

【目的】

長時間にわたる持久運動を継続するためには、エネルギー源である糖質と水分を供給し続けることが重要である¹⁾。摂取した糖質が体内に吸収されたかどうかは、血糖値を測定することで評価することができる。我々はこれまでに新規デキストリンを含む多種の糖質溶液について、実験動物を用いて投与後の血糖値や血漿インスリン濃度の変化²⁾や水分吸収速度を検討してきた。一方、投与後の血糖値変化からは、糖質の消化吸収速度は推察できるものの、糖質が代謝されてエネルギーとして利用されたのか、利用されないままに体脂肪として蓄積されたのか、区別することはできない。

そこで本研究では、持久運動時に投与した糖質溶液が代謝されてエネルギーとなる速度を評価することを目的として、(1) 数種の糖質溶液の利用速度を比較した。さらに、低糖質食の摂取は、消化管における糖質吸収能力を低下させるという報告があることから、(2) 7週間にわたり、中強度の運動トレーニングを負荷し、低糖質食あるいは高糖質食を摂取させた後の糖質酸化能力に違いが認められるか検討した。

【方法】

(実験 1) 8 週齢の雄性 ICR マウスに固形飼料と水を自由摂取させて飼育した。走行運動は、呼気ガスチャンバーに内蔵したトレッドミルを用いて、斜度 40° で、走行速度は 5 m/min で 5 分間、その後は 10 m/min で 120 分まで走行させた。チャンバー中の呼気は分析装置 (ARCO2000、アルコシステム) に導入し、酸素消費量、二酸化炭素排出量、 $^{13}\text{C}02/^{12}\text{C}02$ 比を測定した。この条件において、運動開始時に体重 1 g あたり 5 μL の試料溶液を経口投与し、呼気中の $^{13}\text{C}02/^{12}\text{C}02$ 比を代謝された糖質の指標とした。試料溶液は、U- ^{13}C -グルコース、U- ^{13}C -フルクトース、U- ^{13}C -スターチ、1- ^{13}C -グルコース、1- ^{13}C -ロイシン、1- ^{13}C -酢酸ナトリウムを所定の濃度に溶解した (結果と考察欄に記載)。

(実験 2) 9 週齢の雄性 BALB/c マウスに糖質含量が異なる 3 種の飼料 (PFC 重量比、20:10:70、35:10:55、60:10:30) を自由摂取させて、7 週間にわたり週に 5 日間 30 分間のトレーニング (傾斜 40°、速度 5 m/min から 1 m/min 増加させ、最大 40 m/min) を実施し、7 週間後に実験 1 と同様の方法で U- ^{13}C -グルコースの運動中の酸化量を測定した。

【結果と考察】

(実験 1) 10%の U-13C-グルコース溶液 (13C 原子を 10 mg/mL 含有) は、投与後 11 分から呼気中に 13CO₂ として検出され、投与後 29 分で呼気中 13CO₂ 濃度はピーク (13CO₂ 濃度 = 2.5%) に達し、その濃度がベースライン (13CO₂ 濃度 = 1.1%) に戻るまでに約 120 分を要した。このピーク高さ、グラフの曲線下面積には、5%から 20%の範囲内で、濃度依存性的に増加することが確認された。

また、1 分子内の 13C 原子数が異なる U-13C-グルコースと 1-13C-グルコースは、投与溶液に含まれる 13C 原子数を同一 (4.8 mg/mL) の条件下では、完全に同一のグラフ形状になり、クエン酸回路で活発に基質分子が相互変換していることを想起させる結果となった。

1-13C-ロイシン、1-13C-酢酸ナトリウム、1-13C-グルコースの各水溶液 (いずれも 13C 原子を 8.39 mg/mL 含有) を投与した場合には、1-13C-ロイシンは呼気中の 13CO₂ 検出までの時間、ピーク高さ共に、1-13C-グルコースと同じグラフの形状であった。一方、1-13C-酢酸ナトリウムは検出までの時間が 3 分、ピーク時間が 10 分、ベースラインに戻るまでの時間が 60 分であり、グルコースやロイシンと比較して明らかに速い代謝速度を示した。

10%の U-13C-グルコース水溶液 (13C 原子を 10 mg/mL 含有) を経口または腹腔内で投与すると、13CO₂ 検出までの時間に違いは認められなかった。したがって、10%グルコース水溶液の酸化において、胃における排出速度は、大きな律速過程ではなく、10%までの糖質水溶液は速やかに吸収されるという申請者らのこれまでの知見を裏付ける結果となった。

そこで小腸における分解を必要とする U-13C-スターチ水溶液と、U-13C-フルクトース水溶液、U-13C-グルコース水溶液を比較したところ、U-13C-スターチ水溶液は 13CO₂ の検出およびピークまでの速度が 3 分間だけ遅かった。これらの結果から、小腸におけるスターチの分解は、胃排出速度よりも律速段階として重要であることが示された。

(実験 2) 7 週間にわたる持久運動トレーニング期間中に糖質含量の異なる飼料を摂取させたが、運動開始時に経口投与によって与えた U-13C-グルコース水溶液の酸化速度は、飼料群間で大きな差が認められなかった。その詳細については、現在解析中である。

本研究の遂行に対して全面的なご支援を頂いた一般財団法人 杉山産業科学研究所に篤く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Jeukendrup AE. Carbohydrate and exercise performance: the role of multiple transportable carbohydrates. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 13(4):452-7, 2010
- 2) Inagaki K et al. Rapid rehydration and moderate plasma glucose elevation by fluid containing enzymatically synthesized glycogen. *J Nutr Sci VitaminoI*. 57(2):170-6, 2011