

## 呼気中水素濃度からみたフルクトースの消化吸収とグルコースの影響

Effect of glucose on fructose absorption and breath hydrogen concentration

加賀谷 みえ子\*      近 藤 孝 晴\*\*      堀 部      博\*

Mieko KAGAYA\*      Takaharu KONDO\*      Hiroshi HORIBE\*\*

Effects of glucose on fructose absorption were examined in four healthy subjects using breath hydrogen as an indicator. Twelve kinds of test solution were used; glucose (25 g), fructose (25 g), sucrose (25 g), lactulose (9 g), glucose (10–25 g) + fructose(25 g), and fructose (5–25 g) + glucose (25 g). Blood sugar was significantly increased in glucose load compared with fructose or lactulose ( $p<0.05$ ). Breath hydrogen concentration increased 1 hour after ingestion of fructose and lactulose but not after any of the other test solutions. In conclusion, fructose alone was malabsorbed in the small bowel, but mixed with glucose it seemed to be absorbed completely.

### はじめに

糖質は、消化管で大部分が糖の最小単位である単糖類にまで消化分解され、小腸上皮細胞の刷子縁で吸収される。この刷子縁で、グルコースとガラクトースはNa<sup>+</sup>依存性グルコース能動輸送により吸収されるが、フルクトースは拡散により吸収されると考えられていた。しかし、最近ではグルコースと別の経路で、水の吸収が関与していると言われている<sup>1,2)</sup>。グルコースはほぼ100%吸収されるが、それ以外の糖についてはどの程度吸収されるかについては明らかでない。

消化管で消化吸収されない炭水化物は大腸に到達し、大腸内の腸内細菌叢によって発酵分解され、短鎖脂肪酸と炭酸ガス、メタン、水素などのガスを産出する<sup>3,4)</sup>。これらのガスが血液中に溶け込んで一部が肺から呼気中に排出される<sup>5)</sup>。そこで呼気中水素濃度を経時的に測定することにより、非吸収性の糖質などの小腸通過時間を推定でき、間接的な炭水化物の消化吸収試験と考えられている。

そこで単糖類のグルコースとフルクトース、二糖類のショ糖および非吸収性のラクツロースを使用して、これら糖類の消化吸収を呼気中水素で検討するとともに、グルコースの同時摂取がフルクトースの吸収に与える影響について比較検討した。

### 対象と方法

#### 対象

健康な女子大学生4名(年齢 $21.3\pm 0.3$ 歳、BMI $19.9\pm 0.7$ 歳)を対象とした。

#### 方法

##### 1) 実験条件

対象者全員に前もって研究の目的、方法について説明し、文書による承諾を得た。実験は連続しない13日間にわたり、実験内容は下記の3種類にわけて行った。対象者一人について1日1実験とした。前日の夕食は呼気中水素の発生に関与する可能性のある食品(豆、大豆製品、牛乳、乳製品、食物繊維を多く含む野菜、アルコール等)の摂取は避け、午後9時までに摂取し、水分の飲用も含め12時間以上の絶食状態とした。また夕食後2～3時間は就寝しないよう指示した。実験当日は、朝9時に空腹時血糖値を測定する(実験1のみ)と同時に、最初の呼気を採集し、直ちに下記の実験条件の試験液を摂取させた。

##### 実験1：単独摂取

試験液1-1：グルコース25g+水200ml

試験液1-2：フルクトース25g+水200ml

試験液1-3：ショ糖25g+水200ml

\* 椋山女学園大学生活科学部食品栄養学科

\*\* 名古屋大学総合保健体育科学センター

\* Department of Food and Nutrition Sugiyama Jogakuen University School of Life

\*\* Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

- 試験液 1-4 : ラクツロース 9g + 200ml  
 実験 2 : グルコース 25g に以下のものを混合摂取  
 試験液 2-1 : フルクトース 5g + 水 200ml  
 試験液 2-2 : フルクトース 10g + 水 200ml  
 試験液 2-3 : フルクトース 15g + 水 200ml  
 試験液 2-4 : フルクトース 20g + 水 200ml  
 試験液 2-5 : フルクトース 25g + 水 200ml  
 実験 3 : フルクトース 25g に以下のものを混合摂取  
 試験液 3-1 : グルコース 10g + 水 200ml  
 試験液 3-2 : グルコース 15g + 水 200ml  
 試験液 3-3 : グルコース 20g + 水 200ml  
 試験液 3-4 : グルコース 25g + 水 200ml

実験中は対象者に積極的な運動は避け、リラックスした状態で眠らないよう指示した。呼吸は試験液摂取後から15分間隔で4時間まで採集し、呼気中水素は Mycrolyzer model 12 i (Quintron 社製) で測定した。単独摂取実験のみ、摂取前0分、摂取後30分、60分、120分に血液を指から採取し、血糖値を簡易血糖測定装置 (Arkray Factory 社製) で測定した。

## 2) 統計

時間ごとの水素濃度と水素の曲線下面積および血糖値を、全て平均値と標準誤差で示した。有意差は paired t test で検定を行い、危険率 5% 未満を有意差があると判定した。

## 結果

### 1) 実験 1

#### 単独摂取後の呼気中水素濃度

フルクトース、グルコース、ショ糖及びラクツロース摂取後60分まではいずれも16ppm以下で呼気中水素濃度の増加はなかった。消化管で消化酵素によって消化吸収されないラクツロース摂取後の呼気中水素濃度は60分以降、他の糖類と比べいずれの時間でも高値を示し、165分で63ppmのピークとなり、その後徐々に低下した。グルコースやショ糖では呼気中水素の上昇はみられなかったが、フルクトースはグルコースやショ糖に比較して、240分までやや増加の傾向が認められた (図1)。呼気中水素濃度から小腸通過時間を推定するとフルクトースは平均60分、ラクツロースは平均86分であった。

#### 血糖値の変化

試験液摂取前および摂取後30分毎の血糖値を見る (図2) と、摂取前ではいずれも80mg/dl前後であった。グルコースは摂取後、30分で133mg/dlのピーク値となり、120分で摂取前の値まで戻った。フルクトースも30分でやや増加したが大きな変動はなかつ

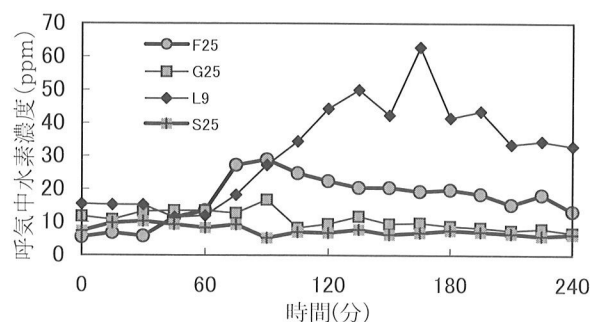


図1. 糖類単独投与による呼気中水素濃度の時間的推移 (実験1)

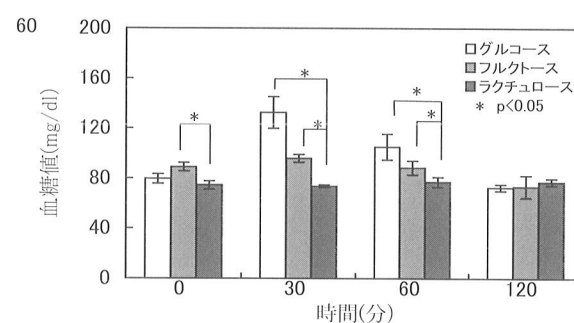


図2. 糖類投与後の血糖値 (実験1)

た。ラクツロースは血糖値の上昇はなかった。糖類の比較ではグルコースとフルクトースには有意な差はなかったが、いずれもラクツロースとの比較では30分、60分で有意な差がみられた ( $p < 0.05$ )。

### 2) 実験 2

グルコース 25g にフルクトースを段階的に混合した試験液を摂取した後の呼気中水素濃度の推移をみると、グルコース単独摂取時の呼気中水素濃度に比べて、フルクトースを 5g から 25g まで混合摂取した場合、いずれも呼気中水素濃度は60分以降も低値を示した。フルクトース負荷による呼気中水素濃度に時間ごとの大きな変化はみられなかった (図3)。

試験液摂取後4時間までの呼気中水素総排出量を比較すると、フルクトース単独摂取では4236ppmであったが、グルコース量を一定にして、フルクトース量を 5g、15g、20g 混合摂取した場合ではいずれも726ppm以下の低値を示し、有意な差がみられた ( $p < 0.05$ )。フルクトースとグルコースを同量混合摂取した場合、単独摂取に比べて、総排出量は約1/3までに減少した (図4)。

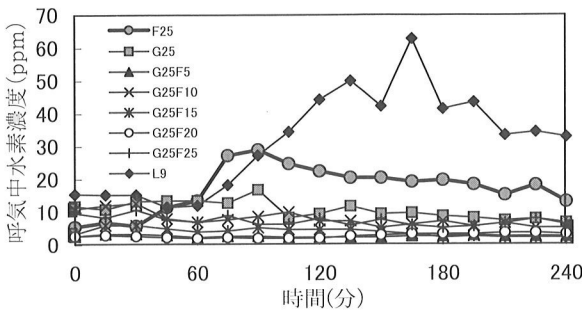


図3. 糖類混合投与によるフルクトースの影響 (実験2)

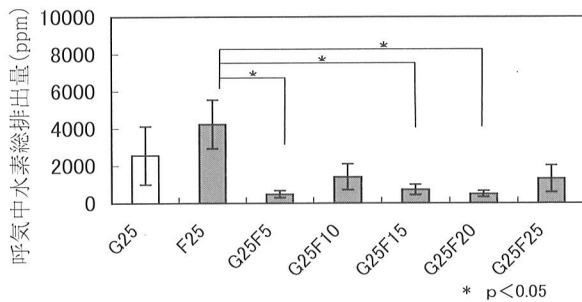


図4. 糖類混合投与による呼気中水素総排出量 (実験2)

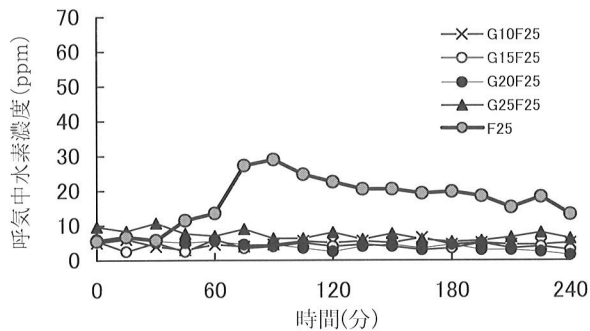


図5. 糖類混合投与によるグルコースの影響 (実験3)

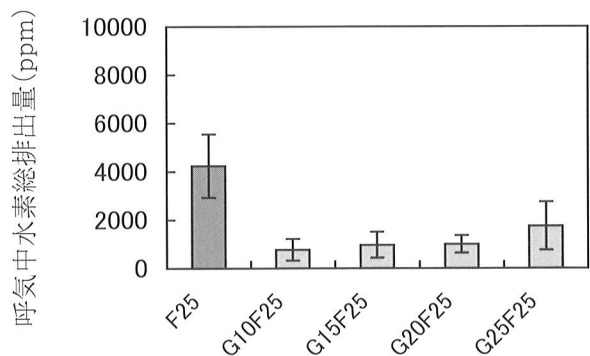


図6. 糖類混合投与による呼気中水素総排出量 (実験3)

## 2) 実験3

フルクトース25gにグルコースを段階的に混合した試験液を摂取した後の呼気中水素濃度の推移をみると、フルクトース単独摂取時の呼気中水素濃度に比べて、フルクトース量を一定にして、グルコース量を10gから25gまで混合するといずれも低値となった(図5)。呼気中水素排出量も減少した(図6)。

## 考察

単糖類のグルコース、フルクトース、二糖類のショ糖、ラクツロースを単独摂取すると60分まではいずれも呼気中水素濃度は増加せず、その後フルクトースとラクツロースのみ呼気中水素濃度が増加した。グルコースが消化管内ではほぼ100%吸収するのに比べて、フルクトースは消化管内では完全には吸収されないことが確認できた。またショ糖はグルコースとフルクトースが結合した二糖類であるが、呼気中水素濃度の増加は見られず、消化管内で消化分解され、単糖となり小腸でほとんどが吸収された。

単糖は小腸で吸収後、血液中に入り肝臓に運ばれる。血糖値は摂取した糖の種類によって影響を受けることから、グルコース、フルクトース、ラクツロースで比較したところ、グルコースのみ血糖の変動を捉えることができた。これはフルクトースが代謝の過程でグルコースにはなりにくく、血糖測定がグルコースレベルで測ることに影響されたためであろう。

グルコースとフルクトースを2種類組み合わせ、配合割合を変えて混合摂取すると、単独摂取に比べ、いずれも呼気中水素濃度は低値を示した。これはグルコースとの同時摂取がフルクトースの吸収を促進させるためであろう。この機序や、フルクトースの吸収を促進させるグルコースの量などについては、今後、多くの被検者を対象に検討する必要がある。

## まとめ

単糖類のグルコースとフルクトース、二糖類のショ糖および非吸収性のラクツロースを単独あるいは混合摂取した場合の消化吸収を呼気中水素濃度などで検討するとともに、グルコースの同時摂取がフルクトースの吸収に与える影響について比較検討した。

- 1) 糖類単独摂取での呼気中水素濃度は摂取前と比較して、フルクトースとラクツロースは顕著に上昇したが、グルコース、ショ糖は上昇しなかった。
- 2) 糖類の単独摂取での血糖値は摂取前と比較して、グルコースでは顕著に上昇したが、フルクトースは

わずかに上昇し、ラクツロースは血糖値の上昇は見られなかった。

- 3) 糖類混合摂取ではグルコース量を一定、フルクトース量を一定にしてその他の糖を負荷しても呼気中水素濃度の上昇は見られなかった。
- 4) 以上から、フルクトースは単独摂取では小腸での吸収不良が推測されるが、グルコースを混合摂取することによって、大部分が吸収される。グルコースはフルクトースの吸収を促進すると考えられた。

#### 参考文献

- 1) X Shi, HP Schedl, RM Summers, et al. Fructose transport mechanisms in humans. *Gastroenterology* 1997, 113, 1171-

1179

- 2) Rumessen JJ, Gudmand-Hoyer E. Absorption capacity of fructose in healthy adults. Comparison with sucrose and its constituent monosaccharides. *Gut* 1986, 27, 1161-1168
- 3) N W Read, M N Al-Janabi, T E Bates, A M Holgate, P A Cann, R I Kinsman, A McFarlane, and Christine Brown. Interpretation of the Breath hydrogen profile obtained after ingesting a solid meal containing unabsorbable carbohydrate. *Gut* 1985; 26: 834-842.
- 4) Jay A. Perman and Siv Modler. Glycoprotein as Substrates for Production of Hydrogen and Methane by Colonic Bacterial Flora. *Gastroenterology* 1982; 83: 388-93
- 5) Noel W. Solomons, Fernando Viteri, and Irwin H. Rosenberg. Development of Interval Sampling Hydrogen (H<sub>2</sub>) Breath Test for Carbohydrate Malabsorption in Children: Evidence for Circadian Pattern of Breath H<sub>2</sub> Concentration. *Pediatric Research* 1978; 12: 816-823

(2003年12月12日受付)