

# 食物摂取後の血糖値上昇に及ぼすラッキョウフルクトンの影響

谷 政八\* ・ 池田 涼子\* ・ 谷 洋子\* ・ 小林 恭一\*\*

\*仁愛大学人間生活学部 \*\*福井県食品加工研究所

## Effects of Rakkyofructan on Postprandial Glucose level in Plasma

Masahachi TANI\* Ryouko IKEDA\*\* Hiroko TANI\* Kyoichi KOBAYASHI\*\*

\*Faculty of Human Life, Jin-ai University \*\*Fukui Prefectural Food Processing Research Institute

Summary: The effect of Rakkyofructan on the glucose level in plasma after intake of high carbohydrate diet was investigated.

The six healthy female volunteers consumed 50 g of carbohydrate meal (the glucose, the cooked white rice, the bread, or the cooked sweet potato) with or without Rakkyofructan. Blood specimen was collected of before and 30, 45, 60, 90, 120 and 150 min after intake, and the glucose level in plasma was measured.

The peak value ( $C_{max}$ ) and the area under curve (AUC) of blood glucose level were significantly decreased in the group ingested glucose with Rakkyofructan compared to the group which ingested glucose only. The blood glucose level was suppressed from 60% to 32% (glucose;  $43.1 \pm 15.5\%$ , cooked white rice;  $40.5 \pm 13.5\%$ , cooked sweet potato;  $53.4 \pm 16.5\%$ , bread;  $68.5 \pm 20.5\%$ ) ( $p < 0.01$ ) by Rakkyofructan with 50 g of carbohydrate meal.

These results indicated that Rakkyofructan could inhibit the increase of blood glucose level after high carbohydrate diet intake.

Keywords キーワード：

soluble dietary fiber 水溶性食物繊維

blood glucose level 血糖値レベル

Rakkyofructan ラッキョウフルクトン

glycemic response グリセミックレスポンス

## 緒 言

食の欧米化に伴って日本のバランスの良い伝統食は、時代と共に変化してきたといわれる。現代人の食事はコンビニエンス・ストアや外食、ファーストフードを多く利用することにより、栄養的には、高脂肪・高エネルギー食の増加や食物繊維摂取量の減少へとつながっている。そして、食物繊維の摂取不足や過剰なエネルギーがもたらす生活習慣病の増加、特に糖尿病やガンなどの発症が問題となっている<sup>1)~4)</sup>。

食物繊維には、不溶性食物繊維と水溶性食物繊維の2種類があり、特に福井県産ラッキョウには、水溶性成分である食物繊維のフルクトンが90%を占めている。フルクトンの生理的な効果には他のオリゴ糖などと同様に血糖値上昇抑制効果作用、血清コレステロール値の低下作用、大腸におけるミネラルの吸収を増加させる作用、ナトリウムの吸収抑制作用などがあることを著者らは明らかにしてきた<sup>5)~15)</sup>。

私たちが食事から摂取する栄養素の60%は炭水化物であるが、同一重量の炭水化物を摂取しても、炭水化

物源となる食品の種類によって血糖応答（グリセミックレスポンス）に相違が見られることが最近知られている。たとえば、食物摂取後の血糖値の上昇の仕方は、炭水化物源となる食品成分とその調理方法、食事の摂取方法など多くの要因により著しく変動するといわれる<sup>16)~20)</sup>。

著者らは、ラッキョウフルクタンが血糖応答に反応を示す血糖上昇抑制作用があることをグルコース濃度（50g、75g）に10%ラッキョウフルクタン飲料の同時摂取で血糖応答が抑制的な影響を及ぼすことを報告した<sup>5)</sup>。本研究では、炭水化物源であるデンプン質食品と水溶性食物繊維であるラッキョウフルクタンの同時摂取が、血糖応答にどのような影響を与えるかを検討した。

## 実験方法

### 1. 試験対象者

被験者は、試験の趣旨を説明して同意が得られたいずれの疾患も認めない健常者の女子大学生6名とした。被験者の平均年齢は20.5±0.5歳、平均身長は157.5±5.5cm、平均体重49.5±2.5kg、BMI19.75±3.3であった。なお、試験の実施は、前報と同じ倫理委員会で承認を得た継続の内容である<sup>10)</sup>。

### 2. 試験食

飲食用試験食には、炭水化物食品のデンプン量が多い食品として、食パン、白米ご飯、サツマイモを選び試験食とした。試験食は食品糖質量50gになるような食品重量を食品成分表の炭水化物含有量を算出調製した。調製した試験食品は、ラッキョウフルクタンと関係する血糖応答に使用した。対照食には、糖質量50gのみのグルコース溶液を用いた（対照群1）。

耐糖能試験は糖質量50gのグルコースとラッキョウフルクタン10%容量（5g含有）の溶解した水溶液（50ml）を用いた（実験群1）。

調製試験食は、各食品重量および各食品重量と10%ラッキョウフルクタン飲料の全量がそれぞれ250gになるようにし、不足分は温飲料水で調整した。各実験群の試験食重量は表1の通りである。

表1 試験食の調製

実験群	炭水化物試験食 (食品糖質量：50g)	温飲料水	10%ラッキョウフルクタン飲料 (0.1g/mlW/V)
対照群1	グルコース飲料 150ml	100ml	0
実験群1	グルコース飲料 150ml	50ml	50ml
対照群2	食パン 107g	143ml	0
実験群2	食パン 107g	93g	50ml
対照群3	白米ご飯 135g	115ml	0
実験群3	白米ご飯 135g	65ml	50ml
対照群4	サツマイモ 160g	90ml	0
実験群4	サツマイモ 160g	40ml	50ml

### 3. 試験スケジュール

被験者には、試験開始12時間前から固形物を摂らず、飲料水は自由に摂取しても良いと指示した。糖質負荷は、空腹時の午前9時に実施した。実験群2、「食パンとラッキョウフルクタン」、実験群3、「白米ご飯とラッキョウフルクタン」および実験群4、「サツマイモとラッキョウフルクタン」は、最初の一口目にフルクタン10%溶液を飲食した。そして、途中激しい動きをしないで試験食は15分以内に喫食した。安静状態で試験食摂取直前（0分）、摂取後30分、45分、60分、90分、120分、150分の計7回、血糖値測定および血圧測定をおこなった。血糖値は自己血糖値測定器、血圧は自己血圧測定器により最高値、最低値を測定した。自己血糖測定器は、被験者が同一器を共有してはならないことから前報に従い測定マニュアルを順守し実施した<sup>10)</sup>。それぞれ実施試験の間隔は、1週間以上置いて同じ被験者で実施した。

### 4. 試験材料および調理方法

試験食品として、精白米は市販の福井県産コシヒカリ、食パン（6枚入り）は福井県鯖江市K社食パン工場産「食パン」、サツマイモは福井県あわら市産「金時」を使用した。

白米ご飯は、試験前に電気炊飯器で3カップ分量を炊飯し温かいものを供した。食パンは、前日焼き上がりの製品をそのまま供した。サツマイモは、試験前に都市ガスコンロ熱源の蒸し器で30分間蒸して温かいものを供した。なお、試験グルコース溶液は、市販の経口糖忍耐力 試験用糖質液「トレーラン」G50『シミ

ズ』（清水製菓(株)）を用いた。1 瓶中にブドウ糖は、50g に相当するデンプン部分加水分解物が含むと表示されていた。

食パンの成分表示は、内容量 2 cm 切り（6 枚入り）であり、原材料には、小麦粉、砂糖類、植物性油脂、乳製品、食塩、イースト、大豆粉、でん粉、小麦グルテン、乳化剤、イーストフード、クエン酸、ビタミン C で糖質量は食品分析表に基づき算出した。

## 5. データ集計

血糖値については、時間ごとの AUC（初期曲線下面積）算出法によって変動値を計算した。血圧の変動も平均値で統計分析した。

## 実 験 結 果

### 1. 実験前の被験者の状態

被験者には、胃腸などの既往歴や便秘症は認められなかった。また、全員、1 週間に 3 回以上の排便があった。食物摂取頻度調査表を用いて 1 週間ごとの食物摂取状況を記入させ、特に食事制限などの指示はしなかった。被験者のヘモグロビン値（平均 Hb 値 13.56 g/dl）は、定期健康検診時の自己申告データを用いた。

### 2. 試験物質摂取後の対象者の状態

前報<sup>9)</sup>では、甘味を持った単糖のグルコースを一度に多量飲用したため胃内の浸透圧が急上昇し、一過性の嘔（おくび）が発生し気分が悪くなることもあった。そこで、本研究では、ラッキョウフルクタンを飲用してから食品摂取の予備試験をおこなった。その結果、以下の状態が観察された。

#### ① 便の状態

実験中、グルコース飲料および他の試験食摂取により軟便化した者はいなかったが、ラッキョウフルクタン 5 g 摂取で軟便化した者は、グルコース飲料を摂取した場合で 3 名いた。これは、ラッキョウフルクタンの腸内発酵による腸内改善効果によるものと思われた。なお、実験中の排尿は、いずれの場合も困難性などの異常は見られなかった。

#### ② 自覚症状

予備試験では、最初にグルコース飲料 150ml のみの摂取で軽い吐き気や違和感などの症状を訴えた。しかし、10%ラッキョウフルクタン飲料 50ml の摂取では、どの試験食の場合でもこれらの症状を訴える者はいなかった。その結果、本研究の目的である炭水化物源試験食とラッキョウフルクタンの同時摂取が飲用に影響を与えないことが確認できた。

#### ③ 腹部症状

炭水化物源試験食とラッキョウフルクタンの摂取は、炭水化物源試験食のみを摂取した場合より時間の経過とともに「おなら」、「お腹の張り」、「グル音」、「下腹部痛」などをすべての被験者が訴えたが、いずれも一過性のものであった。

#### ④ 血圧の変化

実験中の採決後、血圧測定をおこなったところ全ての被験者が平常時よりやや高めの測定値であった。これは試験の緊張によるものと考えられた。試験期間中の最大血圧値、最低血圧値に変動はなかった。

### 3. 各試験食摂取後の血漿グルコース濃度に対するラッキョウフルクタンの影響

#### (I) グルコースの場合

##### I - a) グルコース 50g 摂取後の血漿グルコース濃度の経時的変化

図 1 に、グルコースのみを糖質源とした試験食摂取後の血漿グルコース濃度を示した。50g のグルコースのみを摂取した場合（対照群 1）、血漿グルコース濃度は摂取後 45 分でピークに達し、そのピーク値の平均値は 135mg/dl であった。

一方、10%ラッキョウフルクタン飲料を同時に摂取した場合（実験群 1）の血漿グルコース濃度の上昇では、そのピークは対照群 1 と同様に摂取後 45 分であったが、ピーク値の平均値は 116mg/dl であり、ラッキョウフルクタンを同時に摂取することにより低下する傾向にあった。

また、摂取後 150 分までの各時点の値も、ラッキョウフルクタンを同時に摂取することにより対照群 1 よりもいずれの時点でも低い傾向にあった。最大血漿グルコース濃度は、対照群 1 よりも約 16% も低く有意に

抑制効果が見られた。

なお、対照群1と同様に120分後には正常レベルまで回復した。

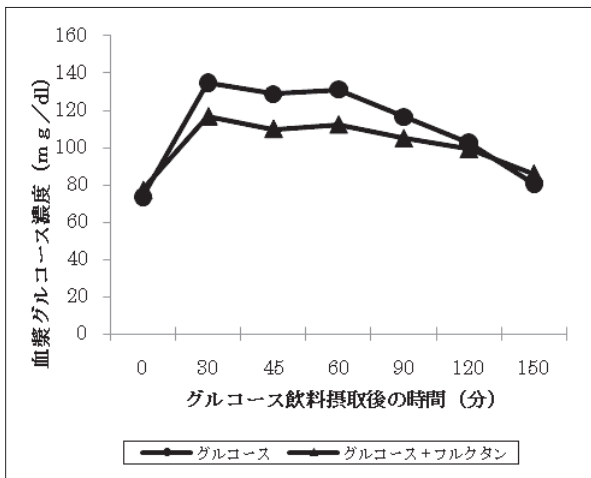


図1 グルコース摂取後の血漿グルコース濃度の変化

I - b) グルコース50g 摂取時の血漿グルコース濃度のAUC値

図2に被験者のグルコース飲用後の血漿グルコース濃度のAUC値の平均値を示した。グルコースとラッキョウフルクタンの同時摂取群（実験群1）では、対照群1よりも43.1±15.5%の有意な低下を示した ( $p < 0.05$ )。

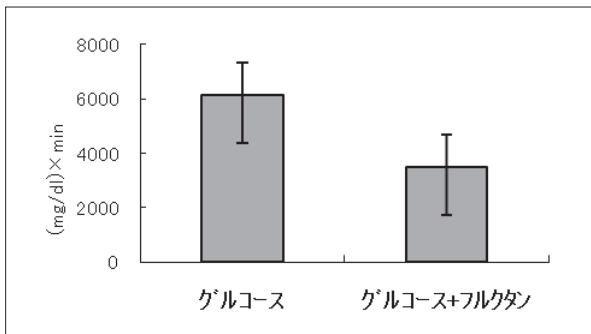


図2 グルコース摂取後の血漿グルコース濃度のAUC値

(II) 食パンの場合

II - a) 食パン107g 摂取時の血漿グルコース濃度の経時変化

図3に、食パンを糖質源とした試験食摂取後の血漿グルコース濃度を示した。食パンのみを摂取した場合（対照群2）、血漿グルコース濃度はグルコース摂取試験の場合と同様に摂取後45分でピークに達し、そのピーク値の平均値は124mg/dlであった。ただし、摂取後30分における血糖濃度の上昇はグルコース摂取時

と比べて緩やかであった。ラッキョウフルクタンを食パンと共に摂取した場合（実験群2）の血漿グルコース濃度の上昇では、そのピークは摂取後30分にあり、平均値は109mg/dlであった。また、摂取後30分から150分までのいずれの時点でも、血漿グルコース濃度はラッキョウフルクタンを同時に摂取することにより対照群2よりも約29%も低く有意な抑制効果が見られた。なお、実験群2は、正常レベルまで回復するには90分であった。

食パンには糖質の砂糖が含有されており対照群2では早く消化して高値に作用しており、ラッキョウフルクタンでは抑制する傾向を示した。

II - b) 食パン摂取時、血漿グルコースのAUC値

図4に被験者の食パン107g 摂取後の血漿グルコース濃度のAUC値の平均値を示した。食パンとラッキョウフルクタンの同時摂取群（実験群2）では、対照群2と比較して68.5±20.5%の有意な低下を示した ( $p < 0.01$ )。

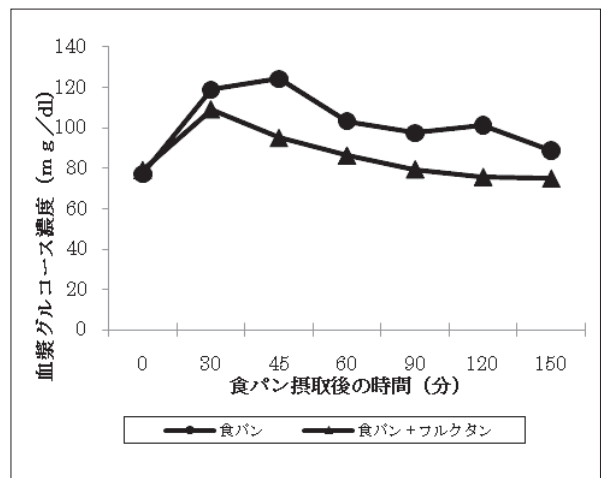


図3 食パン摂取後の血漿グルコース濃度の変化

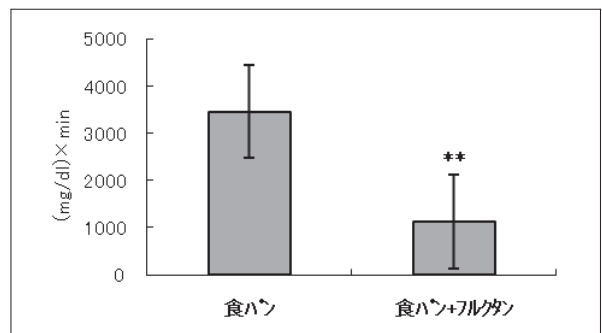


図4 食パン摂取後の血漿グルコース濃度のAUC値

食パンには、炭水化物のほか脂質、タンパク質、食品添加物が含まれており、血糖応答に影響し血液グルコースの吸収速度は緩やかな傾向となり血漿グルコース濃度の上昇を抑制しているものと推測された。

(Ⅲ) 白米ご飯の場合

Ⅲ - a) 白米ご飯135g 摂取後の血漿グルコース濃度の経時的变化

図5に白米ご飯を糖質源とした試験食摂取後の血漿グルコース濃度を示した。白米ご飯のみを摂取した場合（対照群3）、血漿グルコース濃度は摂取後30分でピークに達し、そのピーク値の平均値は108mg/dlであった。ラッキョウフルクタンを白米ご飯と共に摂取した場合（実験群3）の血漿グルコース濃度の上昇は、そのピークが摂取後30分にあったが、食パンの摂取時と同様、摂取後30分から150分までのいずれの時点でも、対照群3よりも低い傾向にあり、そのピーク時の平均値は101mg/dlであった。最大血漿グルコース濃度は、対照群3と比較して約10%の抑制効果が見られた。なお、対照群3と同様に150分後でも緩やかに高値が維持され正常値まで回復していなかった。

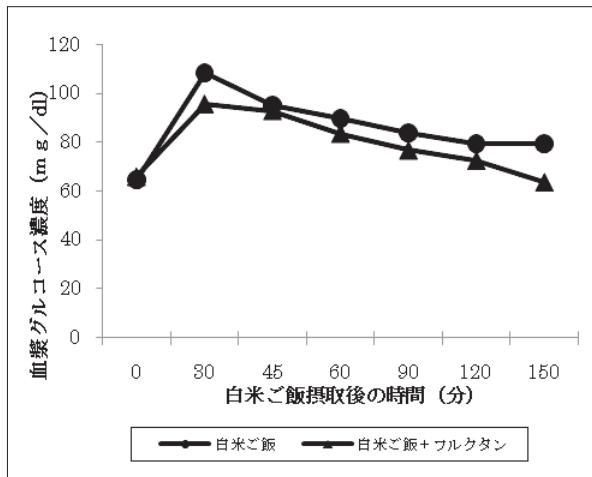


図5 白米ご飯摂取後の血漿グルコース濃度の変化

Ⅲ - b) 白米ご飯摂取後の血漿グルコース濃度の AUC 値

図6に被験者の白米ご飯135g 摂取後の血漿グルコース濃度の AUC 値の平均値を示した。白米ご飯とラッキョウフルクタンの同時摂取群（実験群3）では、対照群3と比較して40.5±13.5%の有意な低下を示した (p<0.01)

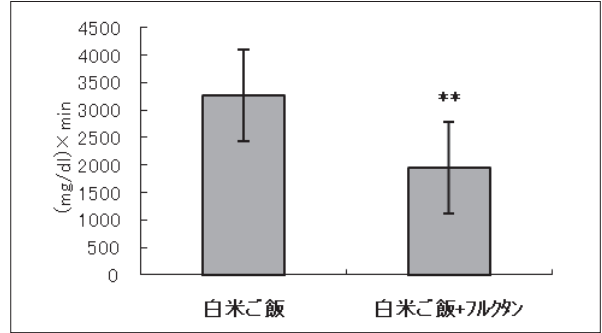


図6 白米ご飯摂取後の血漿グルコース濃度の AUC 値

(Ⅳ) サツマイモの場合

Ⅳ - a) サツマイモ摂取後血漿グルコース濃度の経時的变化

図7に、サツマイモを糖質源とした試験食摂取後の血漿グルコース濃度を示した。サツマイモのみを摂取した場合（対照群4）、血漿グルコース濃度は摂取後30分でピークに達し、そのピーク時の平均値は127mg/dlであった。ラッキョウフルクタンをサツマイモと共に摂取した場合（実験群4）の血漿グルコース濃度の上昇では、摂取後45分でピークに達し、そのピーク時の平均値は100mg/dlであった。摂取後30分から150分までの血漿グルコース濃度の上昇は、グルコース摂取時と比べて緩やかであり、すべての試験食の中で最も上昇が緩やかであった。最大血漿グルコース濃度は、対照群4と比較して約20%の抑制効果が見られた。なお、対照群と同様に約120分後に正常レベルまで回復していた。

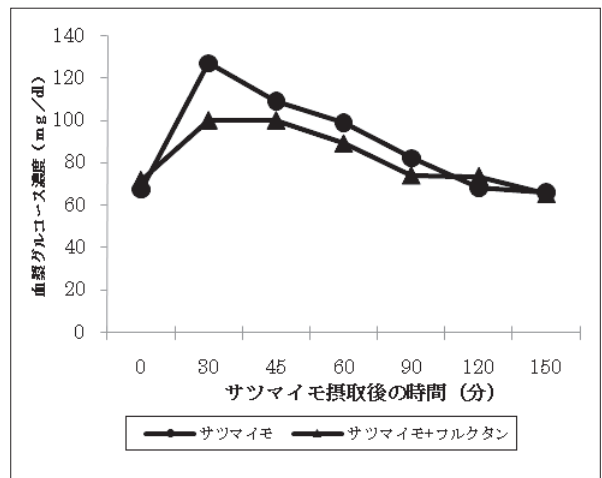


図7 サツマイモ摂取後の血漿グルコース濃度の変化

IV-b) サツマイモ摂取後の血漿グルコース濃度のAUC値

図8に、対象者のサツマイモ160g摂取時の血漿グルコース濃度のAUCの平均値を示した。サツマイモとラッキョウフルクタンを同時摂取群(実験群4)では、対照群4と比較して53.4±16.5%の有意な低下を示した(p<0.01)。

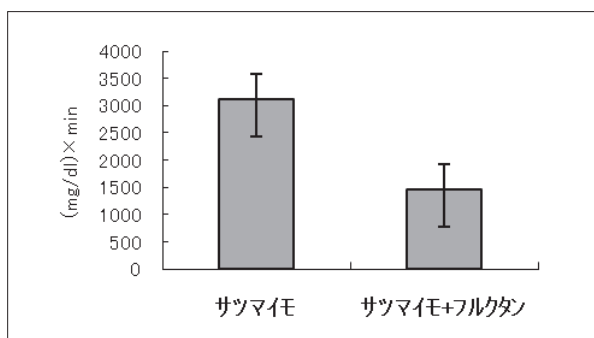


図8 サツマイモ摂取後の血漿グルコース濃度のAUC値

4. グルコースを対照とした炭水化物源試験食の比較

図9には、炭水化物源食品を単一で摂取した場合の血漿グルコース濃度の上昇から糖質の吸収速度をグリセミック・インデックス値(GI値)として算出し、比較した。グルコースは、最も速い上昇で30分後に最大値180%に達し、ほぼ60分間維持された。サツマイモは、急速に180%まで上昇したが、低下速度が速く120分後に最初に戻った。食パンでは、45分後に最大値160%に達した。その後60分から120分まで緩やかに130%前後を維持した。白米ご飯は、30分後に最大値160%に達し、45分後から120分後まで緩やかに120%前後を維持した。

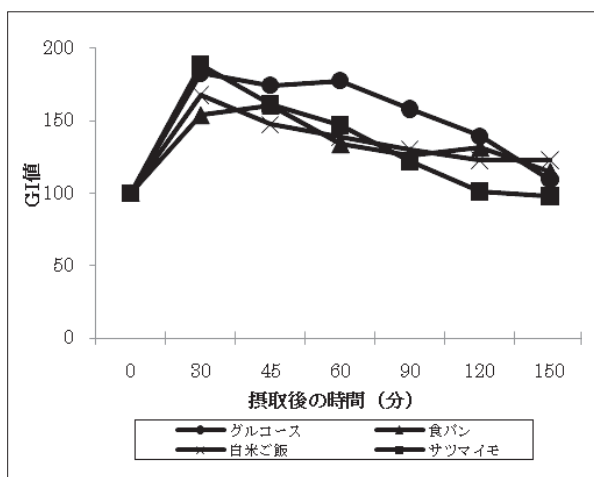


図9 グルコースと炭水化物源食品三種類摂取後の糖質の吸収(ラッキョウフルクタン非摂取時)

次に、ラッキョウフルクタンを同時摂取した場合の炭水化物源食品からの糖質の吸収経過を比較した(図10)。ラッキョウフルクタンの同時摂取は、炭水化物の吸収速度を低下させ、かつ食品の種類においても差がみられた。試験食30分後の最大値は150%前後であっても白米ご飯、サツマイモ、食パンの順に低下速度が遅く、食パン、サツマイモでは90分後、白米ご飯では120分後に正常値にまで回復していた。

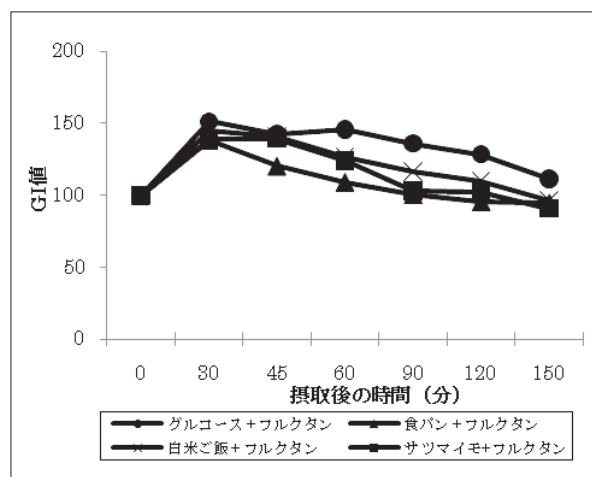


図10 グルコースと炭水化物源食品三種類摂取後の糖質の吸収(ラッキョウフルクタン同時摂取時)

ラッキョウフルクタンが、炭水化物源試験食摂取後の被験者の血漿グルコース濃度上昇に対して抑制的に作用していることが観察された。

考 察

前報では、濃度の異なるグルコース摂取後の血糖値上昇に対して、ラッキョウフルクタン負荷が抑制的に作用することを報告した<sup>5) 10)</sup>。

本研究では、食事におけるラッキョウフルクタンの同時摂取が血糖上昇の抑制を助長することが明らかにされた。著者らは、これまでにラットを用いた動物試験で、高糖質飼料と同時にラッキョウフルクタンを投与すると、インスリンへの影響が血糖値の変化パターンに対応し、血糖値の上昇が抑制されることを報告している<sup>6) 7) 8)</sup>。さらに、炭水化物が同じであっても、食物の種類によって水溶性食物繊維のラッキョウフルクタン摂取後の血糖値上昇に違いがあることが明らかとなった。血糖値を表す方法として、基準となる食品と

同重量（通常50g）の炭水化物を含む食品を摂取し、摂取後2時間までの血糖上昇度を測定するGI値がある<sup>17)</sup>。つまり、炭水化物が消化されて血液中にグルコースとして取り込まれるために必要な時間を、基準食品を100とし他の炭水化物食品と比較するための指標である。食後の血糖値の上昇の速度を表した指標であり、グルコース、食パン試料のようなGI値の高い食品は、血糖値を急上昇させ、インスリンが急激に分泌されることを意味している。

インスリンは、血液中の中性脂肪やグルコースを脂肪組織に優先的に取り込み、筋肉組織でエネルギーとして使われることを抑制する。

ラッキョウフルクタンは、GI値の低い食品においてもさらにGI値を低くするので、インスリンが緩やかに分泌され、血液中の中性脂肪やグルコースが筋肉に優先的に取り込まれ、緩やかにエネルギーとして燃えやすくする作用があることが示唆された。

ラッキョウフルクタンの性質を応用して、生活習慣病に関わるインスリン分泌やグリセミックロードが低い糖尿病患者などを対象に、高食物繊維としてラッキョウフルクタン投与をおこない、血糖値の改善効果や血漿アディポネクチンの有効性などを検討している。

## まとめ

健康な女子大学生6名を対象に、炭水化物源食品(糖質量50g)とラッキョウフルクタン5gを同時に摂取させた。摂取後、経時的に血糖値を計測し、変化量をAUC算出法による変動値として解析した。

ラッキョウフルクタンは、被験者の炭水化物源食品摂取後の血糖上昇に有意に抑制的に作用し、炭水化物の吸収速度を低下させた。食品の種類においても差がみられ、白米ご飯、サツマイモ、食パンの順に血糖値低下速度が遅くなり、150分後にはほぼ正常値まで回復した。なお、体調の状況、血圧に関しては対照群とラッキョウフルクタン摂取群に有意な差は認められなかった。

本研究より、糖質50gの食品摂取による血糖値応答は、食品の種類によって差があるが、いずれの場合でもラッキョウフルクタンの同時摂取により血糖値の上

昇が抑制されることが明らかとなった。

## 謝 辞

本研究に協力いただいた仁愛女子短期大学専攻科食料栄養専攻学生のみなさんおよび生活科学学科新庄絹代助手（現在 医療法人寿人会 木村病院 管理栄養士）に感謝いたします。

## 文 献

- 1) 木村修一・小林修平翻訳監修：最新栄養学（第9版）—専門領域の最新情報—、(2007) 建帛社、東京
- 2) 日本食物繊維学会監修：食物繊維 基礎と応用、(2008) 第一出版、東京
- 3) 辻 啓介・土井邦紘編集：食物繊維—基礎と臨床—、(1997) 朝倉書店、東京
- 4) 厚生労働省策定日本人の食事摂取基準（2010年版）（2009）第一出版、東京
- 5) 谷政八、池田涼子、新庄絹代、小林恭一：耐糖能試験における血糖レベルに及ぼすラッキョウフルクタンの影響、仁愛大学研究紀要、人間生活学部編（創刊号）Vol. 1、9-15、2009
- 6) 谷政八・増田 勝己・谷洋子・小林恭一：ラットの栄養素代謝におよぼすラッキョウ成分の影響—肝臓脂質・血清成分— 第56回 日本栄養・食糧学会 P64、2002年7月
- 7) 谷政八・池田涼子・三谷勝己・谷洋子・小林恭一・小西雅子：ラッキョウ端切り粉末の有効利用に関する基礎的研究—食物繊維源としての有効性 ラット血清成分— 第57回日本栄養・食糧学会大会 P.167、2003年5月
- 8) 新庄絹代・谷政八・小林恭一・池田涼子・谷洋子・出口洋二：ラッキョウフルクタンの有効利用に対する基礎的研究—高脂質食ラットの血漿成分—栄養学雑誌 Vol. 62、No.5、P.412、2004年10月
- 9) 谷政八・池田涼子・新庄絹代・小林恭一・出口洋二：ラッキョウフルクタンの有効利用に関する基礎的研究—高脂質食ラットの排泄糞尿成分の影響—第59回日本栄養・食糧学会大会、P.66、2005年5月
- 10) 谷政八・小林恭一・池田涼子・新庄絹代・谷洋子：ラッキョウフルクタン摂取の耐糖質濃度に及ぼす影響 栄養学雑誌、63、5、p377、2005
- 11) 福井県：水溶性食物繊維としてのフルクタンの製造方法特許第3111378号（2000）
- 12) 小林恭一：水溶性食物繊維としてのフルクタン、FOOD Style 21、2(8)、62、(1998)

- 13) 小林恭一、他：地域農産物の機能性成分総覧、地域特産の品質・機能性成分、北陸、福井県、p. 467-470  
(2000) サイエンスフォーラム、東京
- 14) 小林恭一、他：地域農産物の生理機能・活用便覧、北陸の地域特産物、福井県、ラッキョウ、p. 192-197  
(2004) サイエンスフォーラム、東京
- 15) 谷政八・小林恭一・小西雅子・斉藤忠夫：ラッキョウフルクタン<sup>1</sup>の機能特性の解明と食品への利用  
食品の試験と研究、No. 36 PP. 81~84 平成13年3月
- 16) 奥恒行：改訂新版 食物繊維、(1995) 第一出版、東京
- 17) Jenkins, D. J. A., Taylor, R. H. and Wolever, T. M. S.:  
The diabetic diet, dietary Carbohydrate and difference in digestibility. Diabetologia, 23, 477 (1982)
- 18) 佐藤由美、佐久間美幸、稲毛寛子、木村修一：健常な女性における食酢の食後血糖値上昇抑制効果、日本臨床栄養学会誌27(3) 321-325, 2005
- 19) 奥恒行、藤田温彦、細谷憲政：グルコマンナン、プルランならびにセルロースの血糖上昇抑制効果の比較  
日本栄養・食糧学会誌36(4) 301-303, 1983
- 20) 下村吉治、長崎大、松尾昌幸、前田憲、村上太郎、佐藤寿一、佐藤祐造：耐糖能試験に及ぼす血糖および血清インスリンレベルに及ぼすポリデキストロースの影響、日本食物繊維学会誌8(2) 105-109 (2004)