

各種食品の血糖およびインスリン反応と Glycemic Index

里和スミエ、矢吹恭子、大城戸ツヤ子

緒言

糖尿病は膵B細胞からのインスリン分泌不全、あるいは肝臓、筋肉などの主要臓器でのインスリン作用不足にもとづく糖質、脂質、タンパク質の代謝異常が認められ、その基本的治療としての食事療法の重要性はよく知られている。食事療法の最終的目的は血糖値の正常維持にあり、食後の過度の血糖値上昇を避ける必要がある。糖尿病食は、1日の摂取熱量を設定し、それを糖質、脂質、タンパク質の適正比率に分配する。しかしながら同一糖質量を摂取しても、食品の種類により食後の血糖上昇反応が相違してくる場合がある。1981年にJenkinsら¹⁾は、同量の糖質を摂取しても食品により食後の血糖上昇度に差があることを、Glycemic Index (GI)なる尺度を用いて報告した。それによると同一糖質量でも、食品によってかなりのバラツキがあることが判明した。食後の血糖上昇に及ぼす影響には、食物の形、消化されやすさ、調理法、食物繊維量など多くの因子が考えられる。我々は22種類の食品について、糖質量75gに相当する量を健常人に摂取させて、血糖上昇反応と血中インスリン分泌量を測定した。その結果は糖尿病食事指導において、血糖値を上昇させない食事の摂り方として役立つものとする。

対象と方法

対象：本学臨床栄養研究室職員3名と、生活学科管理栄養士専攻3年生26名の計29名である。職員の平均年齢40才、学生は21才である。いずれも疾患を認めない健常者である。1人の被験者が3～5回の実験を繰り返しているが、その間隔は1週間以上あけている。

方法：はじめに全員に75g糖負荷を行なった。75gブドウ糖（トレーランG）を服用する前、30分後、60分後、120分後に採血を行ない、血糖と血清インスリン（immunoreactive insulin）の測定を行なった。次に日を変えて対象者の朝空腹時採血をしてから、表1、2の

表1 対象食品の栄養素量

	重量g	熱量kcal	タンパク質g	脂質g	糖質g	繊維g
さつま芋	261.3	321	3.1	0.5	75.0	1.8
じゃが芋	446.4	344	8.9	0.9	75.0	1.8
うどん	369.5	373	9.2	1.8	75.0	0
白飯	99.3	354	6.8	1.3	75.0	0.3
ヨーグルト	490.2	412	19.6	4.4	75.0	0
バナナ	331.9	289	3.7	0.3	75.0	1.0
バナナ+ ヨーグルト	287.6	250	3.2	0.3	65.0	0.9
リンゴ	200	120	6.4	6.0	10.0	0
リンゴ+ ヨーグルト	572.5	286	1.1	0.6	75.0	2.9
	496.2	248	1.0	0.5	65.0	2.5
	200	120	6.4	6.0	10.0	0

食品のいずれかを試験食として15分間で摂取してもらい、30分後、60分後、120分後の採血を行なった。血糖測定は、採血当日に血漿についてglucoseoxidase法で、インスリンは、測定まで -80°C の冷凍冷蔵庫に保存してあった血清について2抗体法で測定した。Glycemic Index (GI) の算出はJenkinsら²⁾の方法に準じて次のように行なった。75gブドウ糖負荷前から負荷後2時間までの血糖上昇面積をA、各種食品負荷後の同面積をBとし、 $B/A \times 100$ (%) をその食品のGIとした。また同時に得たインスリン値も血糖上昇面積と同様に計算してインスリン上昇面積を算出した。血糖またはインスリン値が前値以下に低下した場合はその面積は切り捨てた。血糖上昇面積の算出はWoleverら³⁾の方法を使い、ソフトウェアVP-PLANER(クレオ製)を用いて、パソコンPC-9801Fで計算した。成績はすべてMean \pm SE (N=4~6)である。

成績および考案

1 血糖およびインスリン上昇反応

糖質75gで熱量300Kcalに相当する白飯99g、バナナ332g、リンゴ573g、さつま芋261g、じゃが芋446g、うどん370g、ヨーグルト490gについて(表1)、負荷前後の血糖とインスリン値の推移を見たのが図1である。血糖上昇が顕著であったのは、じゃが芋とうどんであった。オープンで30分焼いたじゃが芋の血糖の変動は、負荷前値 84 ± 2 mg/dl、30分値 130 ± 10 、60分値 115 ± 10 、120分値 97 ± 6 であった。Woleverら⁴⁾は血糖値に影響を与える因子として、食品の形態、大きさ、タンパク含有量、調理法などが重要と考えて検討をしているが、表面積が広

表2 対象表品の栄養素量

	重量g	熱量kcal	蛋白質g	脂質g	糖質g	食物繊維g
白飯	237	351	6.2	1.2	75.0	米に換算0.78
赤飯	204	347	8.0	1.4	75.0	3.19
人参チャーハン ①	めし 195	289	5.1	1.0	61.8	0.63
	人参 190	61	2.3	0.4	11.9	4.86
	バター 13	97	0.1	10.5	11.6	—
		447	7.5	11.9	73.4	5.49
人参チャーハン ②	めし 154	228	4.0	0.8	48.8	0.50
	人参 380	122	4.6	0.8	12.1	9.72
	バター 13	97	0.1	10.5	23.2	—
		447	8.7	12.1	72.0	10.22
ライ麦パン(ラ イ麦30%)		156	19.0	3.9	74.8	8.13
	チーズ 30	102	6.8	7.8	0.4	0.18
	ロースハム 30	61	4.9	4.1	0.4	—
	マヨネーズ 10	70	0.2	7.5	0.3	—
		646	30.9	23.3	75.9	8.31
ロールパン	152	424	13.4	7.8	75.0	2.78
ぶどうパン	150	390	9.9	5.6	74.9	5.03
イーストドーナツ	171	663	12.0	34.9	75.1	—
大福もち	143	336	6.7	0.9	74.9	—
ショートケーキ	155	527	10.5	20.5	74.9	—
スパゲティ	265	395	13.8	2.4	75.0	7.22
日本そば (バジリコ・塩)	291	384	14.0	2.9	75.1	4.73
きんとき豆	142	371	10.5	2.0	74.8	9.76
うぐいす豆	140	371	10.5	2.0	74.8	9.62
さつま芋(蒸)	250	313	2.8	0.5	73.0	5.80
スイートポテト	さつま芋 150	185	1.8	0.3	43.1	3.48
	バター 15	112	0.1	12.2	—	—
	さとう 30	115	—	5.9	16.3	74.8
	牛乳 30	18	0.9	1.0	1.4	—
	卵 25	41	3.1	2.8	0.3	—
		471	—	16.3	30.0	3.48
アイス(乳脂肪分12%)	335	707	11.7	40.2	75.0	—
加糖ヨーグルト	490	412	19.6	4.4	75.0	—
バナナ	332	289	3.7	0.3	75.0	4.91
りんご	573	287	1.1	0.6	75.0	9.34
パイナップル	500	290	2.0	0.5	76.0	4.60

いほどデンプンはアミラーゼによって分解されやすく、また熱を加えることによって血糖上昇が起きやすいといっている。このためにうどんとじゃが芋は血糖上昇しやすいが、加えて両食品とも柔らかで消化面積が広いことも影響していよう。またじゃが芋はデンプン顆粒のゲラチン化が、55~66°Cという他の食品と比べてより低温で進行し、消化されやすいためと考えられている。じゃが芋、うどんともに血糖値低下遅延が見られるのが特徴であった。バ

ナナ、さつまい、リンゴ、白飯は血糖上昇はするが、じゃが芋、うどんほどではなく、120分後には前値に回復している。この理由としてこれらの食品には食物繊維がかなり含まれているためと思われる。食物繊維が血糖上昇抑制に働くことは、Jenkins⁵⁾や土井ら⁶⁾の多くの報告がある。リンゴに含まれているペクチンなどの可溶性繊維は、粘度が高く食物の胃排出を遅延させることにより、またさつまいに含まれるセルロースなどの不溶性繊維は、腸管での通

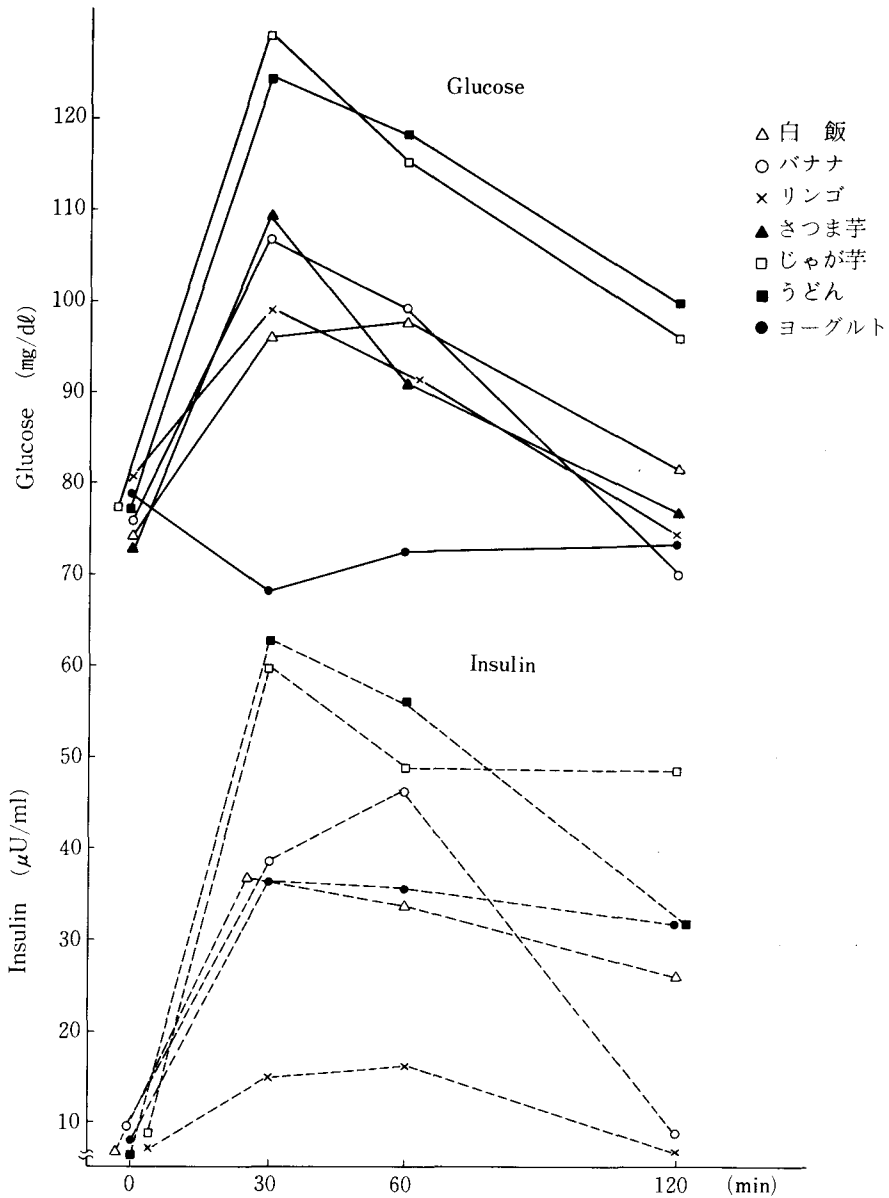


図1 食品別の血糖とインスリン反応

過時間を促進させることにより、食物の腸管からの吸収を遅延させ、食後の血糖上昇を抑制する。上記の食品と著しく反応が違っていたのはヨーグルトであった。負荷後30分で前値より低下し、60分でやや上昇傾向あるも前値より増加することなく終る。ヨーグルトは乳固形分が8～12%含まれ乳酸菌が多い。乳製品がおしなべて血糖上昇作用が低いことは、JenkinsらのGlycemic Indexの結果と同様であり、牛乳、アイスクリームのそれは最も低い食品として位置づけられている。

図1の点線で結んだのはインスリン値である。じゃが芋やうどんの分泌反応が最も大きく、30分は前値の6倍にも達し、120分後でも前値に戻らず高いままであった。血糖が高いとインスリン分泌も平行して高くなるのが分かる。ヨーグルトのインスリン分泌は血糖の場合のように低くはなかった。最も低いのはリンゴである。リンゴの食物繊維量はバナナの3倍あり、Haberら⁷⁾のリンゴ、そのピューレあるいはジュースを摂取させた場合、リンゴの血糖値は60分後に前値に戻るのみならず、インスリン分泌も低下したままであった。これは体内のインスリン必要量が節約されていることを意味している。

2 ヨーグルトを食品に添加した影響

図1に見るごとくヨーグルトに血糖低下作用が認められた。そこでリンゴとバナナにヨーグルトを添加すると、それらの血糖上昇反応を抑制することが出来るかどうかを、同一被験者について検討した。リンゴ496gにヨーグルト200gを添加して糖質75g、368Kcalにし、同糖質量で286Kcalのリンゴ573g摂取の場合と比較したのが図2である。リンゴのみの場合は、血糖値は前74±10mg/dlから30分後98±21、60分後91±13、120分後に前値に戻る。ヨーグルトを添加すると前82±3mg/dlが30分後76±8、60分後75±4と低下し、120分後に前値に回復するので、ヨーグルトを食品に添加すると血糖上昇が抑制されると云えよう。バナナにも同様の現象が見られるもののリンゴほど顕著ではなかった。インスリン分泌は添加の有無に関わらず低かった。

3 調理法の違いが血糖値とインスリン分泌に及ぼす影響

同じもち米でも餅につきあげたものと、おこわのように炊きあげただけのもの、餅を煮た場合と焼いた場合とでは、血糖上昇反応に差があるものと考えられている⁸⁾。じゃが芋とさつま芋について電子レンジで上下を変えて30分ずつ調理した場合、オーブンで250°Cで30分焼いた場合、蒸し器で30分蒸した場合についての血糖上昇傾向の違いを同一被験者について検討したのが図3である。電子レンジは前77±2mg/dl、30分後116±5、60分後105±9、120分後96±9。オーブンは前84±2mg/dl、30分後130±10、60分後115±10、120分後97±6。蒸すが前80±3mg/dl、30分後107±8、60分後111±12、120分後86±10でオーブン調理が最も血糖上

昇が高かった。さつま芋についての同様の検討でも、オープン調理における血糖上昇が最も高かった。調理方法が血糖上昇に与える影響については、Collings⁹⁾やVaalerら¹⁰⁾の報告がある。熱によるでんぷんのゲラチン化、それに伴う酵素的消化力などの効果に関係してきている。

4 混合食にした時の血糖およびインスリン上昇反応

同じ糖質量でも食品の種類によって血糖やインスリン上昇反応に差があったが、その糖質

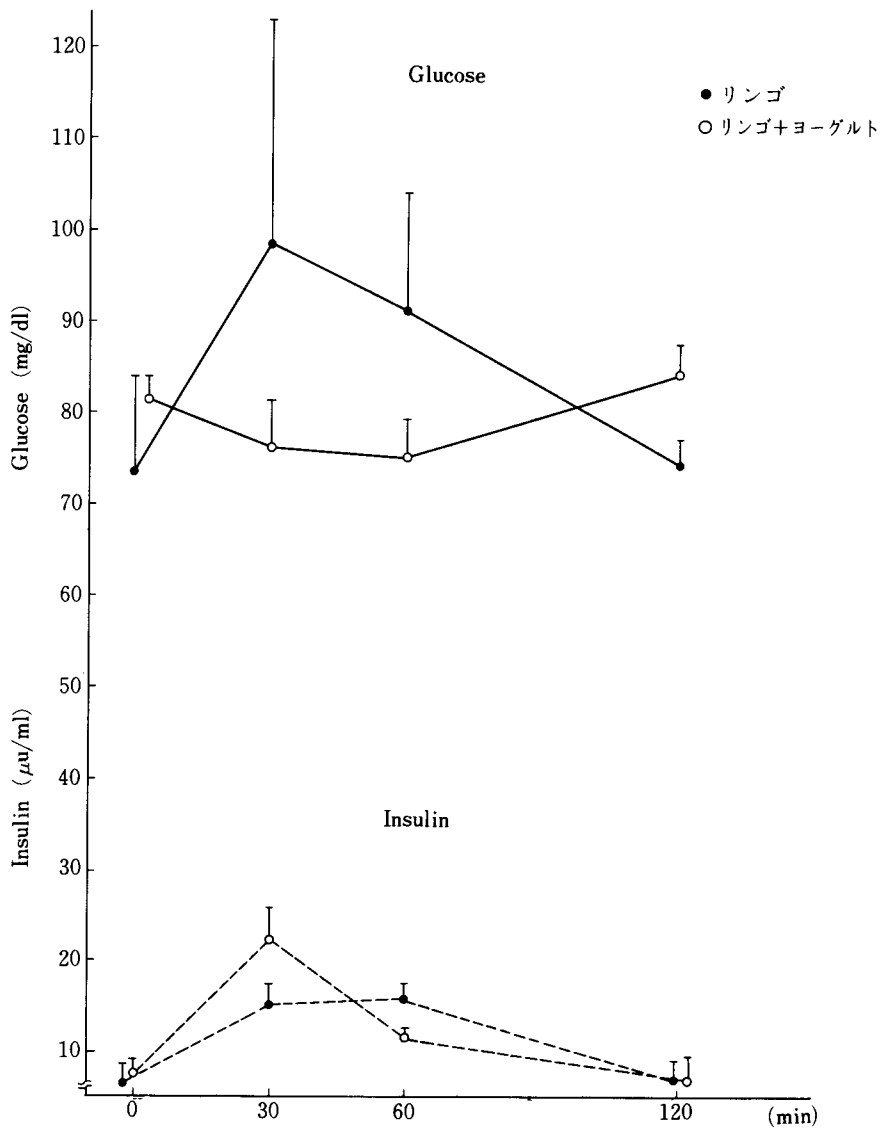


図2 リンゴにヨーグルトを加えた時の血糖とインスリン反応

に何を混ぜるかによっても影響されることが考えられる。日頃糖質のみ摂取という場合は少なく、食事形態はとり合わせ、調理法などによって複雑になっていることが多い。うどんと白飯について、ひじきまたは油を混ぜた場合について検討した。図4はうどんについて検討したものであるが、茹でうどん370gをつゆにつけて食べた場合、同量のうどんをサラダ油13gでいためた場合、同量のうどんに醤油で煮たひじき16gを混ぜた場合を比較してある。30分

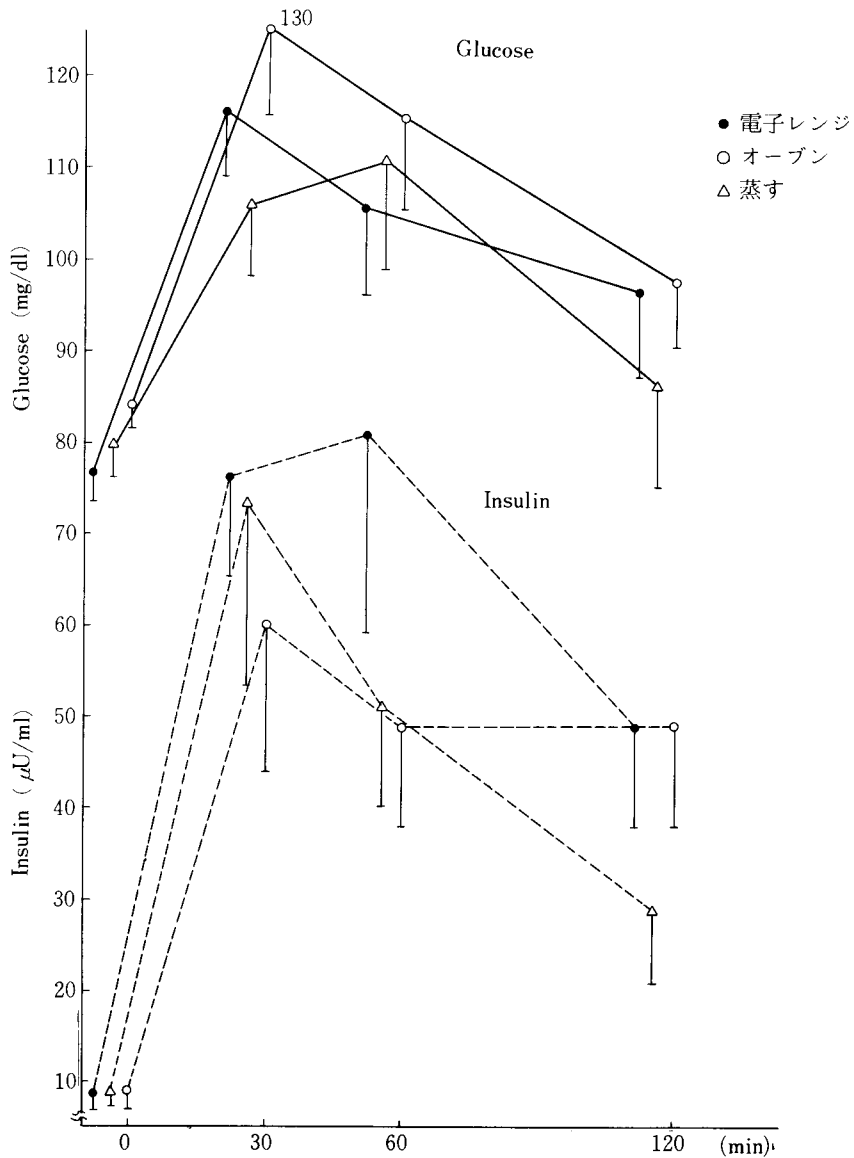


図3 ジャガイモの調理法別血糖とインスリン反応

後のうどんのみの血糖が 127 ± 2 mg/dlであるが、油を加えると 103 ± 7 、ひじきを加えると 107 ± 3 と低下、60分後のうどんのみの血糖が 118 ± 6 であるが、油を加えると 102 ± 15 に低下し、ひじきを加えると 111 ± 8 であった。120分後では混合食のほうが前値に戻らず、血糖低下が遅延している。インスリン分泌反応も血糖と同様の推移をとるが、120分後は差が無くなっていた。白飯の場合油添加は血糖上昇が抑制できたが、ひじき添加の影響は認められなかった。

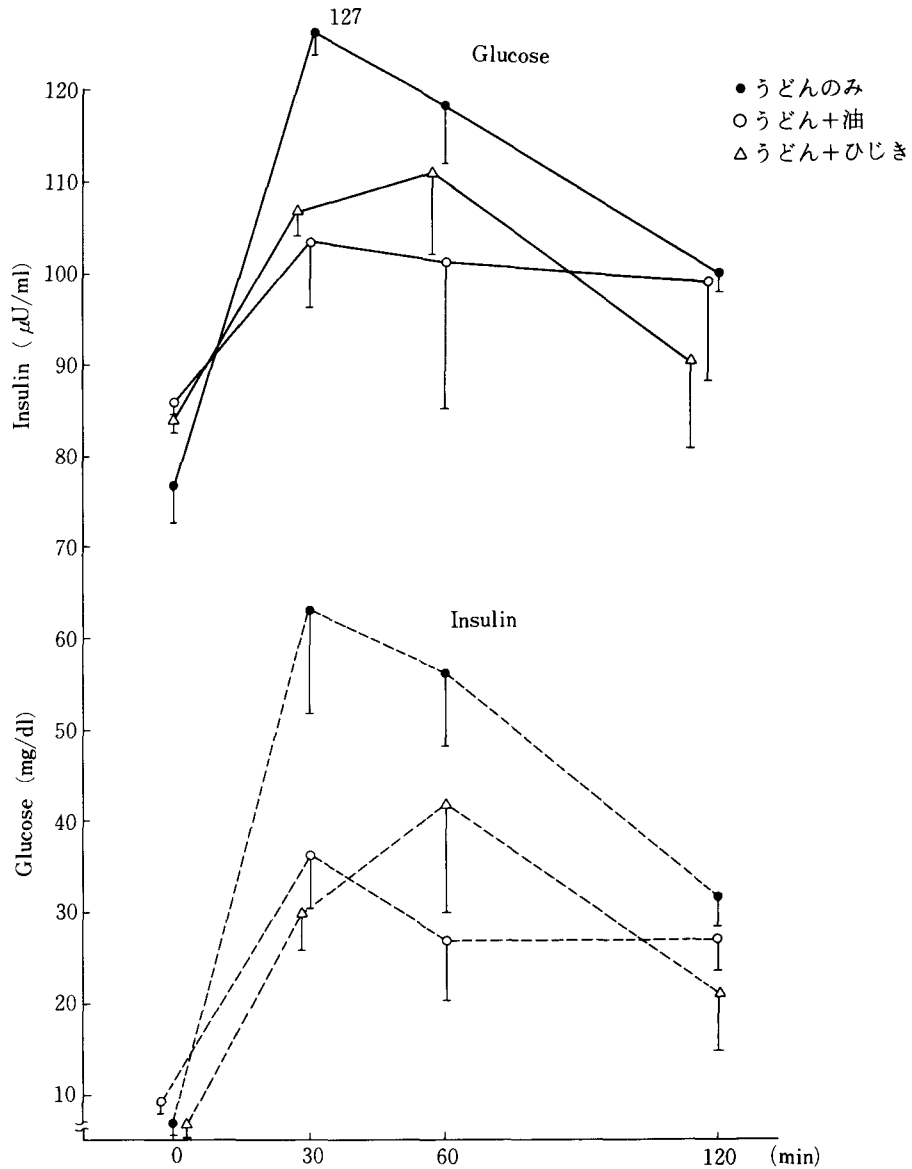


図4 うどんに油またはひじき混合時の血糖とインスリン反応

Collierら¹¹⁾のじゃが芋またはレンズ豆で脂肪をともに摂取する場合としない場合とを比較した成績によると、血糖およびインスリン反応ともに脂肪を同時に摂取した場合は、加えない場合に比べて有意に低値であった。このような脂肪摂取に伴う血糖上昇抑制の機序として、報告者らは食物の胃内停滞時間の延長によることを指摘している。同様な抑制作用をSimpsonら¹²⁾も報告している。我々の実験に供したひじき16gには9gの食物繊維が含まれている。食物繊維はその血糖上昇抑制作用があることから、糖尿病の食事療法にとって重要視されている⁹⁾。我々の成績ではひじき添加の効果はあったが、土井¹³⁾は、食物繊維の含有量が多くても必ずしも食後の血糖上昇率が低くないと言っている。

5 栄養素と負荷後血糖上昇値の相関関係

各種食品の糖質量が75gと一定になるように秤量すると、タンパク質や脂質の量がまちまちの場合が起きてくる。そこで糖質量は75gであるが、熱量、タンパク質、脂質の量が血糖上昇に与える影響を検討した。表2に示す各種食品を摂取した時のこれらの量と30分後、60分後、120分後の血糖値と空腹時血糖値の差との相関をみたのが表3である。熱量は120分後のみに $r=+0.77$ ($P < 0.001$)であった。(図5) これから熱量が多くなると、食物摂取後遅延して血糖が上昇するのであるから、特に糖尿病では食事療法にカロリー制限が大切であることを意味している。ライ麦パン、ドーナツが特に高かったのは、熱量が特に大きいことが原因で、きんとき豆、うぐいす豆が低かったのは、食物繊維の量が多いためと思われる。タンパク質との相関は120分後のみにみられ、 $r=+0.51$ ($P < 0.05$)であった。(図6) そばが高いのは意外であった。タンパク質の少ないリンゴ、パイナップル、スイートポテトの増加量は少なかった。タンパク質摂取はインスリン分泌を刺激する。したがってタンパク質が特に高かったライ麦パンの、60分後および120分後の血糖上昇はあまり高くなかった。脂質と食物繊維に

表3 負荷栄養素量と血糖上昇量の相関関係

		相関係数
熱量と	60分後血糖	-0.05
	120分 //	+0.77 P<0.001
タンパク質と	60分 //	-0.05
	120分 //	+0.51 P<0.001
脂質と	60分 //	-0.33
	120分 //	+0.39
食物繊維と	60分 //	-0.10
	120分 //	-0.04

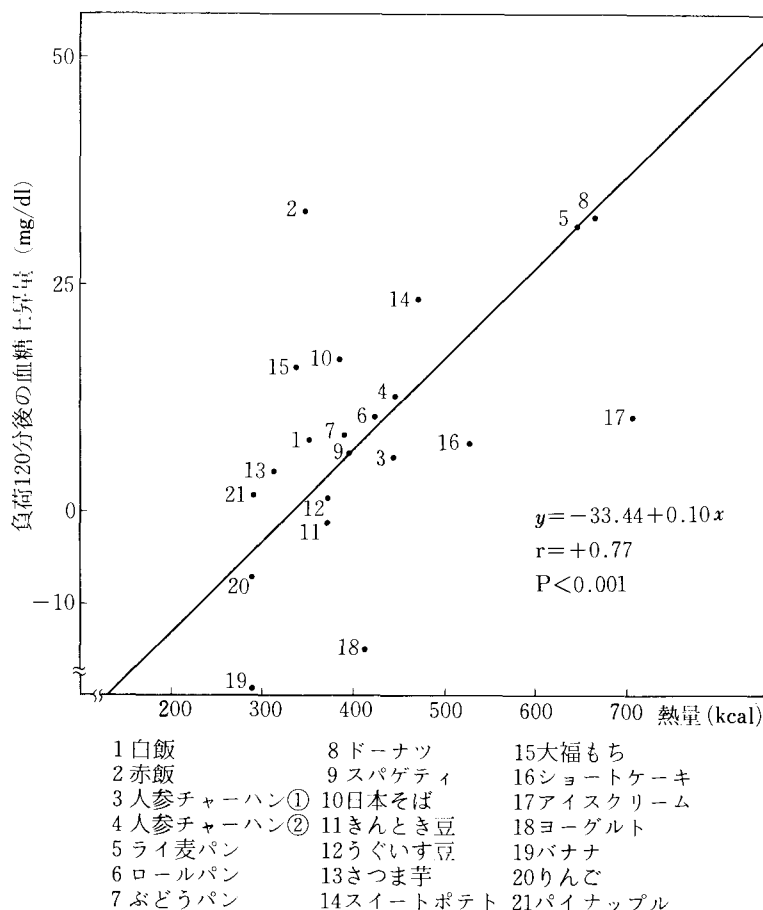


図5 熱量と負荷120分後の血糖上昇量の相関

については、いずれの時間帯についても、血糖上昇量との間に相関関係は認められなかった。脂質は食物の吸収を遅らせて血糖上昇低下作用があるためと考えられる。食物繊維量が血糖上昇量との間に相関がなかったことについては、多くの報告と異なった結果となった。他の報告は各栄養素量を一定にしておいて食物繊維を負荷している。しかし表2に示したように栄養素量がばらばらであると、熱量の多いことなどがまず影響をもたらして来るものと思われる。

6 食品の血糖およびインスリン上昇面積とGlycemic Index

表4にJenkinsらの方法で算出した上昇面積とGIを示している。白飯はGIでみると、油でいためた時が最も低く、ひじきを混ぜて食した時が高かった。インスリン上昇面積でみるといためた時のほうが上昇していた。うどんは茹でただけの場合が高く、GIは調理すると半減す

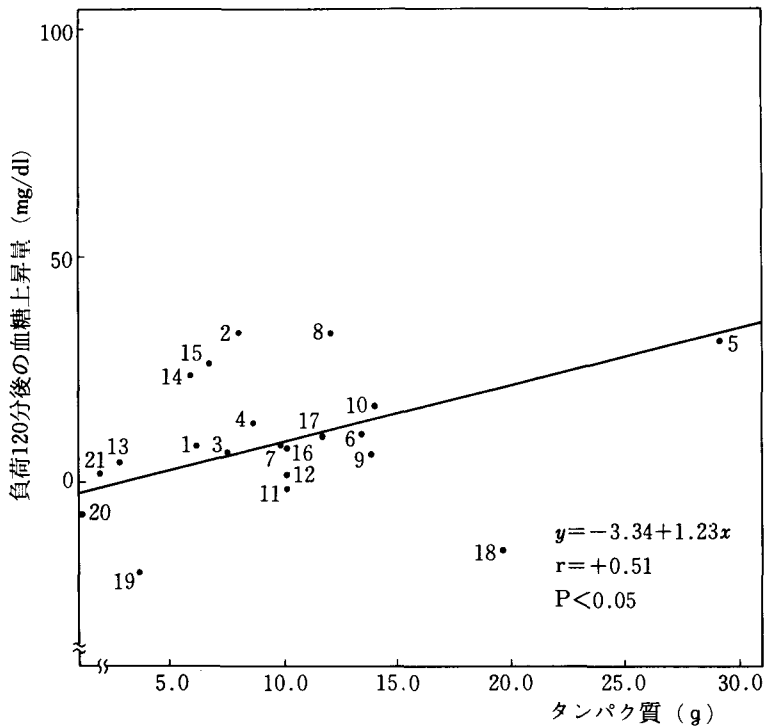


図6 タンパク質量と負荷120分後の血糖上昇量の相関

表4 食品の血糖およびインスリン上昇面積とGlycemic Index

	血糖上昇面積 mg・min/dl	インスリン上昇面積 mg・min/dl	GI %
白飯			
おにぎり	1,900±394	3,305±74	147
いためる	1,488±362	4,590±679	99
ひじき混合	3,351±296	2,623±459	266
うどん			
ゆでる	4,028±495	4,330±747	140
いためる	1,812±1,178	2,112±630	50
ひじき混合	1,951±571	1,402±415	68
じゃが芋			
電子レンジ	3,091±766	7,101±1,206	102
オープン	3,222±605	4,450±1,096	113
蒸す	2,389±623	4,331±1,094	76
ヨーグルト	199±133	2,098±1,006	7
バナナ	1,083±355	1,316±188	35
ヨーグルトかけ	1,087±524	3,126±787	33

る。じゃが芋の血糖上昇面積は、電子レンジとオーブンが高かったが、インスリン上昇面積は電子レンジが特に高かった。GIでは蒸すと低くなる。ヨーグルトの血糖上昇面積は他の食品と比較すると極端に低く、GIは7であった。Jenkins¹⁾らの成績は36であり、我々の成績が特に低かったのは、人種とか年代など被験者の差異もあるのかも知れない。このGIの低いヨーグルトをバナナに添加して、糖質量、熱量をバナナのみの時と同じくしてみたが、血糖上昇面積、GIともに差は認められなかった。

GIは、単なる食品の血糖上昇度でみるのとは異なって、75gブドウ糖負荷という尺度の概念が導入されている。しかしながら両方で検討した結果は、そう違わない傾向を示した。

要 約

糖質量を75gに一定した各種食品を摂取して、30、60、120分後の血糖とインスリン上昇反応の違い、およびGlycemic Indexを算出して検討した。

- 1) 糖質量のみならず熱量も300Kcalにしたヨーグルト、白飯、バナナ、リンゴ、さつま芋、じゃが芋についてみると、血糖上昇はじゃが芋とうどんが最も高かった。ヨーグルトは全く上昇せず、前値より低下した。インスリン分泌はうどんが最高で、リンゴが最も低かった。
- 2) ヨーグルトの血糖上昇抑制作用が、他の食品に混ぜた場合もあるのかをみた。リンゴにヨーグルトを添加すると60分後まで血糖値は前値より低下した。
- 3) じゃが芋について電子レンジ、オーブン、蒸すの調理法の違い別にみると、オーブンが最も血糖を上昇させた。
- 4) 混合食にした場合の影響は、うどんを油で炒ためたり、ひじきを混ぜると血糖、インスリンとも低下した。
- 5) 糖質量が75gで、他の栄養素量が一定でない場合は、負荷120分後に熱量と血糖上昇量との相関関係は $r = +0.77$ 、タンパク質との間は $r = +0.51$ であった。
- 6) GIは白飯、うどんが高かったが、混合食にすると低下した。ヨーグルトは最も低かった。

文 献

- 1) Jenkins, D.J.A. et al.: Am. J. Clin. Nutr., 34, 362-366 (1981)
- 2) Jenkins, D.J.A. et al.: Diabetologia, 24, 257-264 (1983)
- 3) Wolever, T.M.S. et al.: Am. J. Clin. Nutr., 43, 167-172 (1986)

- 4) Wolever, T.M.S. et al.: *Diabetes Care*, 9, 401-404 (1986)
- 5) Jenkins, D.J.A. et al.: *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 180, 423-431 (1985)
- 6) 土井邦紘、他：糖尿病、55, 197-203 (1982)
- 7) Haber, G.B., et al.: *Lancet*, 2, 679-682 (1977)
- 8) 平田幸正：糖尿病の治療、文光堂、(1991) p 329
- 9) Collings, P. et al.: *Br. Med. J.*: 282, 1032-1033 (1981)
- 10) Vaaler, S. et al.: *Diabetes Care*, 7, 221-223 (1984)
- 11) Collier, G., et al.: *Diabetologia*, 26, 50-54 (1984)
- 12) Simpson, R.W., et al.: *Am. J. Clin. Nutr.*, 42, 449-453 (1985)
- 13) 土井邦紘：内科、52, 251 (1987)

里 和 スミエ (本 学 教 授)

矢 吹 恭 子 (本学助手補)

大城戸ツヤ子 (本学臨時職員)