負荷実験での空腹時血糖の差が $50\text{ mg}/100\text{ ml}$ を越える者は対象より除いた。尚、それぞれの群間には表2に示した属性に差はなかった。

### 3) 検査項目

血液検体は負荷前、負荷後30、60、120分の4回静脈採血し、血糖・インスリン(IRI)・C-ペプチドを分析した。分析は東京顕微鏡院附属検査所に依頼し、血糖は、血漿についてGOD固定化酵素膜過酸化水素電極法、IRIは血清についてRIAビーズ固相法、C-ペプチドはRIA二抗体法を用いた。C-ペプチドについては、今回対象にインスリン依存型糖尿病患者及びインスリン治療患者は含まれないが、測定したIRIが負荷による分泌であることの確認として測定項目に加えた。

結果の処理は、負荷後の変化曲線を求めた上で、負荷時から2時間までの血糖変化量(上昇面積)を算出し、GIを求めた。飯負荷での血糖上昇面積を、GI:100とし、粥・硬飯のGIを求めた。

### Ⅲ. 結 果

#### 1. 試料の物理的性状

試料の水分，体積，生米に対する膨潤度，テクスチャーを表3に示した。4種の試料の中では，粥がもっとも水分が多く膨潤度は4.81と高い。かたさは0.56kgであり飯2.65kgの約1/5であった。3種の飯については，水分の少ない試料ほどかたく，付着性が小さかった。

#### 2. *in vitro*での消化性

ヒト唾液由来の $\alpha$ -アミラーゼによる*in vitro*での消化性を図1に示した。固形量1g当たりのでんぷんから生成された還元糖（マルトースとして換算）の量を比較すると，粥が最も高く，ついで軟飯・飯・硬飯の順となった。これら試料間の差のレベルは，いずれの反応時間においてもほぼ同率であり，粥を100とした場合，軟飯は $90.8 \pm 3.2\%$ ，飯は $79.5 \pm 1.9\%$ ，硬飯は $74.3 \pm 3.9\%$ となり，4試料間の消化性にはそれぞれ有意差が認められた（*t*-検定）。*in vitro*の消化性は，試料の水分，膨潤度並びにかたさと対応し，相関係数はいずれも $r > 0.97$ となった。

#### 3. 咀嚼による消化性

高速液体クロマトグラフィーによる分析の結果，37℃

表3 飯粒の水分・体積・テクスチャー

	水分 (%)	体積 (cm <sup>3</sup> )	膨潤度 <sup>1)</sup>	かたさ(Kg)	凝集性	付着性(g)
粥	82.00 ±0.38	0.74 ±0.04	4.81	0.56±0.07	0.47±0.01	1.03±0.18
軟飯	69.10±0.99	0.45 ±0.01	2.92	1.81±0.26	0.65±0.04	0.78±0.18
飯	62.46±0.99	0.37 ±0.01	2.40	2.65±0.21	0.61±0.04	0.68±0.09
硬飯	54.67±0.67	0.31 ±0.01	2.01	2.95±0.29	0.61±0.02	0.55±0.11

水分 (n=10), その他 n=4 (n: 10粒測定平均値)

(平均±SD)

1)生米の体積(0.15 cm<sup>3</sup>)に対する体積比

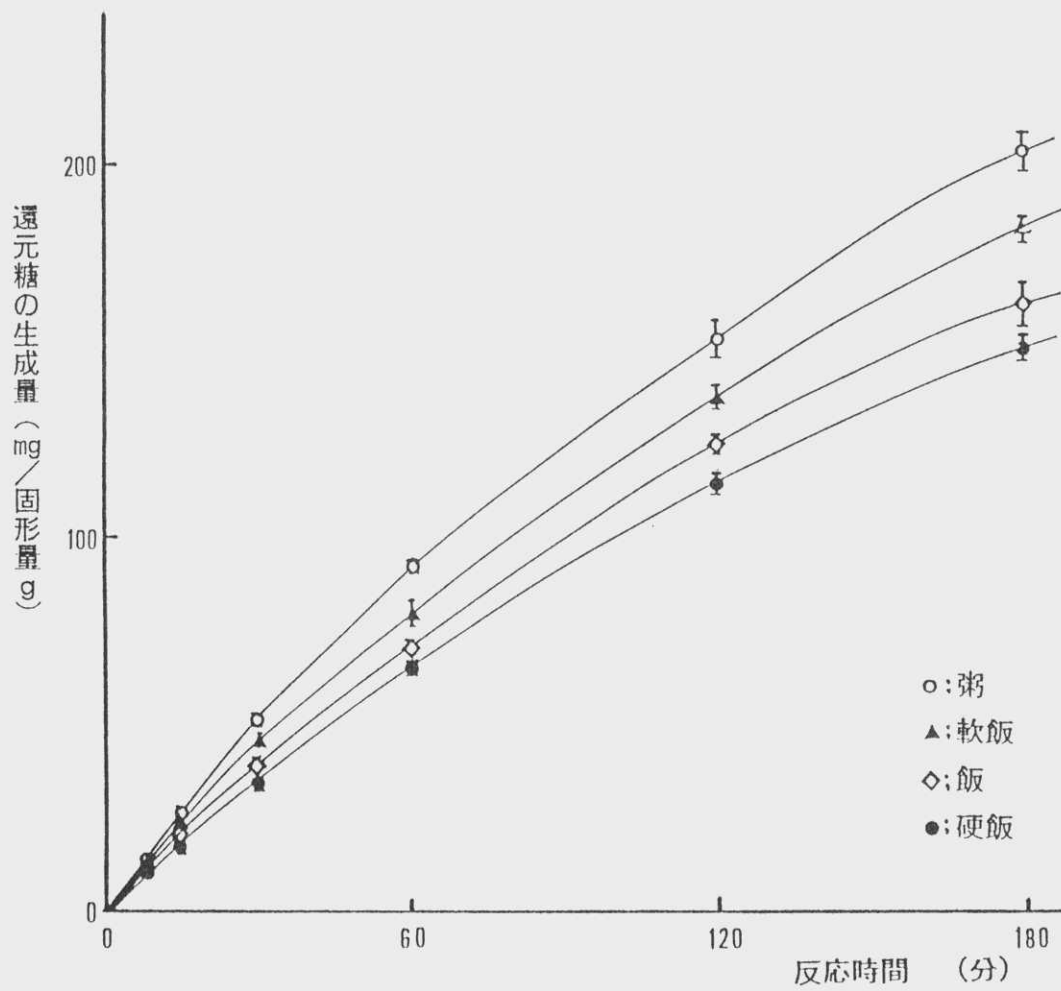


図1  $\alpha$ -アミラーゼによる *in vitro*での消化性  
37°Cで反応 平均値±S D (n=3)

で30分間反応させた後の試料中に含まれるオリゴ糖はマルトース(G2), マルトトリオース(G3)が主体であった。図2には咀嚼によって生成したG2, G3, G4(マルトテトラオース)を示した。F-検定により試料間, 咀嚼回数間に差が認められたため, 対応2試料のt-検定を行った。その結果, 咀嚼回数が増す程糖の生成量が増加し, 同一咀嚼回数での消化性はin vitroの結果と一致した。次に, 咀嚼回数の増加に伴うG2・G3・G4含有比の変化を表4に示した。咀嚼回数増加に伴い, 合計量に占める割合はわずかではあるが, G2が増加するのに対し, G3は減少する傾向が認められた。

#### 4. 負荷実験

##### 1) 摂食状態

試料負荷時の摂取状況を表5に示した。水分量が多く柔らかい粥は, 負荷量が多いにもかかわらず食事時間は飯と差がなく単位量当たりの咀嚼時間は最も短かった。それに対し硬飯は最も長く, 飯の1.5-1.6倍を示した。また食事の満腹感は, 粥が最も高かった。単位時間当たりの咀嚼時間の比の結果から, それらに相当する咀嚼回数での糖の生成を, 図2から検討した。

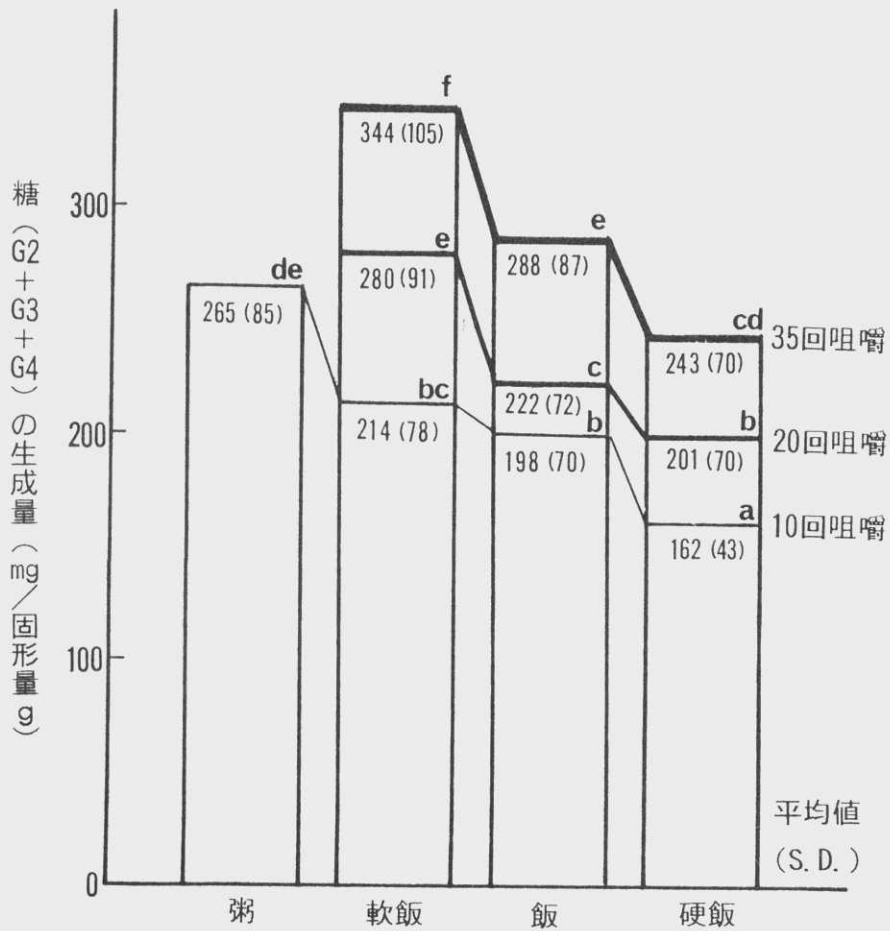


図2 咀嚼によるでんぷんの消化

G2; マルトース, G3; マルトトリオース, G4; マルトテトラオース (n=8)

異なるアルファベット文字は危険率5%以下で有意差

のあることを示す (対応2試料t-検定)

表4 咀嚼回数によるマルトース・マルトトリオース・  
マルトテトラオースの含有比の変化

試料	咀嚼回数	含有比 (%)		
		G 2	G 3	G 4
粥	10	56.2±6.3	41.4±6.5	2.4±2.9
軟飯	10	55.0±4.2	43.4±4.2	1.6±1.8
	20	57.6±4.5	41.0±4.3	1.4±1.7
	35	58.8±3.3	40.6±3.2	0.6±1.1
飯	10	58.4±3.6	41.1±3.6	0.5±1.3
	20	58.5±3.8	41.0±3.8	0.5±1.3
	35	59.0±3.6	40.4±3.5	0.6±1.1
硬飯	10	58.2±4.2	41.1±4.3	0.7±1.3
	20	58.7±4.2	40.9±0.4	0.4±1.0
	35	60.0±3.7	39.6±3.7	0.4±1.0

G 2 ; マルトース , G 3 ; マルトトリオース , G 4 ; マルトテトラオース 平均±SD (n=8)



表5 負荷時の食物摂取状況

試料	負荷量 <sup>1)</sup> (g)	食事時間 (分)		単位量あたりの咀嚼時間 (秒/g)		負荷時の 満腹感 <sup>2)</sup>
		健常者	糖尿病患者	健常者	糖尿病患者	
粥	409	7.94±1.42	5.20±1.31	1.16±0.21	0.76±0.19	0.72±0.45
飯	196	7.03±0.57	4.95±1.56	2.11±0.20	1.54±0.49	0.11±0.77
硬飯	162	8.77±1.42	6.79±1.95	3.25±0.53	2.51±0.72	0.07±0.59

1) 75g ブドウ糖量

( 平均値±SD)

2) 満腹感の評価方法は、多い; 1, 丁度良い; 0, 不足 ; -1 とする。

その結果、粥・10回咀嚼、飯・20回咀嚼、硬飯・35回咀嚼で比較したところ、これらの条件での咀嚼消化は粥 > 硬飯 > 飯の順となった。

次に咀嚼によるでんぷん消化度と食後血糖・インスリン分泌反応の関係を飯20回咀嚼の結果を用いて分析した。尚、咀嚼による糖の生成量は、健常者と糖尿病患者に差はなかった。表6に示したように咀嚼による消化度が高い者（群平均より高値である者）は低い者より、健常者では $\Delta IRI$  (30分) が有意に高く、糖尿病患者では $\Delta$ 血糖 (30分) が有意に高かった。この結果は食後2時間の上昇面積との関係では認められなかったことから、負荷後初期の血糖・血中インスリン分泌反応に、咀嚼によるでんぷんの消化が関与することが示唆された。

## 2) 血糖反応，インスリン・C-ペプチド分泌反応

図3・4に試料負荷による血糖曲線・インスリン，C-ペプチド分泌反応曲線を，図5は負荷後2時間までの血糖とインスリンの上昇面積 ( $\Sigma \Delta$ 血糖， $\Sigma \Delta IRI$ ) を示した。尚、上昇面積はコントロール良群と不良群に有意な差がなかったため併せて糖尿病患者群とした。表7に，GIを示した。

表6 咀嚼による飯のでんぷん消化度と飯負荷後初期の血糖, インスリン分泌反応の関係

咀嚼による <sup>1)</sup> 消化度		n	Δ血糖 (30分) mg/100 ml	ΔIRI (30分) μU/ml
健常者	高消化群 <sup>2)</sup>	3	46 ± 9	32.9 ± 3.7 *
	低消化群 <sup>2)</sup>	4	28 ± 10	17.4 ± 5.4
糖尿病患者				
コントロール良	高消化群	4	77 ± 20 *	10.8 ± 6.4
	低消化群	6	48 ± 14	13.0 ± 8.6
コントロール不良	高消化群	5	59 ± 21	5.8 ± 2.8
	低消化群	3	43 ± 26	8.3 ± 11.7

1) 飯20回咀嚼 2) 該当グループの平均値をもって高低の区分を行う  
 平均値 ± S D \*; p < 0.05 (独立2試料の t - 検定)

#### < 飯 - 粥の比較 >

血糖曲線は健常者では飯・粥に差がなく、双方とも食後30分後に血糖ピークが生じた。糖尿病患者では粥の方が、コントロール良・不良群とも上昇速度が速く、血糖のピークが粥では食後60分後に見られた。一方、飯では120分後でもなお血糖上昇が継続していた。飯・粥の有意差は食後60分で認められた。負荷後2時間までの血糖上昇面積は、粥の方が有意に高く、GIは146となった。インスリン分泌反応は、健常者では飯・粥ともに食後30分にピークが見られたが、特に粥で著しい上昇が認められた。その結果上昇面積も粥の方が高い傾向にあった。

糖尿病患者では食後60分以降で、粥の方が有意にインスリン分泌が多く、ピークはコントロール不良群の粥で食後60分に見られた他は、120分でもまだ上昇が続いていた。上昇面積は粥の方が有意に高く、その差は、健常者より大きかった。C-ペプチド分泌反応もインスリンとほぼ同様の結果を示した。

#### < 飯 - 硬飯の比較 >

血糖曲線は健常者では飯・硬飯に差がなかった。糖尿病患者では、コントロール良群で食後30・60分後に飯と

硬飯とに差が認められたが、血糖曲線は飯・粥同様であった。コントロール良群は飯・粥ともに食後60分後にピークがみられ、不良群は120分でもまだ上昇が継続していた。しかし、上昇面積は硬飯の方が有意に大きく、GIは硬飯が122であった。インスリン分泌反応は、健常者では飯・硬飯ともピークが食後30分に見られたが、その時点でのインスリン分泌反応は硬飯の方が有意に高かった。しかし上昇面積は飯と硬飯に差がなかった。糖尿病患者では、飯・硬飯とも同様に120分でまだ上昇が継続していた。上昇面積は飯・硬飯に差がなかった。血糖・インスリン分泌反応に見られる飯-硬飯の差は、飯-粥より小さいものであった。

### 3) 血糖上昇量とインスリン分泌上昇量の関係

図6に血糖上昇量とインスリン分泌上昇量の関係を示した。両者の関係は、健常者と糖尿病患者では独立したものであったため、分析はそれぞれ分けて行った。健常者群では $\Sigma \Delta$ 血糖が高い者程、 $\Sigma \Delta IRI$ も高くなったが、糖尿病患者群では逆に低くなった。両群で3試料に得られた相関関係は、相関係数及び傾きとも3試料間に差がなかった。しかし得られた回帰直線を比べると、飯

より粥・硬飯の方が $\Sigma \Delta I R I$ が上方に位置し、同一 $\Sigma \Delta$ 血糖での $\Sigma \Delta I R I$ が高値となった。その差は飯-粥間で大きかった。これらの結果は粥や硬飯が、インスリン分泌反応に及ぼす効果に、血糖以外のインスリン分泌促進因子も関与していることを示唆するものである。

以上、同一でんぷん性食品を、同一量負荷しても、物理的性状の異なる粥、飯、硬飯の血糖・インスリン分泌反応に対する効果は、粥で最も大きく、ついで硬飯、飯の順となった。これは摂食時の咀嚼状態に対応した咀嚼消化結果と一致した。

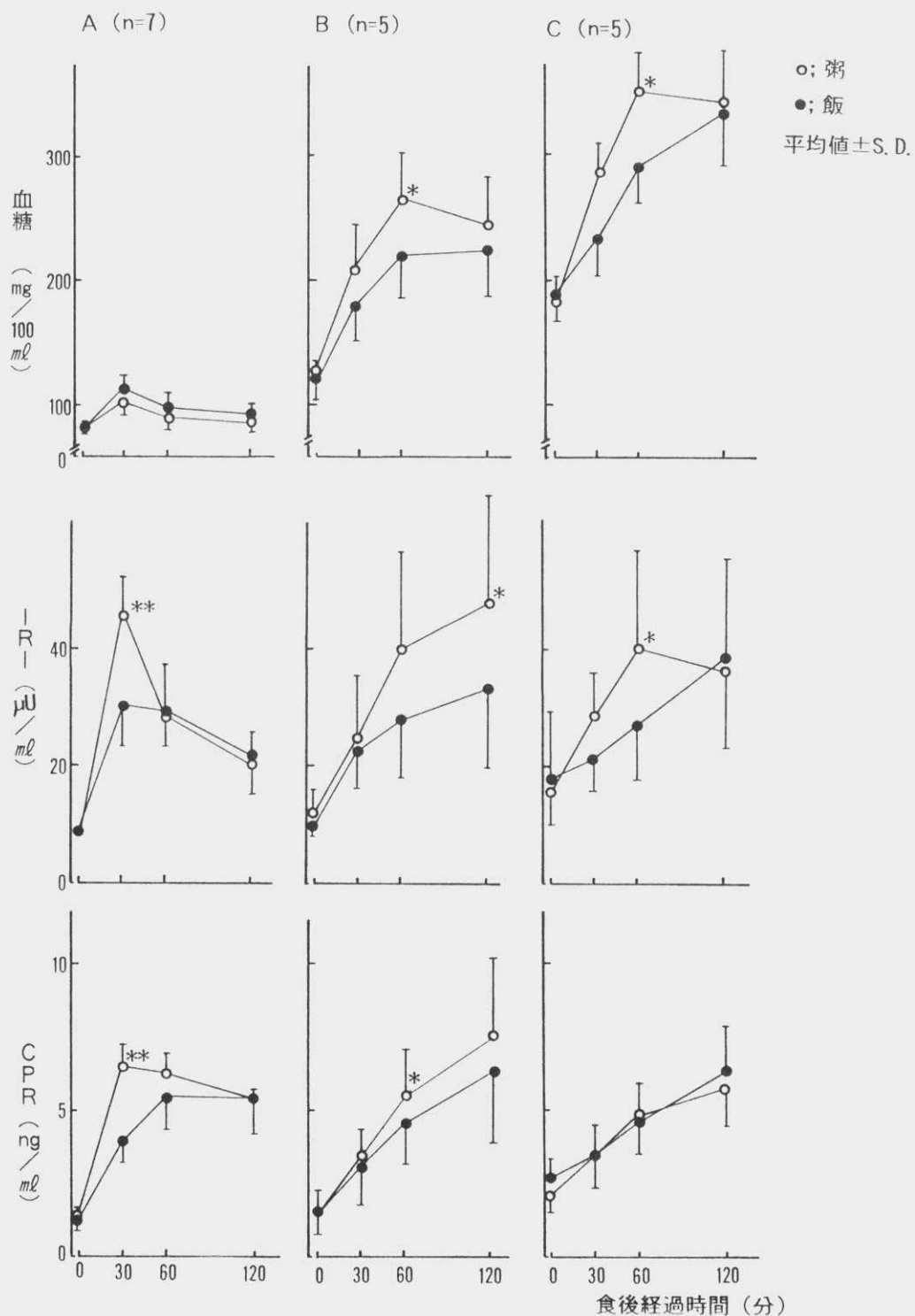


図3 飯-粥負荷時の血糖曲線と血中インスリン・C-ペプチド分泌反応曲線の比較  
 A; 健常者群 B; 糖尿病患者コントロール良群 C; 糖尿病患者コントロール不良群  
 \*\*: p < 0.01, \*: p < 0.05 (同一時間での飯との差, 対応2試料の t-検定)

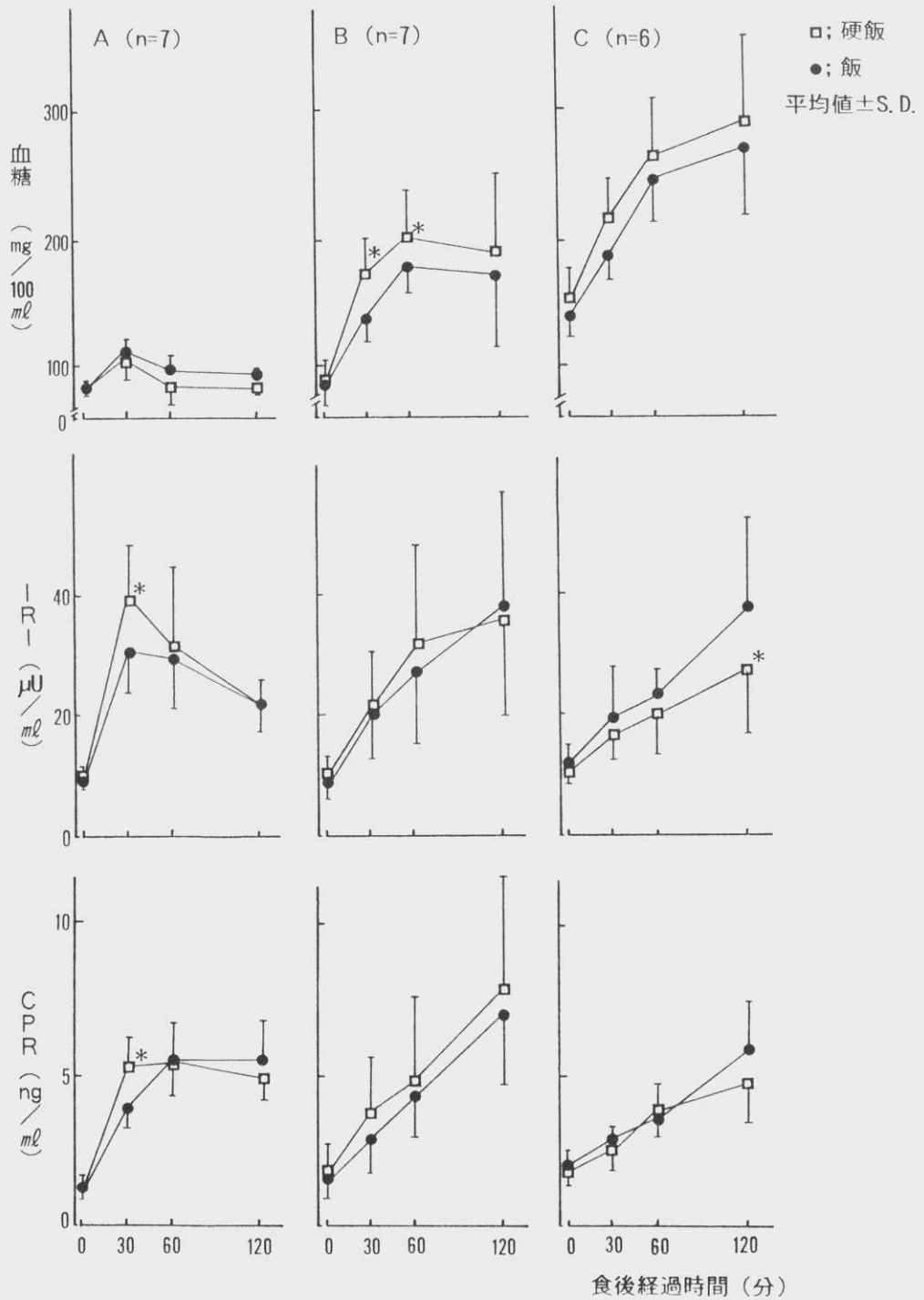


図4 飯-硬飯負荷時の血糖曲線と血中インスリン・C-ペプチド分泌反応曲線の比較

A ; 健常者群 B ; 糖尿病患者コントロール良群 C ; 糖尿病患者コントロール不良群

\*;  $p < 0.05$  (同一時間での飯との差, 対応2試料のt-検定)



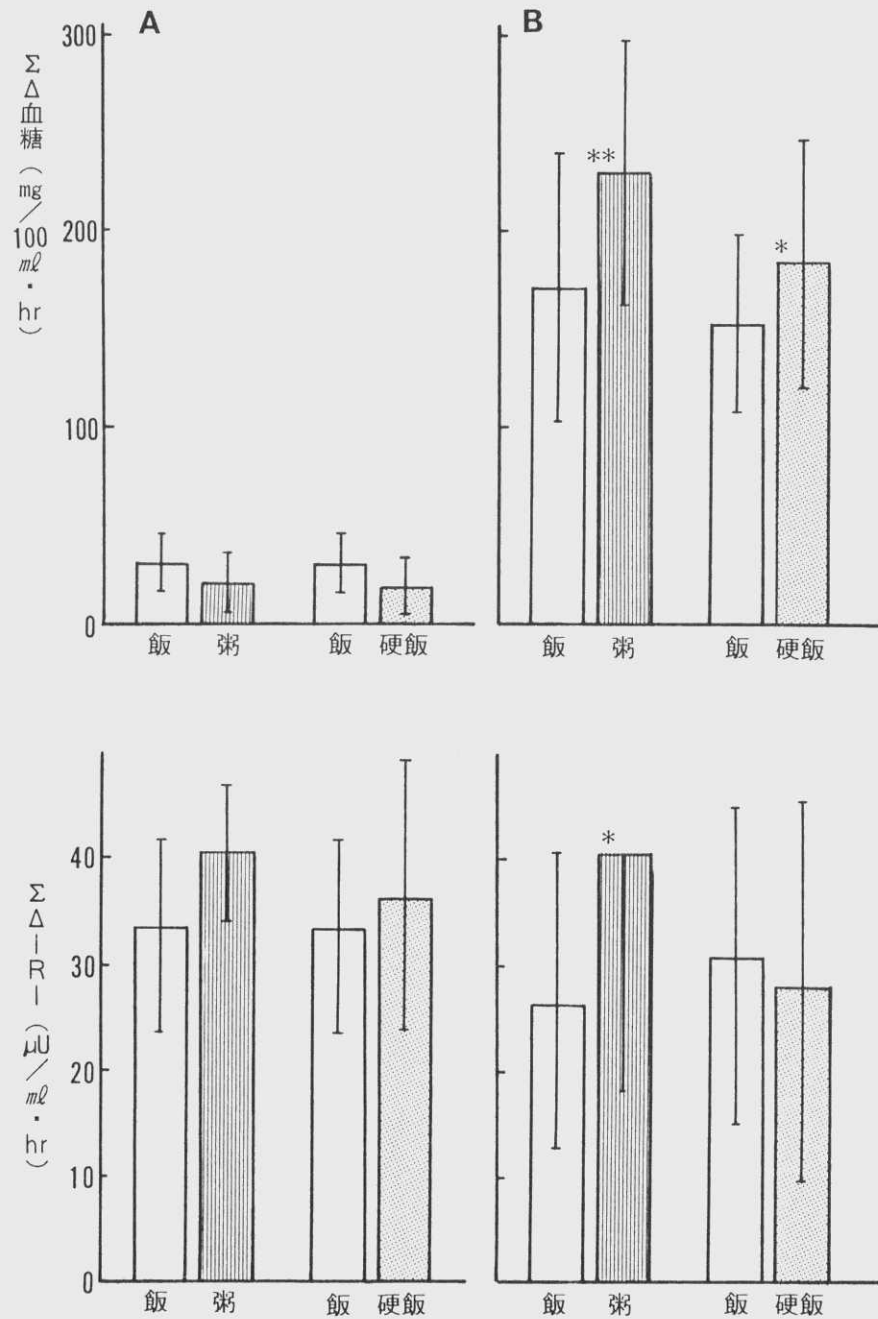


図5 飯・粥・硬飯負荷による血糖とインスリン上昇面積 (平均値 $\pm$ S. D.)

A; 健常者群 B; 糖尿病患者群

\*\*; $p < 0.01$  \*; $p < 0.05$  (対応する飯との差; 対応2試料のt-検定)

表7 glycemc index の比較

	健常者	糖尿病患者
飯	100	100
粥	80±45 (n=7)	146±48 ** (n=10)
硬飯	73±44 (n=7)	122±31 * (n=13)

平均値±SD

\*\* ; p<0.01 \* ; p<0.05 (飯との比較・対応2試料のt検定)

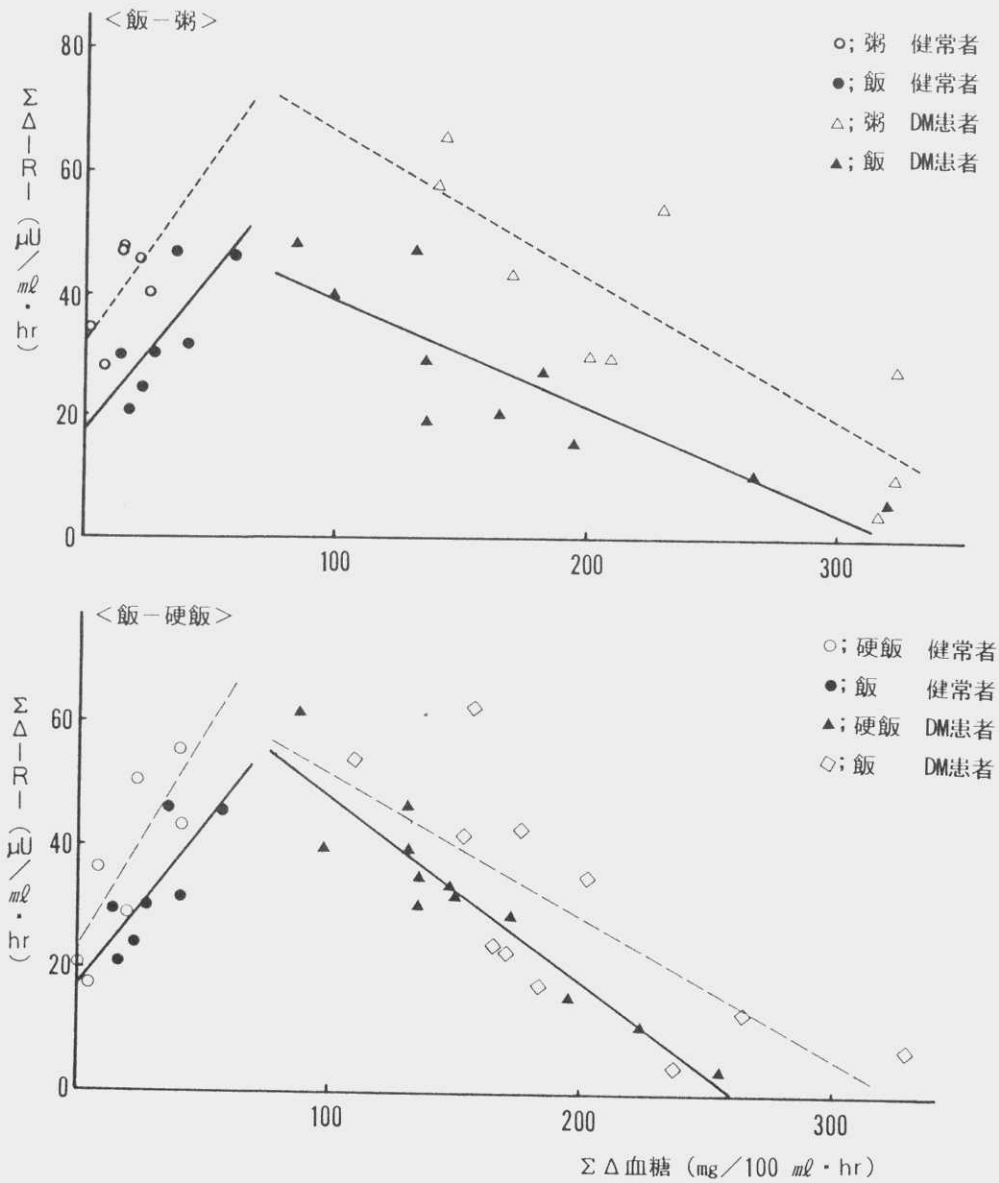


図6 飯・粥・硬飯負荷後2時間のΣΔ血糖とΣΔIRIの関係

<飯-粥>	健常者群	粥; $y=32.023 + 0.597x$ $r=0.690$ $p<0.10$ ( $n=6$ )
		飯; $y=17.217 + 0.516x$ $r=0.766$ $p<0.05$ ( $n=7$ )
糖尿病患者群	粥; $y=90.283 - 0.235x$ $r=-0.836$ $p<0.01$ ( $n=9$ )	
	飯; $y=56.439 - 0.174x$ $r=-0.845$ $p<0.01$ ( $n=10$ )	
<飯-硬飯>	健常者群	硬飯; $y=22.825 + 0.694x$ $r=0.798$ $p<0.05$ ( $n=7$ )
		飯; 同上
糖尿病 患者群	硬飯; $y=75.355 - 0.230x$ $r=-0.754$ $p<0.01$ ( $n=11$ )	
	飯; $y=78.173 - 0.299x$ $r=-0.931$ $p<0.01$ ( $n=12$ )	

#### IV. 考 察

本研究は、米飯の物理的性状の相違が血糖・インスリン分泌反応にどのような効果をもたらすかを明らかにすることを目的とした。その結果、物理的性状によって血糖・インスリン分泌反応が異なり、反応量は粥>飯、硬飯 $\geq$ 飯となることが示された。これは、咀嚼によるでんぷんの消化性と一致したが、*in vitro*の消化性とは一部一致しなかった。そこで本稿では、物理的性状の差によってこれらの反応が異なる要因について考察する。

現在までに血糖・インスリン分泌反応及び血糖反応の指標であるglycemic indexに対する食物の効果は多岐にわたり研究されている。それによるとでんぷんの性質としてのアミロース・アミロペクチンの割合<sup>20-22)</sup>、加熱によるでんぷんの糊化のレベル<sup>17-19)</sup>、高圧加熱やエクストルーダー処理による工業的加工<sup>32-35)</sup>によって血糖・インスリン分泌反応及びGIが異なることが報告されている。加えて、食物繊維<sup>36-38)</sup>やアミラーゼインヒビターの存在<sup>39, 40)</sup>、でんぷん-たんぱく質の相互作用<sup>41, 42)</sup>によっても、GIが低下することが報告されている。一方、食物の物理的性状による差異については、小麦で穀

粒の粒径の差が検討され<sup>8)</sup>、米では粉食と粒食との差が報告されている<sup>7, 43)</sup>。

今回負荷実験に用いた粥、飯、硬飯は、水分量、テクスチャーは異なるが、同一米であるために、アミロース含有量は一定である。また、でんぷんの糊化度は、飯（1.5倍重量加水飯）と硬飯（1.1倍重量加水飯）で差がなく共に95%を越えるとの報告<sup>44)</sup>から、粥を含めた試料間に糊化度の大きな差はないことが示唆される。試料自体に含まれている遊離のオリゴ糖量は粥で一番多かったが、それは $\alpha$ -アミラーゼによって生成される量の $10^{-2}$ のレベルであり、無視できる差であろう。アミノ酸量については飯・粥の報告がない。通常、飯中のアミノ酸量は生米のデータからの算出によって求められている<sup>45)</sup>ことから、粥-飯の差は少ないことが予想される。以上、物理的性状以外の性質の差は血糖・インスリン分泌反応に影響するものではないと判断できる。

負荷実験の結果、図3、5に示したように粥は飯に比べて、健常者ではインスリン・C-ペプチド分泌反応が大きく、糖尿病患者ではそれに加えて血糖上昇速度・ピーク時間が早く、上昇面積も大きかった（GI;146）。

粥が飯より負荷後短時間で高い血糖上昇を示す原因として、図1に示したように粥のほうが $\alpha$ -アミラーゼによるでんぷんの消化を受けやすいことが挙げられる。in vitroの消化性は、粥は飯の1.3倍であった。O'Deaら<sup>46)</sup>による米粉(ゾル状)と米粒の比較では米粉は米粒の2.3倍であった。粥は粉に近いものの、粥と飯の差は粉と粒の差に比べ僅かであった。in vitroによる消化性の差は咀嚼消化にも反映され、飯を20回咀嚼しても、粥10回咀嚼による消化の84%であった。これらの結果は、粥の水分含有量が82.0%と高く、飯粒が膨潤し組織破壊が進んでいるためと考えられる。組織破壊が大きい方がin vitroの消化性が高いことはGolayら<sup>47)</sup>によって豆で報告されている。加えて、粥の方が柔らかく流動性が大きい。このことは食後の胃内通過時間が短いことを示唆するものである。胃内通過時間は、粒子サイズによって影響され、サイズが小さい方が早いことが報告されている<sup>48)</sup>。粥は飯粒体積は大きいですが、組織が脆弱であるため飯の1/5の力で破壊し(表3)、咀嚼作用と $\alpha$ -アミラーゼの分解によって、胃内では粥の方が微細粒子になっていることが考えられる。また血糖上昇と胃内通

過時間が対応していることは、直接的に食物の胃内通過時間を測定したMourotら<sup>49)</sup>、Torsdottirら<sup>50)</sup>によっても確かめられている。胃内通過時間が短いことは、食物が腸管に早く達することを意味する。それは、腸管ホルモンの分泌をより早く促すことにもなる。Collierら<sup>43)</sup>は、玄米の粉食と粒食負荷の比較において、gastric inhibitory polypeptide (GIP) が粉食負荷で有意に高く分泌することを報告している。粥と飯の物性の差は粒食と粉食の差より小さいものの、粥は飯より粉食に近い。そのため、本研究においても粥負荷の方が、飯よりGIPの分泌が高いことも推察される。今回健常者・糖尿病患者ともに、粥の方がインスリン分泌が大きかった。このことは図6に示したように血糖の上昇だけでは説明できず、血糖以外のインスリン分泌促進因子の関与が示唆された。インスリン分泌促進因子は腸管ホルモンの他にアミノ酸、特にアルギニンやロイシンなどが挙げられる。プロテアーゼによる米たんぱくの消化性がアミラーゼと同様の傾向を持つと考えるならば、粥の方がアミノ酸生成速度が早いことが推察されるが、in vitroでの粥と飯のたんぱく質分解性については不明であるため、

アミノ酸によるインスリン分泌促進効果の差は推定できない。

一方、今回の負荷において、粥と飯では食事のかさが大きく異なった。Torsdottirら<sup>51)</sup>は健常者及びNIDDMに対し一定の食物負荷に300 mlの水を更に負荷することで、水負荷無しより、血糖・インスリン反応が増加したことを報告している。しかしGregersenらの報告<sup>52)</sup>では、食物+水負荷90 mlと負荷600 mlとに血糖・インスリン反応に差が見られず、水分量によってモデル化した食事のかさの違いが血糖に及ぼす影響は、未だ一致した結論は示されていない。いずれにせよ粥と飯との食物量の差は物理的性状の差の結果でもあり、本負荷実験では負荷でんぷん量は一定にしたが、負荷重量は調整せずに行った。

負荷所要時間についてはHeineら<sup>53)</sup>がでんぷん液負荷を1分と10分とで比較し、負荷後2時間までの血糖上昇面積に差があることを報告している。本研究での負荷所要時間(食事時間)の差は、表5に示したように飯-粥で1分以内、飯-硬飯で2分以内であり、負荷時間の差の影響を受けるほどではないと判断した。



健常者と糖尿病患者の比較では、食後2時間までのインスリン分泌量には差がなかった。しかし、健常者は食後30分にインスリン分泌の上昇ピークが見られるのに対して、糖尿病患者は血糖上昇後の分泌反応が緩慢であり、120分の時点でもなお上昇傾向が続いた。そのため血糖は粥で60分、飯で120分まで上昇し続けた。

血糖・インスリン分泌曲線および上昇面積の比較結果から、飯・粥の物理的性状の差が血糖・インスリン分泌反応に対する影響は、健常者より糖尿病患者の方が大きいことが示された。尚、今回は各グループの対象者が少ないため、同一群間内では、個人のでんぷんに対する血糖反応性の比較<sup>26)</sup>は行わなかった。

次に、飯と硬飯の比較では、硬飯の方がかたく、水分量も少ないことから、*in vitro*での消化性は硬飯の方が有意に低かった。しかし、負荷実験の結果は図4、5に示すように、健常者では硬飯の方がインスリン・C-ペプチド分泌が食後30分で高く、糖尿病患者では血糖上昇が大きかった（硬飯のGI;122）。一方摂食時の単位量当たりの咀嚼時間は、硬飯は飯の1.5-1.6倍となった。

でんぷんの消化は主に唾液 $\alpha$ -アミラーゼと膵 $\alpha$ -ア

ミラーゼによるが、胃内消化物を測定したBeazell<sup>54)</sup>によると、摂取したでんぷんの40%がすでに胃の中で分解されていた。咀嚼によって分泌される唾液 $\alpha$ -アミラーゼは胃酸によって失活するが、実際にはpH3の状態でもマルトース・マルトトリオース・でんぷんの存在により $\alpha$ -アミラーゼ活性の低下は著しく遅延する<sup>55)</sup>。さらに食後の胃内はpH5付近<sup>56, 57)</sup>であるため、唾液 $\alpha$ -アミラーゼはかなりの時間でんぷんに作用することが推測される<sup>58)</sup>。食物咀嚼中の唾液の分泌についてみると、唾液中に含まれる $\alpha$ -アミラーゼ量は唾液流量に影響されない<sup>11)</sup>ため、唾液分泌量が多い程、 $\alpha$ -アミラーゼの分泌が多い。咀嚼時の唾液の分泌は水分量が同レベルであればかたさに相関し<sup>6)</sup>、咀嚼筋の活動量が大きい程流量が増える<sup>11)</sup>。硬飯は飯よりかたく、咀嚼時間も長いことから、咀嚼時に分泌される唾液 $\alpha$ -アミラーゼは飯より多いことが推察される。加えて、咀嚼回数が多いことは、飯粒の表面積を大きくすることにもなる。これらの咀嚼の差異によって、飯-硬飯ではin vitroでの消化性と異なる負荷結果が得られたものと推測される。また、表4に示した咀嚼回数の増加に伴うG2比とG3比の

変化は、 $\alpha$ -アミラーゼ活性を増加させた場合のG2, G3  
の変化<sup>11)</sup>と一致することから、咀嚼回数の増加に伴い  
 $\alpha$ -アミラーゼ作用量が増えたためと考える。

In vitroの消化性がin vivoでの血糖上昇量や $\Delta$ 血糖  
(30分)と対応することは、すでに報告<sup>18, 19, 23, 24)</sup>さ  
れているが、これらの結果はでんぷんと共存する食物セ  
ンイやでんぷんの糊化状態の差を反映したものである。  
従って、本研究の結果は従来の報告と性質を異にするも  
のであり、相反するものではない。

以上、粥、飯、硬飯の単一食物負荷による血糖・イン  
スリン分泌反応について考察した。単一食物によるGI  
の結果を、そのまま食事という食物複合体に当てはめる  
ことに対しては、疑問視する意見もある<sup>59, 60)</sup>。しかし  
Chewら<sup>61)</sup>は個々の食物のGIの差が食事単位でも有効  
であることを報告している。今回用いた米飯は、日本人  
にとって主食であり、単一食物の摂取量及び摂取頻度の  
点で、他のいずれの食物をも上回るものである。従って、  
本結果は飯・粥を主食とした食事においても有効性を持  
つと考える。

物理的性状による血糖・インスリン分泌反応の差につ

いてはHaber ら<sup>62)</sup> がりんごで検討し、ピューレ状の方がホール状より健常者でインスリン分泌が高いことを報告している。これらの結果は、ピューレや粥に象徴される柔らかい食物は、インスリン分泌反応が高いことを示唆するものである。

インスリンの分泌過剰の習慣性は、糖尿病の素因を有する者にとっては、糖尿病発症の引き金ともなることから、粥様の食物を常時摂取することは健康上望ましくないと考える。ただし、日本人にとっての粥食は、病人食の代表でもある。粥は、水分が多く柔らかく、流動性が高い。このことによって、飲み込みやすく、消化速度も早い。これらの点は衰弱した者の食物として有効であろう。

一方、糖尿病患者にとって、食事コントロールは基本的な治療の一つであり、エネルギー制限をしている患者にとって、少ない食物量でいかに満足感を得るかは食事の上で大切なことである。表5に示したように、米重量が同じでも粥は飯より満腹感を得やすいという利点がある。しかし、飯よりGIが高くインスリン分泌量を多くするという欠点を持つ。糖尿病患者にとっては、これら

の要素を考慮して粥・飯の選択をすることが必要と考える。

以上、同一食品・同一量の摂取においても、調理によって生じる食物の物理的性状の差異は、生体反応に異なる作用をもたらすことが明らかとなった。すなわち、血糖上昇、インスリン・C-ペプチド分泌反応、咀嚼活動に相違が認められ、唾液分泌量、胃内通過時間、腸管ホルモンの分泌も異なることが示唆された。食物の物理的性状は家庭での調理レベルで調製が容易であり、今後さらに、摂食者の身体的状況に応じた食物物理的性状の検討が望まれる。

## V. 結 論

でんぷんの栄養学的役割として、吸収率と消化・吸収速度の2点が重要な要素であると言われている。今回、食物の物理的性状がもたらす栄養学的役割を検討することを目的とし、米飯を用いて、ヒトのでんぷんの消化・吸収速度の差すなわち、血糖・インスリン分泌反応を分析した。その際の物理的性状の差は、通常食されている範囲内とし、健常者及び糖尿病患者について検討した。

その結果、食物の物理的性状が異なることにより、血糖反応、またはインスリン分泌反応に相違が見られること、及び糖尿病罹患の有無によってもそれらの反応が異なることが示された。これは、物理的性状の差に起因する $\alpha$ -アミラーゼによる消化性の差異、並びに咀嚼活動の差より生ずる咀嚼消化性の差異が関与していることが明らかとなった。加えて、胃内通過時間や血糖以外のインスリン分泌促進因子が影響することが示唆された。

これらの結果から、同一食品・同一量の摂取であっても、調理によって変化する物理的性状の差は、異なる栄養学的役割をもたらすことが示された。このことは、食物の物理的性状を、食物の嗜好性の面から捉えることに

加えて、身体状態との対応からも検討することの必要性を示唆するものである。

## VI. 謝 辞

本研究を行うにあたり、終始ご懇切な御指導いただきました女子栄養大学教授、若林孝雄先生に心から感謝申し上げます。

また、研究全体を遂行するに当たりご懇切な御指導をいただきました群馬大学医学部助教授、河津捷二先生に深く感謝致します。

さらに、調理学の立場からの御教示を賜り、研究環境を提供していただきました、女子栄養大学前教授、寺元芳子先生、並びに女子栄養大学助教授、村田安代先生に心より感謝の意を表します。

最後に、東京顕微鏡院内科外来担当の方々、及び研究にご協力くださいましたすべての方々に深くお礼申し上げます。

## VII. 引用文献

- 1) 柳沢幸江, 田村厚子, 赤坂守人, 寺元芳子 : 食物の咀嚼筋活動量, 及び食物分類に関する研究, 小児歯誌, 27 : 74-84 (1989).
- 2) Sakamoto H., Harada T., Matsukubo T., Takaesu Y. and Tazaki M. : Electromyographic measurement of textural changes of foodstuffs during chewing. *Agric. Biol. Chem.*, 53 : 2421-2433 (1989).
- 3) 中川弥子, 畑江敬子, 又井直也, 島田淳子 : 咀嚼性に基づくテクスチャー特性による食品の特徴づけ, 家政誌, 42 : 843-848 (1991).
- 4) Watanabe S. and Dawes C. : The effect of different foods and concentrations of citric acid the flow rate of whole saliva in man. *Archs oral Biol.*, 33 : 1-5 (1988).
- 5) Watanabe S. and Dawes C. : A comparison of the effects of tasting and chewing foods on the flow rate of whole saliva in man. *Archs oral Biol.*, 33 : 761-764 (1988).
- 6) 木幡浩子, 原田勉, 松久保隆, 高江洲義矩 : 市販加工食品の食感の唾液分泌および咀嚼時間に及ぼす影響, 栄養・食糧誌, 40 : 299-305 (1987).
- 7) O'Dea K. and Nestel P.J. : Physical factors influencing



- postprandial glucose and insulin responses to starch. *Am. J. Clin. Nutr.*, 33 : 760-765 (1980).
- 8) Heaton K. W., Marcus S. N., Emmett P. M. and Bolton C. H.: Particle size of wheat, maize, and oat test meal : Effects on plasma glucose and insulin responses and on the rate of starch digestion in vitro. *Am. J. Clin. Nutr.*, 47 : 675 - 682 (1988).
- 9) 柳沢幸江, 田村厚子, 赤坂守人, 寺元芳子 : 食品の物性と摂食機能に関する研究 第1報 食品物性の器機的測定, 並びに食品分類について, *小児歯誌*, 23 : 962-983 (1985).
- 10) 柳沢幸江, 田村厚子, 寺元芳子 : 咀嚼筋活動量とテクスチュロメーター特性値の相関性, *家政誌*, 40 : 1011-1016 (1989).
- 11) 柳沢幸江, 若林孝雄 : 飯の物理的性状がでんぷんの消化・吸収速度に及ぼす影響 第1報 咀嚼によるでんぷん消化の要因分析, *咀嚼誌*, 1 : 45-52 (1991).
- 12) 小林喜平 : 咀嚼能率に関する研究 第1報 有歯顎者における咀嚼による澱粉の生化学的消化の基礎的検討 (その1), *補綴誌*, 15 : 25-37 (1971).
- 13) 小林喜平 : 咀嚼能率に関する研究 第1報 有歯顎者における咀嚼による澱粉の生化学的消化の基礎的検討 (その2), *補綴誌*,

- 15 : 186-207 (1971).
- 14) Jenkins D. J. A., Wolever T. M. S., Taylor R. H., Barker H., Fielden H., Baldwin J. M., Bowling A., Newman H. C., Jenkins A. L. and Goff D. V. : Glycemic index of foods : a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am. J. Clin. Nutr.*, 34 : 362-366 (1981).
- 15) Jenkins D. J. A., Wolever T. M. S., Jenkins A. L., Thorne M. J., Lee R., Kalmusky J., Reichert R. and Wong G. S. : The glycemic index of foods tested in diabetic patients : A new basis for carbohydrate exchange favouring the use of legumes. *Diabetologia*, 24 : 257-264 (1983).
- 16) Jenkins D. J. A., Wolever T. M. S. and Jenkins A. L. : Starchy foods and glycemic index. *Diabetes Care*, 11 : 149-159 (1988).
- 17) Holm J., Lundquist I., Björck I., Eliasson A. C. and Asp N. G. : Degree of starch gelatinization, digestion rate of starch in vitro, and metabolic respons in rats. *Am. J. Clin. Nutr.*, 47 : 1010-1016 (1988).
- 18) Lee P. C., Brooks S. P., Kim O., Heitlinger L. A. and Lebenthal E. : Digestibility of native and modified starches

- : In vitro studies with human and rabbit pancreatic amylases and in vivo studies in rabbits. *J. Nutr.*, 115 : 93-103 (1985).
- 19) Bornet F. R. J., Fontvieille A. M., Rizkalla S., Colonna P., Blayo A., Mercier C. and Slama G. : Insulin and glycemic responses in healthy humans to native starches processed in different ways : correlation with in vitro  $\alpha$  - amylase hydrolysis. *Am. J. Clin. Nutr.*, 50 : 315-323 (1989).
- 20) Goddard M. S., 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).
- 21) Behall K. M., Scholfield D. J. and Canary J. : Effect of starch structure on glucose and insulin responses in adults. *Am. J. Clin. Nutr.*, 47 : 428-432 (1988).
- 22) Behall K. M., Scholfield D. J., Yuhaniak I. 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).
- 23) Jenkins D. J. A., Ghafari H., Wolever T. M. S., Jenkins A.

- L., Barker H. M., Fielden H. and Bowling A. C. : Relation  
ship between rate of digestion of foods and post-prandial  
glycaemia. *Diabetologia*, 22 : 450-455 (1982).
- 24) Brand J. C., Snow B. J., Nabhan G. P. and Truswell A. S. :  
Plasma glucose and insulin responses to traditional pima  
indian meals. *Am. J. Clin. Nutr.*, 51 : 416-420 (1990).
- 25) Read N. W., Welch I.M., Austen C. J., Barnish C., Bartlett  
C.E., Baxter A. J., Brown G., Compton M. E., Hume K. E.,  
Storie I. and Worliding J. : Swallowing food without chewing;  
a simple way to reduce postprandial glycaemia. *Brit. J.  
Nutr.*, 55 : 43-47 (1986).
- 26) Crapo P. A., Reaven G. and Olefsky J. : Postprandial  
plasmaglutose and insulin responses to different complex  
carbohydrates. *Diabetes*, 26 : 1178-1183 (1977).
- 27) Crapo P. A., Insel J., Sperling M. and Kolterman O. G. :  
Comparison of serum glucose, insulin, and glucagon  
responses to different types of complex carbohydrate in no  
ninsulin-dependent diabetic patients. *Am. J. Clin. Nutr.*,  
34 : 184-190 (1981).
- 28) Bornet F. R. J., Costagliola D., Rizkalla S. W., Blayo A.,

- Fontvieille A. M., Haardt M. J., Letanoux M., Tchobroutsky G. and Slama G. : Insulnemic and glycemic indexes of six starch-rich foods taken alone and in a mixed meal by type 2 diabetics. *A. J. Clin. Nutr.*, 45 : 588-595 (1987).
- 29) O'Dea K., Snow p. and Nestel P. : Rate of starch hydrolysis in vitro as a predictor of metabolic responses to complex carbohydrate in vivo. *Am. J. Clin. Nutr.*, 34 : 1991-1993 (1981).
- 30) 日本食品工業学会食品分析法編集委員会編 : 食品分析法, 15-17, 42-44 (1982)光琳 .
- 31) 中村道徳・貝沼圭二編 : 澱粉・関連糖質実験法, 41,42 (1986) 学会出版センター.
- 32) Traianedes K. and O'Dea K. : Commercial canning increases the digestibility of beans in vitro and postprandial metabolic responses to them in vivo. *Am. J. Clin. Nutr.*, 44 : 390-397 (1986).
- 33) Holm J., Björck I., Asp N.-G., Sjöberg L.-B. and Lundquist I. : Starch availability in vitro and in vivo after flaking, steamcooking and popping of wheat. *J. Cereal Sci.*, 3 : 193-206 (1985). 34) Björck I., Asp N.-G., Birkhed D. and

- Lundquist I. : Effects of processing on availability of starch for digestion in vitro and in vivo ; I. Extrusion cooking of wheat flours and starch. *J. Cereal Sci.*, 2 : 91-103 (1984).
- 35) Brand J. C., Nicholson P. L., Thorburn A. W. and Truswell A. S. Food processing and the glycemic index. *Am. J. Clin. Nutr.*, 42 : 1192-1196 (1985).
- 36) Goulder T. J., Alberti K. G. M. M. and Jenkins D. J. A. : Effect of added fiber on the glucose and metabolic response to a mixed meal in normal and diabetic subject. *Diabetes Care*, 1 : 351-355 (1978).
- 37) Jenkins D. J. A., Bloom S. R., Albuquerque R. H., Leeds A. R., Sarson D. L., Metz G. L. and Alberti K. G. M. M. : Pectin and complications after gastric surgery : normalization of post-prandial glucose and endocrine responses. *Gut*, 21 : 574-579 (1980).
- 38) Wolever T. M. S. : Relationship between dietary fiber content and composition in foods and the glycemic index. *Am. J. Clin. Nutr.*, 51 : 72-75 (1990).
- 39) Puls W. and Keup U. : Influence of an  $\alpha$ -amylase inhibitor

- (BAY d 7791) on blood glucose, serum insulin and NEFA in starch loading tests in rats, dogs and man. *Diabetologia*, 9 : 97-101 (1973).
- 40) Golay A., Schneider H., Temler E. and Felber J.-P.: Effect of trestatin, an amylase inhibitor, incorporated into bread, on glycemic responses in normal and diabetic patients. *Am. J. Clin. Nutr.*, 53 : 61-65 (1991).
- 41) Jenkins D. J. A., Thorne M. J., Wolever T. M. S., Jenkins A. L., Rao A. V. and Thompson L. U.: The effect of starch-protein in teractoin in wheat on the glycemic response and rate of in vitro digestion. *Am. J. Clin. Nutr.*, 45 : 946-951 (1987).
- 42) Anderson I. H., Levine A. S. and Levitt M. D.: Incomplete absorption of the carbohydrate in all-purpose wheat flour. *New Engl. J. Med.*, 304 : 891-892 (1981).
- 43) Collier G. and O'Dea K.: Effect of physical form of carbohydrate on the postprandial glucose, insulin, and gastric inhibitory polypeptide responses in type 2 diabetes. *Am. J. Clin. Nutr.*, 36: 10-14 (1982).
- 44) 貝沼やす子, 江間章子: 加水量が炊飯に及ぼす影響, 家政誌,

- 38 : 567-575 (1987).
- 45) 科学技術庁資源調査会・資源調査所編：改定日本食品アミノ酸組成表, 257-267 (1986) 大蔵省印刷局.
- 46) O'Dea K., Snow P. and Nestel P.: Rate of starch hydrolysis in vitro as a predictor of metabolic responses to complex carbohydrate in vivo. *Am. J. Clin. Nutr.*, 34 : 1991-1993 (1981).
- 47) Golay A., Coulston A. M., Hollenbeck C. B., Kaiser L. L., Würsch P. and Reaven G. M.: Comparison of metabolic effects of white beans processed into two different physical forms. *Diabetes Care*, 9 : 260-266 (1986).
- 48) Holt S., Reid J., Taylor T.V., Tothill P. and Heading R. C.: Gastric emptying of solids in man. *Gut*, 23 : 292-296 (1982).
- 49) Mouro J., Thouvenot P., Couet C., Antoine J. M., Krobicka A. and Debry G.: Relationship between the rate of gastric emptying and glucose and insulin responses to starchy foods in young healthy adult. *Am. J. Clin. Nutr.*, 48 : 1035-1040 (1988).
- 50) Torsdottir I., Alpsten M., Andersson D., Brummer R. J. M.



- and Andersson H.: Effect of different starchy foods in composite meals on gastric emptying rate and glucose metabolism. *Human Nutr. Clin. Nutr.*, 38C : 329-338 (1984).
- 51) Torsdottir I. and Andersson H.: Effect on the postprandial glycaemic level of the addition of water to a meal ingested by healthy subjects and type 2 (non-insulin-dependent) diabetic patients. *Diabetologia*, 32 : 231-235 (1989).
- 52) Gregersen S., Rasmussen O., Winther E. and Hermansen K.: Water volume and consumption time : influence on the glycaemic and insulinemic responses in non-insulindependent diabetic subjects. *Am. J. Clin. Nutr.*, 52 : 515-518 (1990).
- 53) Heine R. J., Hanning I., Morgan L. and Alberti K. G. M. M.: The oral glucose tolerance Test (OGTT):effect of rate of ingestion of carbohydrate and different carbohydrate preparations. *Diabetes Care*, 6 : 441-445 (1983).
- 54) Beazell J. M. : A reexamination of the role of the stomach in the digestion of carbohydrate and protein. *Am. J. Physiol.*, 132 : 42-50 (1941).
- 55) Rosenblum J. L., Irwin C. L. and Alpers D. H.: Starch and glucose oligosaccharides protect salivary-type amylase

- activity at acid pH. *Am. J. Physiol.*, 254 : G775-G780 (1988).
- 56) Fried M., Abramson S. and Meyer J. H.: Passage of salivary amylase through the stomach in humans. *Dig. Dis. Sci.*, 32: 1097-1103 (1987).
- 57) Geervain P. and Theophilus F.: Studies on digestibility of selected legume carbohydrates and its impact on the pH of the gastrointestinal tract rats. *J. Sci. Food Agric.*, 32 : 71-78 (1981).
- 58) Lebenthal E.: Role of salivary amylase in gastric and intestinal digestion of starch. *Dig. Dis. Sci.*, 32 : 1155-1157 (1987).
- 59) Coulston A. M., Hollenbeck C. B., Swislocki A. L. M. and Reaven G. M.: Effect of source of dietary carbohydrate on plasma glucose and insulin responses to mixed meals in subjects with NIDDM. *Diabetes Care*, 10 : 395-400 (1987).
- 60) Hollenbeck C. B., Coulston A. M. and Reaven G. M.: Comparison on plasma glucose and insulin responses to mixed meals of high- intermediate-, and low-glycemic potential. *Diabetes Care*, 11: 323-329 (1988).

- 61) Chew I., Brand J. C., Thorburn A. W. and Truswell A. S.:  
Application of glycemic index to mixed meals. *Am. J. Clin. Nutr.* 47 : 53-56 (1988).
- 62) Haber G. B., Heaton K. W. and Murphy D.: Depletion and  
disruption of dietary fibre. Effect on satiety, plasma-  
glucose, and serum-insulin. *Lanc.*, Oct. 1 : 679-683 (1977).

大正十一年三月二十一日