

絶食後の種々の糖質摂取が筋肉および肝臓の グリコーゲン量に及ぼす影響

堀江 登, 中村 愛子, 桂 智美, 川瀬 純子
(武庫川女子大学生生活環境学部食物栄養学科)

Effects of the intake of various carbohydrates after fast on glycogen in the muscle and the liver

Noboru Horie, Aiko Nakamura, Tomomi Katsura and Junko Kawase

*Department of Food Science and Nutrition,
School of Environmental Sciences,*

Mukogawa Women's University, Nishinomiya, Hyogo 663-8558, Japan

The mice were dosed with several sugars (glucose, maltose, starch, sucrose, lactose) by ingestion after fast for 24 hours, and the changes of blood sugar level, glycogen concentration in the liver and muscle were examined according to time-schedule.

The level of glycogen in muscle by the fast for 24 hours was consumed more than the ones of blood-sugar and liver-glycogen. The level of blood sugar was recovered immediately after dose of sugars by ingestion, and the synthesis of liver-glycogen and muscle-glycogen were followed.

The synthesis of muscle-glycogen after recovery of blood sugar by glycogen-dose was more remarkable than others.

緒言

スポーツ活動を含むすべての動作は骨格筋の収縮によって行なわれる。特に持久力が要求される運動では、筋収縮のためのエネルギーを効率よく得なければならない。運動中に体内で直接エネルギー源に利用されるのは単糖類と脂肪酸であり、筋肉グリコーゲンの貯蔵量と遊離脂肪酸の血中濃度を増すことが持久力を高めることになる。

糖質はグリコーゲンの形で肝臓および筋肉に蓄えられている。筋肉グリコーゲンは筋肉自身の運動のために使われ、肝臓グリコーゲンはブドウ糖に分解された後、血液に放出されて血糖値を維持するとともに、筋肉に取り込まれて運動のエネルギー源として使われる。したがって運動能力は体内に蓄えられた糖質の量によって影響を受けると考えられる。

本研究は、長時間の運動負荷後の状態を想定した絶食後に、経口投与する種々の糖質が、筋肉、肝臓ならびに血液の糖代謝に及ぼす影響を検討したものである。

実験方法

雌性の Jcl-ICR マウス(日本クレア)を使用し、蒸留水、グルコース、マルトース、サッカロース、ラクトース、デンプンの6群に分けた。それらを24時間絶食させた後、20%濃度の種々の糖質溶液1mlを経口投与した。投与しなかったものを対照群とし、投与後30分群、60分群、90分群、120分群の5群に分けた。定められた時間経過後、エーテル麻酔によって安楽死させ、採血と肝臓・腓腹筋を摘出した。血漿を用いて血糖値と血中遊離脂肪酸量を測定した。肝臓と腓腹筋は急速冷凍した後、解凍後直

ちにグリコーゲンの抽出と定量を行った。

血糖値の測定は、グルコース B-テストワコー (GOD 法¹⁾) (和光純薬工業) を使用して行なった。血中遊離脂肪酸量の測定は、遊離脂肪酸 C-テストワコー (ACS-ACOD 法²⁾) を使用して行った。グリコーゲンの抽出³⁾は、重量に対して 5 倍容量の 30% 水酸化カリウム溶液を加え、沸騰水浴中で 30 分間加熱して溶かした。この液化物に 95% エタノール液を 2 倍容量加えて混和し、それを加熱して沸騰させた後、直ちに放冷して室温に達したら 3000rpm で 30 分間遠心分離して、上清を取り除いた。この沈渣に蒸留水 2ml を加えて溶解し、その中に飽和塩化カリウム溶液を 1 滴加え、その後 95% エタノール液を 3.5ml 加えて混和した。それを加熱して沸騰させた後、直ちに放冷して室温に戻ったら 3000rpm で 10 分間遠心分離して、上清を取り除き、さらにデシケーターの中でエタノールを蒸散し、保存した。グリコーゲンの定量はフェノール硫酸法⁴⁾によった。

結 果

1. 種々の糖質の経口投与が血糖値に及ぼす影響

24 時間絶食させたマウスに 20% 濃度のグルコース、マルトース、デンプン、サッカロース、ラクトース溶液のそれぞれ 1ml を経口投与した。何も与えないものを対照群、種々の糖質溶液を投与して 30 分後、60 分後、90 分後、120 分後の血糖値の変動を図 1 に示す。グルコース投与群では、投与後 30 分ですでにピークに達し、その後わずかに減少したが 120 分後まで一定の値を維持した。マルトース投与群ではグルコース投与群と同様に、投与後 30~60 分にピークに達したが、その後減少する傾向を示した。デンプン投与群ではグルコース投与群と同様のパターンを示した。また、サッカロース投与群ではグルコース投与群に比べて低値であったが長時間にわたって一定の濃度が維持された。しかし、ラクトース投与群では 60 分まで徐々に血糖値は増加し、その後わずかに減少したものの血糖値の高い状態が維持された。

2. 種々の糖質の経口投与が肝臓グリコーゲン量に及ぼす影響

肝臓グリコーゲン量の変動についての成績を図 2 に示す。グルコース投与群では肝臓グリコーゲン量は徐々に増加し、90 分をピークにわずかに減少した。マルトース投与群、デンプン投与群、サッカ

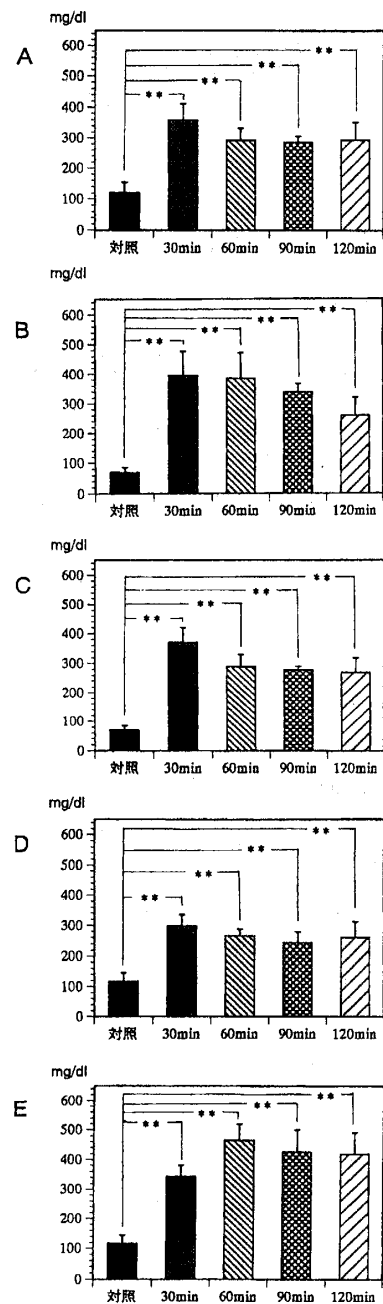


Fig. 1. Effects of intake of various carbohydrates on level of blood sugar. A: glucose, B: maltose, C: starch, D: sucrose, E: lactose. Several bars were average and SD. **: $p < 0.01$

ロース投与群では対照群に比べてすべての群において 120 分まで増加する傾向がみられた。特にサッカロース投与群において肝臓グリコーゲン量の最も著しい増加がみられた。ラクトース投与群では対照群に比べて増加する傾向がみられたが低値であった。

3. 種々の糖質の経口投与が筋肉グリコーゲン量に及ぼす影響

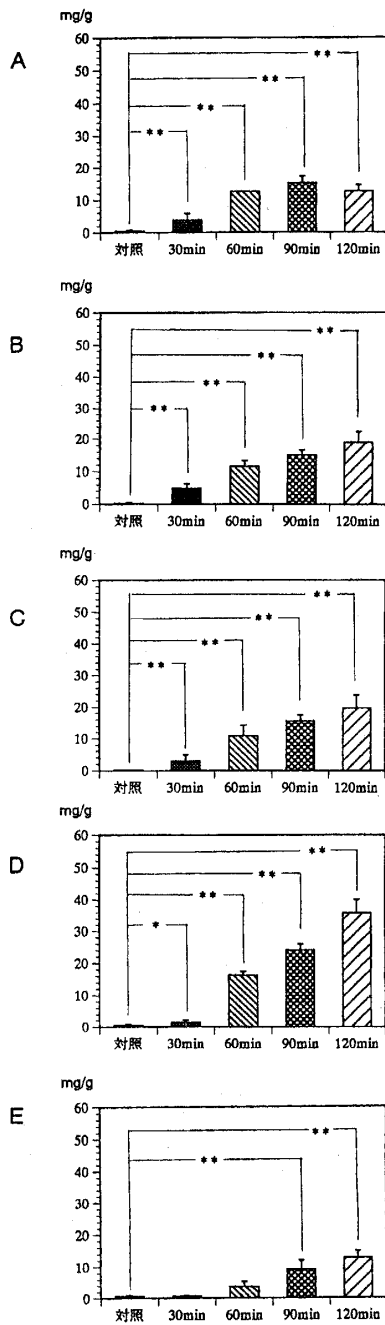


Fig. 2. Effects of intake of various carbohydrates on level of glycogen in the liver. A: glucose, B: maltose, C: starch, D: sucrose, E: lactose. Several bars were average and SD. *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

筋肉グリコーゲン量の変動についての成績を図3に示す。すべての糖質において筋肉内グリコーゲンの増加傾向がみられ、特にグルコース投与群において著しい増加がみられた。マルトースならびにデンプン投与群では他の糖質投与群に比べてわずかな増加しかみられなかった。

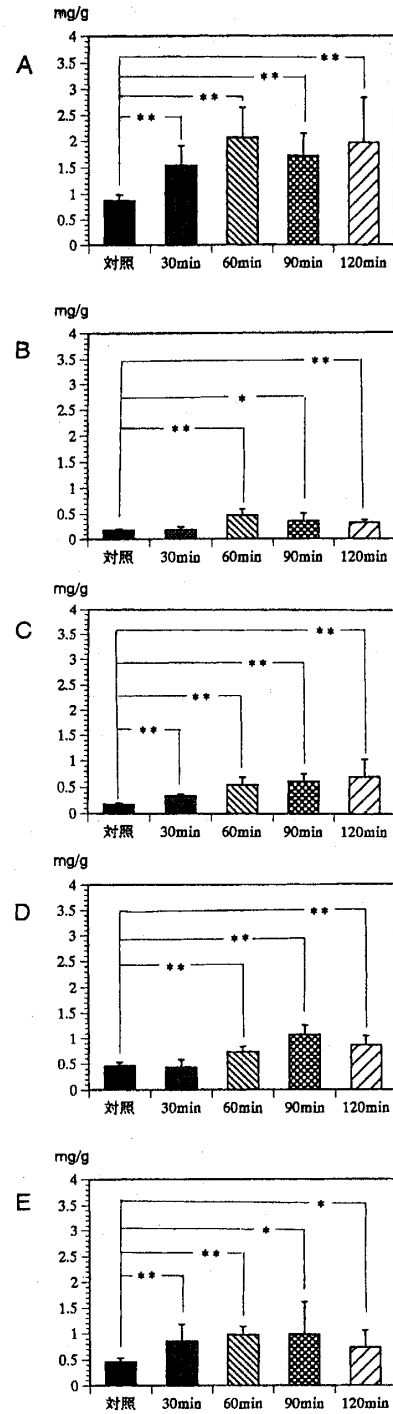


Fig. 3. Effects of intake of various carbohydrates on level of glycogen in the muscle. A: glucose, B: maltose, C: starch, D: sucrose, E: lactose. Several bars were average and SD. *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

考 察

前の論文において、効果的なグリコーゲンロー

ディング法を研究するための動物実験モデルを作製することを目的として、絶食ならびに運動負荷が血糖値、肝臓と筋肉のグリコーゲン量に及ぼす影響について検討し⁵⁾、今回の実験を企画した。

本研究では、長時間の運動負荷後の状態を想定した絶食後に経口投与する種々の糖質の違いが、血糖値の変動ならびに筋肉と肝臓におけるグリコーゲンの生合成に及ぼす影響を検討した。

グリコーゲンはグルコースが α -1, 4結合と α -1, 6結合によって分岐しながら、必要に応じてグルコースにすぐに動員できる貯蔵形態の高分子体である。このグリコーゲンはおもに肝臓と骨格筋に含まれ、肝臓のものは血糖値の維持に働き、骨格筋のグリコーゲンは筋肉運動に使われる。骨格筋に多くのグリコーゲンを蓄えることが運動能力すなわち持久力につながることになる。

そこで、マウスに経口投与する糖質として、先ずグルコースを構成単位とする多糖類のデンプン、二糖類のマルトースそして単糖類のグルコースについて検討した。血糖値は、グルコースを構成単位とする単糖類、二糖類、多糖類のいずれの糖質においても経口投与後30分でピークに達し、その後徐々に減少した。それに対して肝臓のグリコーゲン量は時間経過とともに増加した。また、筋肉のグリコーゲン量も経口投与が時間経過とともに増加する傾向にあった。これらのことは、経口投与後30分で消化管からの吸収がピークに達していたことを暗示し、その後肝臓と筋肉へのグルコースの取り込みとグリコーゲンへの生合成が並行して進行していったことを示唆する。マルトースとデンプンの経口投与群において肝臓のグリコーゲン生合成が経口投与120分後でも続いていたことは消化管からの吸収が他に比べてゆっくり進行していったためであると推察する。このことはマルトースを経口投与後に血糖値のピークが30~60分にあることによっても示唆される。今回の実験において、経口投与方法として糖質を直接胃にまで注入する方法を採用した。このことは口腔内で行われる唾液中の α -アミラーゼによる消化過程がスキップされていることも吸収に時間を要したことの原因のひとつと考える。

次に二糖類として、グルコースのみで構成されるマルトース、グルコースとフルクトースで構成されるスクロース、グルコースとガラクトースで構成されるラクトースについて、構成する単糖類の違いによる血糖値の変動と肝臓と筋肉へのグリコーゲンの

生合成に対する影響を検討した。ラクトース以外の糖質の経口投与において、投与30分後に血糖値はピークに達し、その後わずかに減少する経口投与がみられた。このことは血糖値の上昇に伴って肝臓や筋肉においてグリコーゲンの生合成が進行していることを示唆するものであった。一方、ラクトースについては投与後60分にピークを示したことは、腸管における消化と吸収の過程の違いによるものと推察する。それに対して肝臓のグリコーゲン量は糖質の経口投与後の時間経過とともに増加し、経口投与後30分をピークに血糖値が減少したことによって暗示されるものであった。ラクトースの経口投与に比べてスクロースでは経時的に著しく増加した。このことはラクトースとスクロースの消化吸收、さらにこれらの分解によって生じたフルクトースがジヒドロキシアセトンリン酸からグルコース-6-リン酸を経由してグリコーゲンに生合成される過程とガラクトースもグルコース-6-リン酸を経由してグリコーゲンの生合成が行われる過程の違いやインスリンに反応しないスクロースの性質⁶⁾によるものと推察される。いずれにしても細胞内のグルコース-6-リン酸レベルの上昇にともなって、過剰なグルコースがグリコーゲンに生合成される過程が進行したものと推察する。

24時間絶食後に糖質の投与を繰り返すことで筋肉グリコーゲンの貯蔵量は著しく増加し、特にグルコースを与えることが有効であることが示された。

以上のことから、今回の実験においても他の報告^{7)~9)}と同様に長時間の絶食後にグルコースを構成単位とする糖質を摂取することが、筋肉のグリコーゲン量を過剰に蓄積することによって、持久力の向上につながることを示された。

まとめ

24時間絶食させたマウスに種々の糖質(グルコース、マルトース、デンプン、サッカロース、ラクトース)を経口投与し、その後の血糖値、肝臓グリコーゲン量ならびに筋肉グリコーゲン量の変動を測定した。

24時間の絶食によって、血糖値と筋肉内のグリコーゲン量の減少に比べて肝臓グリコーゲン量に著しい消耗がみられた。その後の糖質の経口投与によって、血糖値はすぐに回復し、それに続いて肝臓のグリコーゲン量と筋肉のグリコーゲン量の増加がみられた。

グルコース経口投与群において、他の糖質に比べて血糖値の増加に続く筋肉内のグリコーゲンへの著しい生合成がみられた。

文 献

- 1) Trinder, P., *J. Clin. Path.*, **22**, 158-161 (1969)
- 2) Shimazu, S., Yasui, K., Tani, Y., Tamada, H., *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **91**, 108-113 (1979)
- 3) 広井祐三, 飢餓による肝臓グリコーゲンの変化 (奥田義博, 谷口巳佐子編:生化学実験), 講談社, 東京, pp.81, 1993
- 4) 福井作蔵, 生物化学実験法 1 還元糖の定量法, 学会センター, 東京, pp.50~52 (1990)
- 5) 堀江 登, 中村愛子, 桂 智美, 川瀬純子, 上田由紀, 武庫川女子大学紀要(自然科学), **49**, 79-83 (2001)
- 6) Levine, L. et al., *J. Appl. Physiol.*, **55**, 1767 (1983)
- 7) Coyle, E.F. and Coggan, A.R., *Sport Med.*, **1**, 446 (1981)
- 8) Suzuki, M., Saitoh, S., Yashiro, M., Hariu, J., *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **30**, 453-466 (1984)
- 9) 寺尾 保, 山下泰裕, 張 楠, 杉浦克巳, 森山嘉夫, 大崎久子, 中野昭一, 体力科学, **44**, 375-384 (1995)