

原著

運動誘発性低血糖時の血糖変化量の再評価：安静時との比較

近藤 早希^{*1, *2}、谷澤 薫平^{*3, *4, *5}、鈴木 克彦^{*3}、寺田 新^{*2}、樋口 満^{*3}^{*1} 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科、^{*2} 東京大学大学院総合文化研究科、^{*3} 早稲田大学スポーツ科学学術院、^{*4} 国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所、^{*5} 日本学術振興会特別研究員 PD

【目的】

運動開始30～45分前の糖質摂取は、運動開始直後に急激な血糖値の低下を生じさせる。一方、糖質摂取後に安静状態を保った場合に比べ、血糖値がどの程度低下するのかは明らかでない。本研究では、運動誘発性の血糖値の低下が、糖質摂取後に安静状態を保った場合に比べてどの程度であるのか、実際のスポーツ現場に近い状況である朝食摂取条件下にて検討した。

【方法】

男子大学生15名に対し、実験開始3時間前に朝食を摂取させた状態で、運動試行、安静試行の2試行を行わせた。運動試行では、150 gの糖質を摂取してから30分間安静状態を保った後、最大酸素摂取量の75%の強度で60分間自転車運動を行った。安静試行では、糖質摂取後に90分間安静状態を維持した。それぞれの試行において採血を行い、血糖値を測定した。

【結果】

運動試行では、運動開始15分後に急激に血糖値が低下し、安静試行に比べて 28 ± 29 mg/dl低い値を示した。また、安静試行から運動試行への血糖低下量が大きい被験者は、血糖低下量が小さい被験者に比べて、最大酸素摂取量が有意に高い値を示した。

【結論】

朝食摂取条件下においても、糖質摂取後に運動を行うことで、同量の糖質を摂取して安静状態を保った場合に比べて、約30 mg/dl程度の血糖値の低下が生じることが明らかとなった。また、血糖低下量が大きい被験者では、最大酸素摂取量が高い傾向が認められた。

キーワード：運動誘発性低血糖 血糖値 最大酸素摂取量

I 緒言

長時間の運動に伴う筋グリコーゲンの減少は、疲労の発現やパフォーマンスの低下を引き起こすことから^{1)～3)}、運動前には体内の糖質貯蔵量を増やしておくことが重要となる。実際に、レースの数日前から糖質の摂取量を増やすこと、さらには、試合の開始前1～4時間前にも、体重1 kg当たり1～4 gの糖質を再度摂取しておくことが推奨されている⁴⁾。しかしながら、運動開始前に糖質補給を行う場合、その摂取タイミングによっては、むしろパフォーマンスが悪化する可能性も指摘されている。

Costill et al.は、運動開始の30～45分前に多量の糖質を摂取することで、運動開始時に急激な血中インスリン濃度の上昇と血糖値の低下が生じることを明らかにした⁵⁾。その結果、脂肪分解の抑制や筋グリコーゲン利用の亢進を引き起こし、パフォーマンスが低下する場合があることも報告されている^{5), 6)}。このような現象は、運動誘発性低血糖（インスリンショック）と呼ばれており、運動直前の糖質摂取は控えるべきものとして広く認識されるに至っている。

しかしながら、これまでに行われた運動誘発性低血糖に関する多くの先行研究は、6時間から一晩という長時間の絶食後に行われていた^{5), 7)～11)}。実際のスポー

ツの現場では、試合やレースの前にこのような長時間の絶食を行うことは少なく、これらの知見をそのまま応用することは難しいと考えられる。最近、我々は、朝食を摂取した条件下においても、運動開始直前の糖質摂取によって運動誘発性低血糖が生じるか検討を行い、運動開始15分後（飲料摂取45分後）の時点において、16名中7名で低血糖状態（4 mmol/l以下）を呈することを報告している¹²⁾。この結果は、実際のスポーツ現場でも、運動誘発性低血糖が十分に起こりうるという可能性を示している。

ところで、運動誘発性低血糖に関するこれまでの先行研究では、運動時における血糖の変動に対してのみ着目しており、運動を行わずに同量の糖質を摂取した場合の血糖値との比較が行われていなかった。すなわち、運動誘発性低血糖と呼ばれながら、糖質摂取後に安静状態を保った場合に比べて、運動を組み合わせることにより、どの程度血糖値が低下するのかは明らかとされていない。一度に多量の糖質を摂取した場合、インスリンの分泌が著しく刺激され、それだけでも低血糖状態に陥る場合があり、運動を組み合わせても血糖値の下がり方には大きな違いが見られないという可能性も考えられる。そこで、本研究では、運動誘発性低血糖について検討した我々の先行研究¹²⁾と同じ被験者を対象として追加実験を行い、糖質飲料摂取後に運動を行った場合と、同量の糖質を摂取した後に安静状態を保った場合の血糖値を比較することで、運動誘発性の血糖値の低下がどの程度であるのか、実際のスポーツ現場に近い状況である朝食摂取条件にて検討することを目的とした。

II 方法

1. 被験者

被験者は15名の健常な男子大学生とした。被験者の身体的特徴を表1に示した。本研究は早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を受け実施された。被験者にはあらかじめ実験の主旨、内容および危険性について説明し、それらを十分に理解したうえで文書により同意を得て測定を実施した。

2. 最大酸素摂取量の測定

本試験に先立ち、被験者の最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\text{max}$) を決定するため、自転車エルゴメーター（エアロバイク75XLⅡ、コンピウエルネス株式会社）による漸増負荷運動を疲労困憊まで行った。60 Wの強度で3分間のウォーミングアップを行った後、60～90 Wから毎分15 Wずつ負荷を漸増し、ペダルの回転数は60 rpmに維持するよう指示した。運動中は呼気ガスを連続して採取し、自動代謝分析装置（AE-310S、ミナト医科学株式会社）にて30秒ごとに酸素摂取量、

表1 被験者の身体的特性

年齢（歳）	21 ± 1
身長（cm）	173.9 ± 5.2
体重（kg）	67.7 ± 8.3
体脂肪率（%）	13.4 ± 4.2
$\dot{V}O_2\text{max}$ （ml/min）	3,044 ± 325
$\dot{V}O_2\text{max}$ （ml/kg/min）	45.6 ± 7.0
Watt max（W）	262 ± 26

数値は全て平均±標準偏差で表した。

$\dot{V}O_2\text{max}$ ：最大酸素摂取量

二酸化炭素排出量、換気量および呼吸交換比（Respiratory exchange ratio；RER）を測定した。被験者は安全管理のために、心電図（BSM-2401、日本光電株式会社）および心拍数（Heart rate；HR）をモニタリングしながら測定を行った。

$\dot{V}O_2\text{max}$ の判定基準は、酸素摂取量のレベリングオフがみられることとした。ただし、酸素摂取量のレベリングオフが見られない場合でも、1）HRが年齢から推定される最大心拍数（220－年齢±5拍/分）に達していること、2）RERが1.1以上であること、3）Borg scaleによる主観的運動強度（Rating of perceived exertion；RPE）が19もしくは20であること、この3つの指標のうち2つ以上を満たしたときに $\dot{V}O_2\text{max}$ と判定した。

なお、 $\dot{V}O_2\text{max}$ 測定の際に被験者の身長および体重、体脂肪率を測定した。体脂肪率はインピーダンス法（InnerScan BC-612、タニタ社製）を用いて測定を行った。

3. 研究デザイン

被験者は、運動試行と安静試行の2試行を行った。なお、本研究は、8名の被験者が運動試行のあとに安静試行を追試験し、7名の被験者は運動試行と安静試行をランダムに行ったため、非ランダム化クロスオーバーデザインであった。被験者には測定の前日から激しい運動を避けるよう指示した。測定前日の夕食および測定当日の朝食については、全被験者同量の規定食とし、夕食は午後8～9時の間に、朝食は午前6時30分～7時30分の間（測定開始の3～4時間前）に摂取するよう指示した。

規定食の詳細について、測定前日の夕食は808 kcal（たんぱく質：24.0 g、脂質：21.9 g、炭水化物：127.6 g、PFC比＝12:24:64）であり、内容は、ごはん、豆腐のみそ汁、和風ハンバーグ、コールスローサラダ、かぼちゃ煮、ひじき煮とした。また、測定当日の朝食は、709 kcal（たんぱく質：18.5 g、脂質：22.6 g、炭水化物：107.1 g、PFC比＝10:29:61）とし、内容は、ごはん、けんちん汁、厚焼き玉子、ポテトサラダであった。

4. 実験プロトコル

測定当日のタイムスケジュールを図1に示した。

A. 運動試行

午前10時20分頃に実験室へ到着した被験者は、15～30分程度座位にて安静状態を保った後、肘正中皮静脈から採血を行った。採血は医師または看護師が行い、採血量は1回につき15 mlとした。初回採血終了直後に、150 gのグルコースを含んだ500 mlの炭酸水を2分以内に摂取し、その後、座位で25分間の安静状態を保った。

25分間の安静後、室温22℃、湿度50%に設定された実験室へ入室し、60 Wの強度で3分間のウォーミングアップを行った後、運動開始直前（0分）に再度採血を行い、飲料摂取から30分後に自転車エルゴメーターによる運動を開始した。本運動は自転車ペダリング運動とし、事前測定で得られた $\dot{V}O_2\text{max}$ の75%に相当する強度で60分間の運動を行った。ペダルの回転数は60～80 rpmとした。採血は、飲料摂取直前、運動開始直前、運動開始15、30および60分後の計5回行った。また、運動中は脱水を防ぐため15分おきに100 mlの水を摂取させた。

B. 安静試行

午前10時20分頃に実験室へ到着した被験者は、15～30分程度座位にて安静状態を保った後、肘正中皮静脈から採血を行った。採血は医師または看護師が行い、採血量は1回につき10 mlとした。初回採血終了直後に、150 gのグルコースを含んだ500 mlの炭酸水を2分以内に摂取し、その後座位で90分間の安静状態を保った。採血は、飲料摂取直前、飲料摂取30、45、60および90分後の計5回行った。

5. 血液分析

採取した静脈血から、血漿（温度；4℃、回転数；3,000 rpm）と血清（温度；10℃、回転数；3,000 rpm）を遠心分離した。血糖およびインスリンの測定は血液検査会社（BML社）に委託した。血糖はヘキソキナーゼUV法、インスリンは化学発光免疫測定法（Chemiluminescence immunoassay；CLIA法）により測定が行われた。

6. 統計処理

各測定値は平均±標準偏差で表した。各試行の経時変化を比較する際には、試行と時間を要因とした繰り返しのある二元配置分散分析を行った。いずれの場合も主効果もしくは交互作用が認められた場合、多重比較検定にBonferroni法を用いた。また、血糖変化量より分けた2群間の比較には対応のないt検定を用い、血糖変化量と各変数の相関関係を求めるためにPearsonの積率相関係数を算出した。全ての解析はSPSS22.0（IBM社製）を用いて行い、いずれの場合にも統計学的有意水準は5%未満とした。

Ⅲ 結果

運動試行の結果はすべて、我々の先行研究のデータを用いた¹²⁾。

1. 血糖値の経時変化

図2に、運動試行および安静試行における血糖値の経時変化を示した。二元配置分散分析の結果、試行と時間との間に有意な交互作用が認められ、運動開始15分後および30分後（飲料摂取45分後および60分後）において、運動試行では安静試行と比較して有意に低い

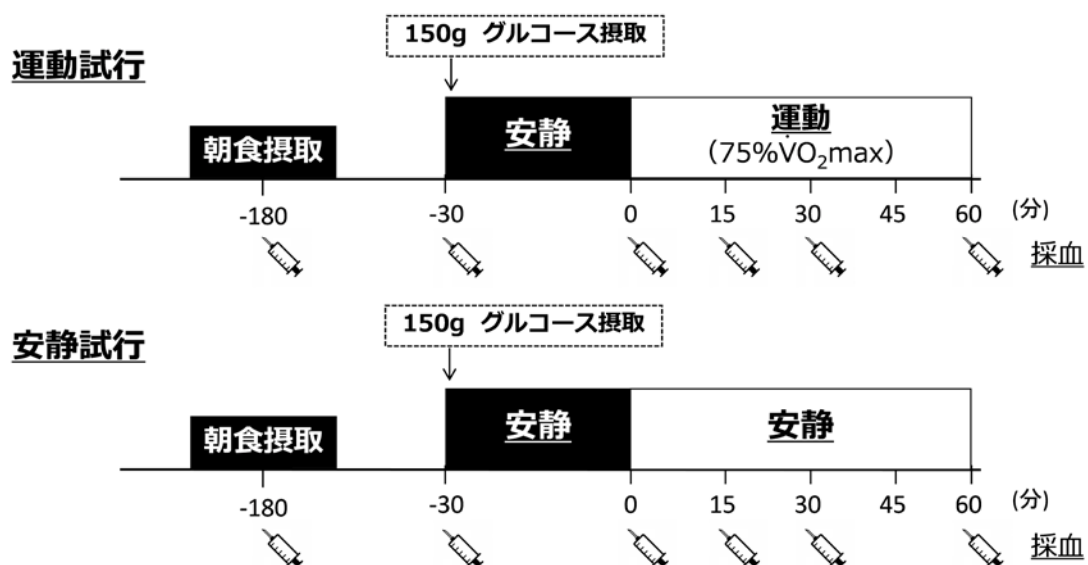


図1 実験プロトコル

値を示した ($p < 0.001$)。

2. 血清インスリン濃度の経時変化

図3に、運動試行および安静試行における血清インスリン濃度の経時変化を示した。二元配置分散分析の結果、試行と時間との間に有意な交互作用が認められ、運動開始時、15、30および60分後（飲料摂取30、45、60および90分後）において、運動試行では安静試行と比較して有意に低い値を示した ($p < 0.001$)。

3. 安静試行から運動試行への血糖変化量

安静試行の飲料摂取45分後の時点における血糖値から、同時点における運動試行（運動開始15分後）の血糖値を差し引くことで血糖変化量を求めた。その結果、血糖変化量の平均値は -28 ± 29 mg/dlであった。

15名それぞれの血糖変化量を図4-Aに示したところ、すべての被験者が運動試行時に血糖値の低下を引き起こすわけではなく、運動試行と安静試行の血糖値がほぼ同程度であるか、むしろ安静試行よりも運動試行で高い値を示している被験者がいることが明らかと

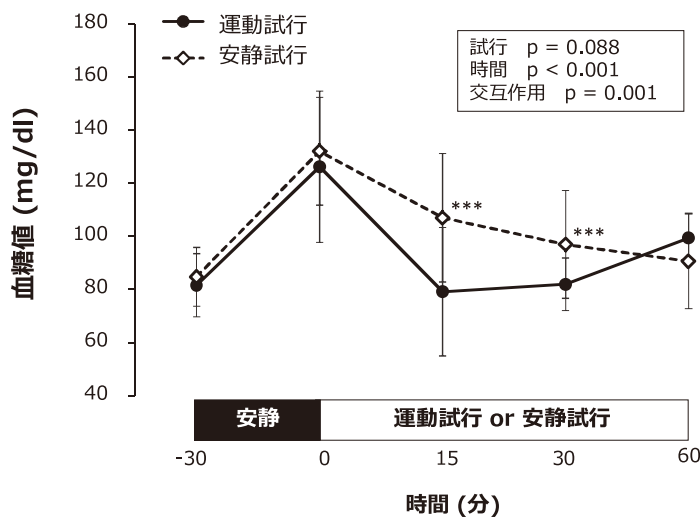


図2 運動試行および安静試行における血糖値の経時変化

数値は全て平均±標準偏差で表した。

*** $p < 0.001$ vs. 運動試行

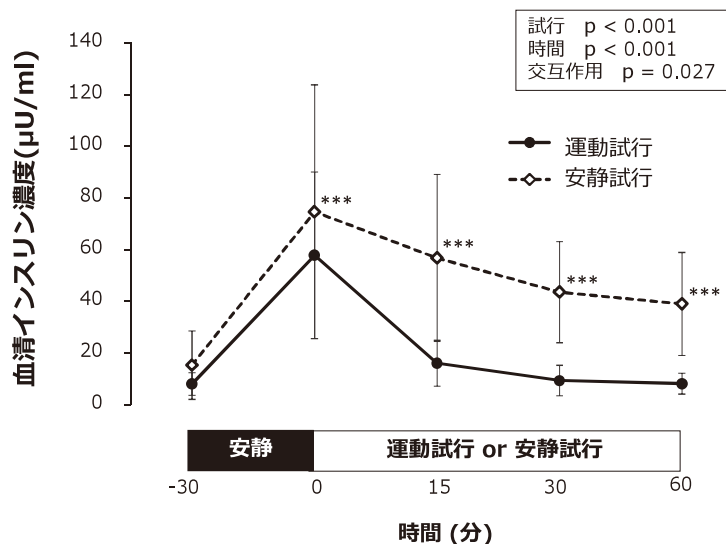


図3 運動試行および安静試行における血清インスリン濃度の経時変化

数値は全て平均±標準偏差で表した。

*** $p < 0.001$ vs. 運動試行

なった。

そこで、血糖変化量が ± 10 mg/dl以内の被験者を変化なし群、それよりも大きな変化（低下）を示した被験者を低下群とし、2群に分けたところ、変化なし群が5名、低下群が10名となった。それぞれの群における血糖変化量の平均値を求めた結果、変化なし群では 6 ± 16 mg/dl、低下群では -45 ± 12 mg/dlであり、低下群では変化なし群に比べて有意に大きな変化量（低下量）を示した（図4-B、 $p < 0.001$ ）。

4. 血糖変化量の個人差とその関連要因

低下群で、安静試行から運動試行にかけて血糖値が低下しやすくなる要因を明らかにするために、まず飲料摂取45分後（運動開始15分後）の時点における血清インスリン濃度の値を低下群と変化なし群で比較した。その結果、運動試行（図5-A）および安静試行（図5-B）いずれにおいても両群間に有意な差は認められなかった（運動試行： $p = 0.277$ 、安静試行： $p = 0.529$ ）。

低下群と変化なし群の間に血清インスリン濃度の有意な差が認められなかったことから、血糖変化量の個人差に関連する他の要因を探索した。その結果、低下群では変化なし群に比べて、 $\dot{V}O_2\text{max}$ が有意に高い値を示した（図6-A、 $p = 0.035$ ）。さらに、 $\dot{V}O_2\text{max}$ と血糖変化量との間に有意な負の相関関係が認められた（図6-B、 $r = -0.614$ 、 $p = 0.015$ ）。

IV 考察

本研究では、糖質飲料摂取後に安静状態を保った場合と運動を行った場合との血糖値の変化を比較することで、運動誘発性の血糖値の低下量について再評価し、さらに、安静試行に比べて運動試行で血糖値が低

下しやすい被験者に見られる特性・特徴について検討を行った。その結果、1) 糖質摂取後に安静状態を保った場合と比較して、運動を行うことでわずか15分のうちに平均して約30 mg/dl程度の急激な血糖値の低下が生じること、2) 運動誘発性の血糖低下量は、最大酸素摂取量が高い被験者において大きくなることが明らかとなった。

本研究では、150 gという多量の糖質を摂取させたにもかかわらず、安静状態と比較して運動を組み合わせることにより、血糖値が平均で約30 mg/dl低下していた（図2、図4）。運動誘発性低血糖が生じるメカニズムは、骨格筋細胞における血糖の取り込みが関連しているとされている^{5), 13), 14)}。骨格筋細胞内への血糖の取り込みは、糖輸送体（glucose transporter-4：GLUT-4）が細胞膜上へ移動することによって行われ、このGLUT-4を介した糖取り込みは、インスリン刺激や筋収縮刺激によって活性化される¹⁵⁾。したがって、運動誘発性低血糖は、運動前に摂取した糖質によって分泌されたインスリンによる刺激に加えて、筋収縮刺激による骨格筋の糖取り込みが増大することによって生じると考えられる。本研究では、安静試行と比較して、運動試行において血清インスリン濃度が有意に低い値を示していた（図3）。したがって、インスリン刺激による糖取り込みよりも、筋収縮刺激による骨格筋の糖取り込み速度が増大することで、このような大きな運動誘発性の血糖値の低下が生じたものと考えられる。

このように、糖質摂取後に運動を行うことで安静状態と比較して約30 mg/dlという大幅な血糖値の低下が生じるということは、運動中の糖質利用の亢進および脂質利用の抑制を引き起こし、長時間の運動を行うような場合では、持続的パフォーマンスの低下につな

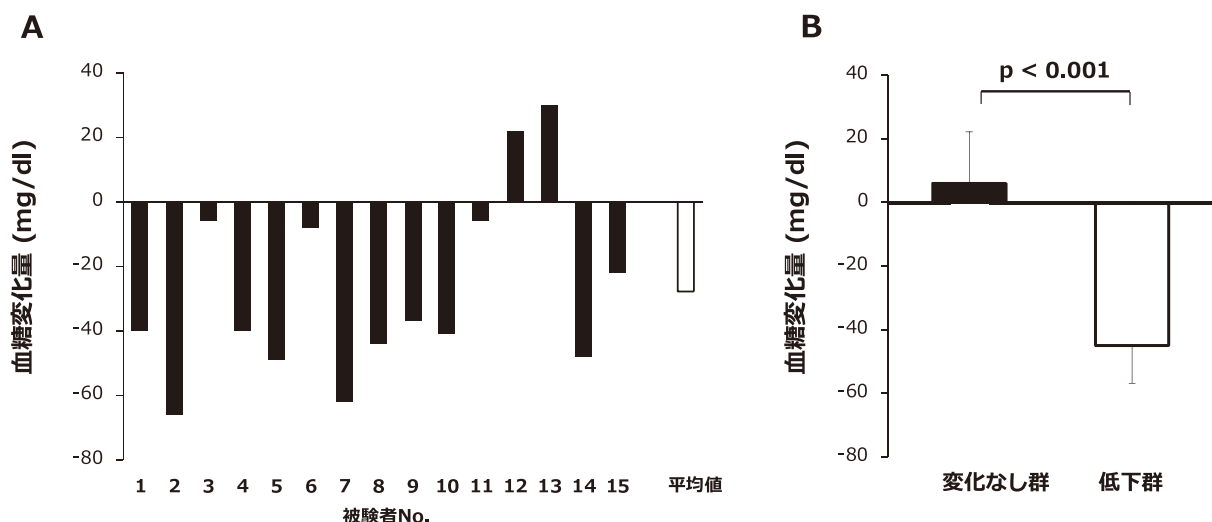


図4 各被験者の血糖変化量（A）と変化なし群および低下群における血糖変化量の平均値の比較（B）
数値は全て平均 $\pm$ 標準偏差で表した。

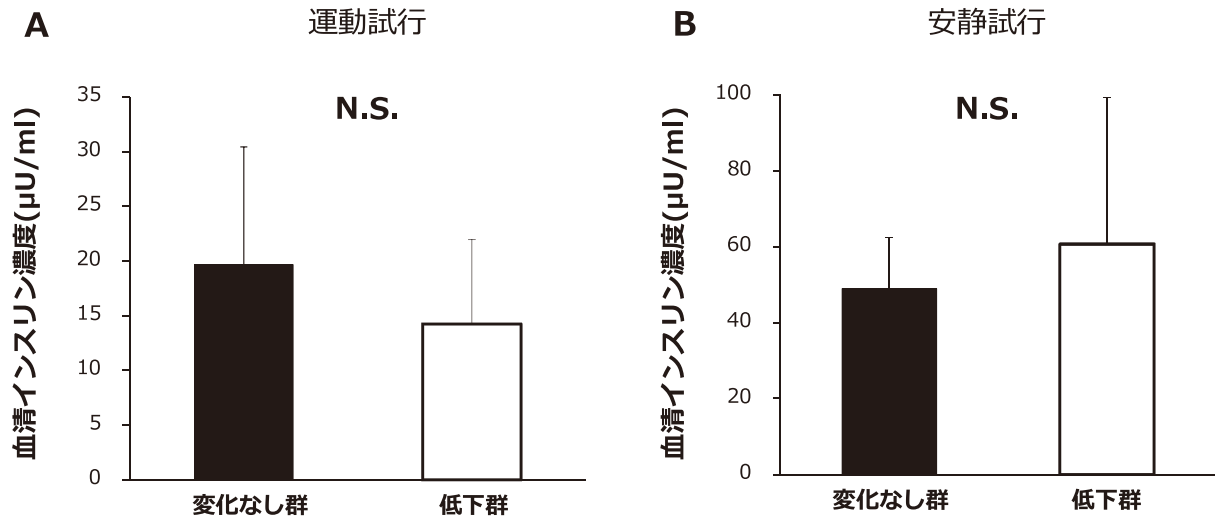


図5 運動試行 (A) および安静試行 (B) における変化なし群と低下群の飲料摂取45分後 (運動開始15分後) における血清インスリン濃度

数値は全て平均±標準偏差で表した。

N.S.; 有意差なし

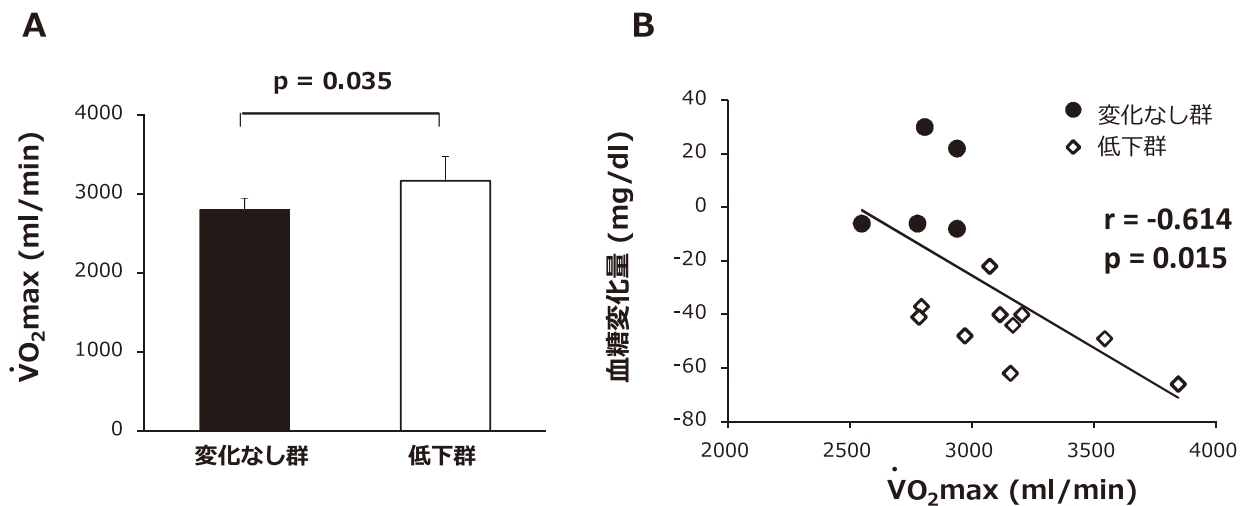


図6 変化なし群および低下群における $\dot{V}O_2\text{max}$ (A)、および血糖変化量と $\dot{V}O_2\text{max}$ との関係 (B)

数値は全て平均±標準偏差で表した。

$\dot{V}O_2\text{max}$: 最大酸素摂取量

がる可能性も考えられる。一方で、この結果は、健常な男子大学生を対象とした研究ではあるが、多量の糖質を摂取した場合でも、食後に運動を行うことで血糖値がより低下することを示すものである。食後の運動がその後の血糖値の変動に及ぼす影響について検討したシステマティックレビューにおいても、食後の運動がその後数時間～24時間における血糖値の曲線下面積を低下させることが認められている¹⁶⁾。本研究の結果も、これらの先行研究の結果と一致しており、糖尿病患者などにおける食後高血糖の予防に運動が効果的であることを支持するものである。

安静試行から運動試行への血糖変化量の平均値は

-28 ± 29 mg/dlであったが、個人差が非常に大きく、むしろ運動試行よりも安静試行の血糖値が低値を示す被験者も存在した (図4-A)。そこで、血糖低下量と関連する要因を探索するため、本研究ではまず、血清インスリン濃度の検討を行った。しかしながら、運動試行および安静試行いずれにおいても、変化なし群と低下群との間に血清インスリン濃度の有意な差は認められなかった (図5-A、5-B)。

先述したように、運動誘発性の血糖値の低下には、筋収縮刺激による骨格筋の糖取り込みが大きく関与しており、それに比べてインスリン刺激による影響は小さかった可能性が高い。そのため、血清インスリン濃

度は、血糖低下量に大きな影響を及ぼさず、低下群と変化なし群の間に違いが認められなかったものと考えられる。

そこで、血清インスリン濃度以外に血糖変化量の個人差を生じさせる要因を探索したところ、低下群では変化なし群に比べて、 $\dot{V}O_2\text{max}$ が有意に高い値を示し（図6-A）、さらに、 $\dot{V}O_2\text{max}$ と血糖低下量との間に有意な負の相関関係が認められた（図6-B）。したがって、これらの結果から、最大酸素摂取量の高い被験者では、安静試行から運動試行にかけて血糖値がより低下しやすくなる可能性が高いと考えられる。最大酸素摂取量が高い被験者では、骨格筋の糖輸送体GLUT-4の発現量が高いこと¹⁷⁾、さらに、GLUT-4発現量が高い骨格筋では、筋収縮刺激による骨格筋糖取り込み能力が高いことが知られている¹⁸⁾。したがって、最大酸素摂取量が高い被験者では、筋収縮時の骨格筋糖取り込み能力が高かったことで安静試行から運動試行への血糖低下量が大きくなった可能性が考えられる。また、本研究では、全ての被験者に対して最大酸素摂取量の75%に相当する運動強度で自転車運動を行わせた。相対的には同一の運動負荷であったものの、当然のことながら、高い最大酸素摂取量を有している被験者ほど、絶対的な運動強度が高くなり、それに伴い、運動中のエネルギー消費量および糖質利用も増大すると考えられる。一方、糖質摂取に関しては、全ての被験者に対して同じ量の糖質（150 g）を摂取させた。したがって、高い最大酸素摂取量を有している被験者ほど、糖質摂取量に対する運動中の糖質利用量の比率が高くなり、血糖低下量が大きくなっていったという可能性も考えられる。今後の研究においては、体重や体格による影響を考慮し、体重当たりの糖質摂取量を合わせて実験を行うことも必要であると考えられる。

我々の先行研究¹²⁾においても同様に、朝食摂取条件において運動誘発性低血糖（血糖値が4 mmol/l以下）を発症した7名では $\dot{V}O_2\text{max}$ が有意に高い値を示し、運動開始15分後の血糖値と $\dot{V}O_2\text{max}$ の間に有意な負の相関関係が認められた。日頃からトレーニングを行っているスポーツ選手は $\dot{V}O_2\text{max}$ が高いことが予想され、また、食事を摂取してからトレーニングを行う場合が多い。したがって、運動中に低血糖を発症する可能性が高いことから、運動前の糖質摂取にはより注意を払う必要があると考えられる。

本研究における研究の限界として、以下の3点が挙げられる。まず1点目に、朝食摂取前および朝食摂取後から糖質飲料を摂取するまでの間に血液データを測定していないこと、また、被験者の普段の食事摂取状況を測定していないことが挙げられる。いずれも運動中の血糖値やインスリン濃度に影響を及ぼす可能性が考えられることから、今後は朝食摂取前から採血を行うことや、被験者の普段の食事調査を行う必要がある

と考えられる。2点目として、本研究では男性被験者のみを対象としている点である。男性に比べて女性では骨格筋量が少なく、運動中における骨格筋の糖取り込み量も少なくなることが予想されるため、女性被験者を対象とした場合にも本研究と同様の結果が得られるかどうか不明である。よって、今後の研究では性差を考慮し、女性被験者を対象とした研究を行う必要があると考えられる。最後に、本研究では15名の被験者を対象とし、低下群と変化なし群をそれぞれ10名と5名に分けて統計処理を行ったが、被験者数が少なかった可能性も否定できない。したがって、今後はさらに被験者数を増やして検討を行う必要があるだろう。

V 結論

実際のスポーツ現場に近い状況である朝食摂取条件においても、糖質飲料摂取後に運動を行うことで、同量の糖質を摂取して安静状態を保った場合に比べて、わずか15分の間に約30 mg/dl程度の血糖値の急激な低下が生じることが明らかとなった。また、安静試行から運動試行にかけての血糖変化量には個人差があり、血糖低下量が大きい被験者では、最大酸素摂取量が高い傾向が認められた。

利益相反

本研究内容に関して申告すべき利益相反はない。

文 献

- 1) Holloszy, J.O., Kohrt, W.M., Hansen, P.A.: The regulation of carbohydrate and fat metabolism during and after exercise, *Front. Biosci.*, 3, D1011-1027 (1998)
- 2) Bergstrom, J., Hermansen, L., Hultman, E., et al.: Diet, muscle glycogen and physical performance, *Acta. Physiol. Scand.*, 71, 140-150 (1967)
- 3) Coyle, E.F., Coggan, A.R., Hemmert, M.K., et al.: Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate, *J. Appl. Physiol.*, 61, 165-172 (1986)
- 4) Burke, L.M., Hawley, J.A., Wong, S.H., et al.: Carbohydrates for training and competition, *J. Sports. Sci.*, 29 Suppl 1, S17-27 (2011)
- 5) Costill, D.L., Coyle, E., Dalsky, G., et al.: Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise, *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.*, 43, 695-699 (1977)
- 6) Foster, C., Costill, D.L., Fink, W.J.: Effects of pre-exercise feedings on endurance performance, *Med. Sci. Sports.*, 11, 1-5 (1979)
- 7) Koivisto, V.A., Karonen, S.L., Nikkilä, E.A.: Carbohydrate ingestion before exercise: comparison of glu-

- cose, fructose, and sweet placebo, *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.*, 51, 783-787 (1981)
- 8) Hargreaves, M., Costill, D.L., Katz, A., et al.: Effect of fructose ingestion on muscle glycogen usage during exercise, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 17, 360-363 (1985)
- 9) Koivisto, V.A., Häkkinen, M., Karonen, S.L., et al.: Glycogen depletion during prolonged exercise: influence of glucose, fructose, or placebo, *J. Appl. Physiol.*, 58, 731-737 (1985)
- 10) Short, K.R., Sheffield-Moore, M., Costill, D.L.: Glycemic and insulinemic responses to multiple preexercise carbohydrate feedings, *Int. J. Sport. Nutr.*, 7, 128-137 (1997)
- 11) Jentjens, R.L., Jeukendrup, A.E.: Prevalence of hypoglycemia following pre-exercise carbohydrate ingestion is not accompanied by higher insulin sensitivity, *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.*, 12, 398-413 (2002)
- 12) Kondo, S., Tanisawa, K., Suzuki, K., et al.: Preexercise Carbohydrate Ingestion and Transient Hypoglycemia: Fasting vs. Feeding, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 51, 168-173 (2019)
- 13) Sherman, W.M., Brodowicz, G., Wright, D.A., et al.: Effects of 4 h preexercise carbohydrate feedings on cycling performance, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 21, 598-604 (1989)
- 14) Kuipers, H., Franssen, E.J., Keizer, H.A.: Pre-exercise ingestion of carbohydrate and transient hypoglycemia during exercise, *Int. J. Sports. Med.*, 20, 227-231 (1999)
- 15) Hayashi, T., Wojtaszewski, J.F., Goodyear, L.J.: Exercise regulation of glucose transport in skeletal muscle, *Am. J. Physiol.*, 273, E1039-1051 (1997)
- 16) Borrer, A., Zieff, G., Battaglini, C., et al.: The effects of postprandial exercise on glucose control in individuals with type 2 diabetes: a systematic review, *Sports Med.*, 48, 1479-1491 (2018)
- 17) Ebeling, P., Bourey, R., Koranyi, L., et al.: Mechanism of enhanced insulin sensitivity in athletes. Increased blood flow, muscle glucose transport protein (GLUT-4) concentration, and glycogen synthase activity, *J. Clin. Invest.*, 92, 1623-1631 (1993)
- 18) Kawanaka, K., Nolte, L.A., Han, D.H., et al.: Mechanisms underlying impaired GLUT-4 translocation in glycogen-supercompensated muscles of exercised rats, *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 279, E1311-E1318 (2000)

(受付日：2018年11月8日)
(採択日：2018年12月10日)

Original Article

Reevaluation of exercise-induced transient hypoglycemia: a comparison with the resting condition

Saki KONDO ^{*1, *2}, Kumpei TANISAWA ^{*3, *4, *5}, Katsuhiko SUZUKI ^{*3}, Shin TERADA ^{*2}, Mitsuru HIGUCHI ^{*3}

^{*1} Graduate School of Sport Sciences, Waseda University

^{*2} Department of Life Sciences, Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo

^{*3} Faculty of Sport Sciences, Waseda University

^{*4} Department of Physical Activity Research, National Institutes of Biomedical Innovation, Health and Nutrition

^{*5} Research Fellow of Japan Society for the Promotion of Science

ABSTRACT

【Aim】

Carbohydrate (CHO) ingestion 30–45 min before exercise results in transient hypoglycemia after the start of exercise. Although the phenomenon is called exercise-induced hypoglycemia, no comparisons have been performed between exercise and resting conditions. This study aimed to reevaluate exercise-induced transient hypoglycemia by comparing it with the resting condition.

【Methods】

Fifteen subjects were involved in the following two trials: 1) subjects performed cycle ergometer exercises for 60 minutes at 75% maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\max}$) (EX trials), and 2) subjects remained at rest for 90 min (REST trial). In both trials, they consumed breakfast and 500 ml of a beverage containing 150 g of glucose at 3 h and 30 min, respectively, before the trial. Plasma glucose levels were then determined.

【Results】

In the EX trial, a sharp decline in plasma glucose was observed at 15 min after the start of the exercise, and the plasma glucose levels were significantly lower by 28 ± 29 mg/dl during the EX trial, compared with the REST trial. Furthermore, subjects who showed a large decline in their plasma glucose level in the EX trial, compared with the REST trial, had a significantly higher $\dot{V}O_{2\max}$ than those who showed minimal differences in plasma glucose levels between the two trials.

【Conclusion】

These results suggest that exercise after CHO ingestion causes a large fall in plasma glucose level by approximately 30 mg/dl, compared with the resting condition. Furthermore, subjects with a higher $\dot{V}O_{2\max}$ seem to be more prone to having a larger exercise-induced decline in blood glucose levels.

Keywords: transient hypoglycemia, plasma glucose, $\dot{V}O_{2\max}$