

原著

朝食摂取後における運動直前の糖質溶液摂取が定常負荷運動時の血糖値に及ぼす影響

藤江 衣織^{*1}、垣内 ちひろ^{*2}、吉本 香乃^{*2}、東郷 将成^{*3}、瀧澤 一騎^{*4}、木村 宣哉^{*2}、柴田 啓介^{*1,*2}、山口 太一^{*1,*2}

^{*1} 酪農学園大学大学院酪農学研究科食品栄養科学専攻、^{*2} 酪農学園大学農食環境学群食と健康学類、

^{*3} 旭川市立大学短期大学部食物栄養学科、^{*4} 一般社団法人身体開発研究機構

【目的】

本研究の目的は朝食摂取後に糖質溶液を摂取し、定常負荷運動を30分後に開始する条件と速やかに開始する条件との間で運動中の血糖値に及ぼす影響を比較することであった。

【方法】

健康な男性10名が朝食摂取後に30 gのブドウ糖を含む500 mLの糖質溶液を摂取し、最大運動負荷の65%強度で30分間の自転車漕ぎ運動を行った。被験者は糖質溶液を摂取し、運動を30分後に開始する条件（30分前条件）、速やかに開始する条件（直前条件）の2条件を別日に行った。血糖値は糖質溶液摂取前、運動開始前および運動開始後は5分毎に30分まで測定された。

【結果】

直前条件（摂取3分52秒±1分20秒後）の血糖値は30分前条件に比べ運動開始前は低値であったが、運動開始後10分以降は高値であった。30分前条件では運動開始後15～25分にかけて血糖値が低血糖の基準値（72 mg/dL）を下回った。その運動中の最低血糖値は60.3±12.3 mg/dLであり、被験者9名が低血糖の基準値を下回った。一方、直前条件はいずれの被験者も基準値を下回らなかった（93.0±12.7 mg/dL）。

【結論】

朝食摂取後に糖質30 g/500 mLの糖質溶液を摂取し、約4分後に定常負荷運動を開始した直前条件では30分前条件と比較して運動中の血糖値が高く保たれ、運動誘発性低血糖が生じなかった。

キーワード：運動誘発性低血糖 摂取タイミング 持久性運動

I 緒言

糖質を摂取した後、1時間以内に持久性運動を開始すると、運動誘発性低血糖が生じる恐れがある。運動誘発性低血糖とは、糖質摂取によって上昇した血糖値をインスリンによって低下させる作用と、運動による血中から筋への糖取り込みが相まって、血糖値が急激に低下する現象である¹⁾。運動誘発性低血糖は、筋グリコーゲンの利用亢進、糖質酸化の増大、脂質酸化の抑制を生じさせ、持久性パフォーマンスを低下させることが示唆されている^{2), 3)}。

運動誘発性低血糖について、八田ら⁴⁾は、日常的に運動を行っている男性7名を対象に、朝食摂取後に糖

質30 gを含む糖質溶液500 mLを単回摂取させ、その30分後に最大運動負荷（Wmax）の75%相当強度の定常負荷運動を行わせた。その結果、運動開始10分前に血糖値と血中インスリン濃度が上昇し、運動開始10～20分後にはすべての被験者の血糖値が低血糖の基準値を下回ったことを報告した。他方、Moseley et al.⁵⁾は、男性サイクリスト8名を対象に、夜間絶食後に糖質75 gを含む糖質溶液500 mLを単回摂取させ、その15分後、45分後および75分後に65% Wmax相当強度の定常負荷運動を行わせた。その結果、糖質溶液摂取15分後に運動を開始した条件においてのみ、運動開始時に血糖値および血中インスリン濃度の上昇が認められ、その血糖値および血中インスリン濃度は、糖質溶液摂

取45分後および75分後に運動を開始した条件の運動開始時の値よりも高値であった。それにもかかわらず、運動中の血糖値の平均値はいずれの条件においても低血糖の基準値を下回らなかった。ただし、Moseley et al.⁵⁾では、糖質溶液摂取15分後に運動を開始した条件で8名中2名、45分後に開始した条件で3名、75分後に開始した条件で5名の被験者において運動中の血糖値が低血糖の基準値を下回った。Jeukendrup & Killerは運動前の糖質摂取に関するレビュー¹⁾において、Moseley et al.⁵⁾の結果を踏まえて、運動前に糖質を摂取し、血糖値および血中インスリン濃度が上昇する前に運動を開始すれば、運動誘発性低血糖の発生リスクを最小限に抑えられる可能性があるとしている。糖質を単回摂取し、血糖値および血中インスリン濃度が上昇する前に速やかに運動を開始し、運動中の血糖値に及ぼす影響を検討したKohara et al.⁶⁾では、7名の男性トライアスロン選手を対象に、夜間絶食後に糖質45 g含有のゼリー飲料180 gを単回摂取させ、その直後に最大酸素摂取量の80%相当強度で1分、次いで60%相当強度で3分の計4分間の変動負荷運動を20セット行わせても、運動中に低血糖にはならず、血糖値はむしろ上昇したことが報告されている。この他に糖質を単回摂取し、血糖値および血中インスリン濃度が上昇する前に速やかに運動を開始し、運動中の血糖値に及ぼす影響を検討した研究は我々が調査した範囲では見当たらない。したがって、夜間絶食後の変動負荷運動以外については検討の余地が残されており、特に、朝食摂取後の定常負荷運動に関する検討はすべきであると考える。スポーツ現場において、アスリートが朝食を摂取してから日中の練習や試合に臨むことや、運動直前に糖質を含むスポーツドリンクを摂取することは一般的なことである。朝食摂取後の定常負荷運動中にも運動誘発性低血糖が生じないことを明らかにできれば、定常負荷の持久性運動を安全かつより良いパフォーマンスで実施するためのスポーツ栄養学的なアプローチとして運動直前のスポーツドリンクの摂取が推奨可能となる。

本研究の目的は、朝食摂取後に糖質溶液を単回摂取し、摂取30分後に定常負荷運動を開始する条件と、摂取後速やかに開始する条件との間で、運動中の血糖値に及ぼす影響を比較することである。糖質30 g/500 mLの糖質溶液を単回摂取し、摂取30分後に定常負荷運動を開始する条件では、血糖値および血中インスリン濃度が上昇し、運動中に運動誘発性低血糖が生じる。一方、摂取後速やかに定常負荷運動を開始する条件では、血糖値および血中インスリン濃度が上昇せず、摂取30分後に運動を開始する条件と比較して、運動中の血糖値が高く保たれ、運動誘発性低血糖が生じないとの仮説のもと検討を行った。

II 方法

1. 被験者

被験者として酪農学園大学の課外活動団体（アイスホッケー部、準硬式野球部、バドミントン部、ハンドボール部）に所属し、日常的に運動を行っている健康的な日本人男子大学生10名〔年齢:20.0±1.3歳（範囲:19-22歳）、身長:174.5±6.0 cm、体重:65.9±6.3 kg、Wmax:246.7±24.4 W〕が参加した。本研究の被験者は、前日の水分摂取状況が運動中の血糖値に及ぼす影響を検討した我々の先行研究⁷⁾と同一の被験者であり、本研究における30分前条件の結果は、先行研究⁷⁾の水分摂取条件の結果と同一である。すべての被験者に対して事前に実験の目的、内容および危険性について十分に説明を行い、書面にて実験参加の同意を得た。実験実施前に、糖尿病の罹患の有無を確認したが、該当する者はいなかった。本研究は酪農学園大学における人を対象とする医学系研究倫理審査委員会により承認（15-9）を得て実施した。

2. 実験の概要

すべての被験者は、事前に年齢および身長を自己申告し、体重を測定した。その後、自転車運動を用いた多段階漸増負荷試験を行い、Wmaxの決定を行った。本実験は、2021年7月から9月の期間に実施し、各被験者は飲料水500 mLに30 gのブドウ糖を溶解した糖質溶液を摂取し、摂取30分後に運動を開始する条件（30分前条件）、摂取直後に運動を開始する条件（直前条件）の2条件に、先行研究⁷⁾の水分制限条件を加えた3条件を、条件間に1週間以上の期間をあげ、クロスオーバーデザインで実施した。各被験者の実験の順序は、表計算ソフトMicrosoft Excel for Macのランダム関数を用いてランダム化して決定した。夏期の実験であったことから、脱水を防ぐため、被験者はいずれの条件においても前日に2 Lの飲料水（北海道天然水 ナチュラルミネラルウォーター、黒松内銘水株式会社）を必ず摂取した。また、本実験の実施24時間前から激しい運動や飲酒、カフェインの摂取を禁止した。被験者は実施前日の22時までには250 mLのオレンジジュースを含む指定した夕食（エネルギー:931 kcal、たんぱく質:22.2 g、脂質:17.7 g、炭水化物:175.9 g）を摂取した。本実験当日は、運動開始3時間前までに250 mLのオレンジジュースを含む指定した朝食（エネルギー:843 kcal、たんぱく質:29.1 g、脂質:28.0 g、炭水化物:121.3 g）を摂取した。指定した両食事は、Burke et al.⁸⁾による運動前の糖質摂取の目安量を満たす食事とし、夕食は24時間で体重1 kgあたり7~12 gの糖質量を3食分で除した糖質量（体重1 kgあたり2.3~4 g）、朝食は体重1 kgあたり1~4 gの糖質量を満たす食事とした。朝食摂取後は、本実験終了まで糖質溶液

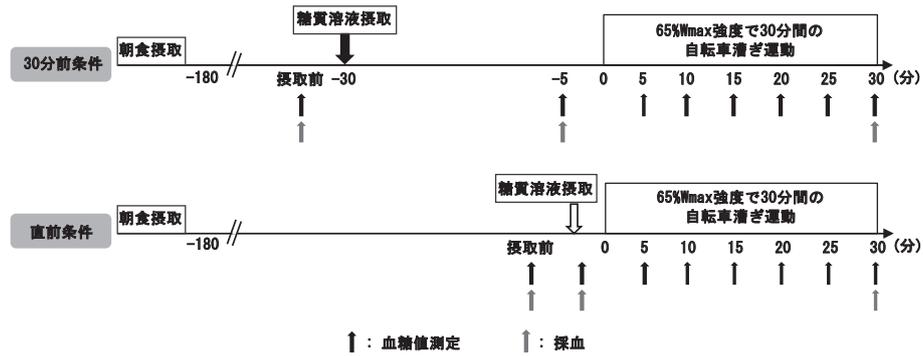


図1 実験プロトコル

以外の水分摂取を制限した。

本実験当日（図1）、被験者は実験室来室後、指先より採血を行い、血糖値が110 mg/dL以下になるまで安静を保持した。糖質溶液摂取前（摂取前）に指先および肘正中皮下静脈からの採血を行った。採血終了後、30分前条件では、ブドウ糖30 g/500 mLの糖質溶液を単回摂取した。25分の座位安静後、指先および肘正中皮下静脈からの採血を行った。採血終了後、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）に移動し、摂取30分後に65% Wmaxに相当する強度の自転車漕ぎ運動を開始し、30分間継続した。一方、直前条件では、摂取前の採血終了後、自転車エルゴメーター上で糖質溶液を単回摂取し、摂取直後に採血を行った。採血終了後、準備が整い次第、30分前条件と同様の自転車漕ぎ運動を開始した。運動中は両条件ともに運動開始5分後より5分毎に指先から採血を行い、血糖値を測定した。加えて、運動開始30分後には肘正中皮下静脈より採血を行った。なお、被験者のサーカディアンリズムを考慮し、午前中の同時間帯に実施した。すべての実験環境は気温25℃、相対湿度55%となるよう調整した。

3. 事前測定

事前測定は、本実験の1週間以上前に行った。被験者は実験室に来室後、体重計（BC-622、株式会社タニタ、最小表示50 g）を用いて体重の計測を行った。その後、自転車エルゴメーターに乗り、心拍計のトランスミッター（H1 トランスミッター、Polar Electro Oy）を装着した。自転車エルゴメーター上で3分間の安静状態を保持したのちに60 Wで3分間のウォーミングアップを実施した。ウォーミングアップ終了直後から、回転数を60 rpmに維持した状態で1分間に20 Wずつ漸増するステップ負荷にて疲労困憊まで追い込んだ。疲労困憊の判断基準は、1. 回転数が50 rpmを下回った時点、2. 最大心拍数が（220-年齢）拍/分を超えた時点、3. 被験者が運動継続困難と

判断した時点のいずれかとした⁴⁾。漸増運動負荷試験にて10秒毎に得られた負荷の最大値をWmaxとし、運動で用いるWmaxの65%に相当する強度を算出した。

4. 糖質溶液

糖質溶液は、30 gのブドウ糖（扶桑薬品工業株式会社）を500 mLの飲料水（北海道天然水 ナチュラルミネラルウォーター、黒松内銘水株式会社）に溶解したものとした。この糖質溶液を単回摂取し、摂取30分後に運動を開始することで運動誘発性低血糖が生じたことが確認されている⁴⁾。溶液の摂取時間は3分以内とした。なお、溶液の温度は30分前条件で17.0±3.4℃、直前条件で16.9±3.2℃であった。

5. 自転車漕ぎ運動

被験者は自転車エルゴメーターを用いて30分間の自転車漕ぎ運動を実施した。負荷はMoseley et al.⁵⁾に倣い、65% Wmax相当強度とした。また、回転数は60 rpmを維持するよう指示した。30分間の運動時間は、八田ら⁴⁾において5分間のウォームアップ後、運動開始10～20分後に運動誘発性低血糖が確認されたことから、ウォームアップを実施しない本研究では、運動開始15～25分後に運動誘発性低血糖が生じることを想定して設定した。

6. 血液生化学分析

糖質関連項目として、血糖値および血中インスリン濃度を測定した。血糖値はグルテストNeoスーパー（GT-1820、株式会社三和化学研究所）を用いて指先血より測定した。低血糖の基準は血糖値が72 mg/dL以下⁹⁾を以て判定した。また、血糖動態に関わるホルモンである血中のインスリン濃度の測定のために看護師が肘正中皮下静脈より採血を行った。なお、採取された血液の分析は外注依頼（札幌臨床検査センター株式会社）した。

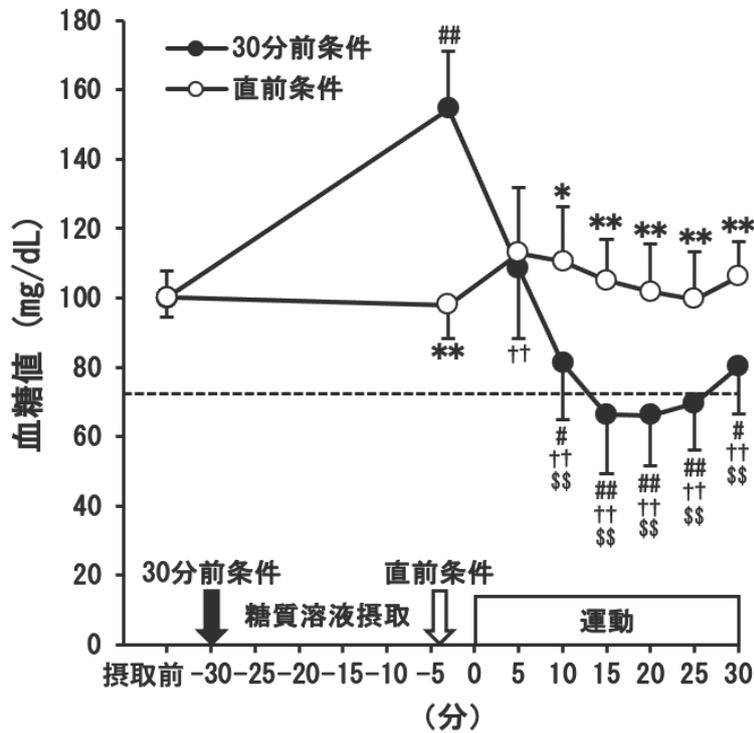


図2 血糖値の経時変化の比較

各経過時間の平均値は被験者10名分のもの。破線は低血糖の基準値 (72 mg/dL) を示す。下向き矢印は各条件における糖質溶液摂取のタイミングを示す。 $*$ ($p < 0.05$)、 $**$ ($p < 0.01$) は条件間の有意差を示す。 $\#$ ($p < 0.05$)、 $\#\#$ ($p < 0.01$) は摂取前との有意差を示す。 $\dagger\dagger$ ($p < 0.01$) は運動開始前との有意差を示す。 $\$\$$ ($p < 0.01$) は運動開始5分との有意差を示す。

7. 統計解析

本研究の結果は、平均値±標準偏差で示した。血糖値および血中インスリン濃度の経時変化における条件間の比較は重複測定分散分析 (摂取条件×経過時間) を用い、交互作用の有無を確認した。その後、交互作用が認められた場合には、等分散および正規性の認められたデータの各経過時間における条件間の比較は、対応のあるt検定を用いて多重比較検定を行った。等分散ないし正規性が認められなかったデータについてはウィルコクソン符号順位和検定を用いて行った。また、摂取条件内における経過時間のデータの比較には、等分散および正規性の認められた場合には繰り返しのある一元配置分散分析を、等分散ないし正規性が認められなかった場合にはフリードマン検定を行い、多重比較検定にはボンフェローニ/ダン法を用いた。運動中の血糖値の最低値における条件間比較については、等分散および正規性を確認し、対応のあるt検定を行った。すべての統計解析は、統計ソフトエクセル統計Statcel 3 (オーエムエス出版) を使用し、有意

水準は $p < 0.05$ で判定した。なお、摂取条件間に有意差が認められたデータについては平均値の差と95%信頼区間を示した。

III 結果

血糖値の経時変化を図2に示した。血糖値の推移について、摂取条件と経過時間に有意な交互作用 ($F = 36.28, p < 0.01$) が認められた。30分条件の血糖値は、運動開始5分前に上昇した後、運動開始に伴い低下し、15~25分後において低血糖の基準値である72 mg/dLを下回った。糖質溶液摂取前と運動開始5分後を除く経過時間との間、運動開始前と運動開始10分以降との間、運動開始5分後と運動開始10分以降との間で有意な ($p < 0.05$) 差が認められた (図2)。直前条件の運動は、糖質溶液摂取の3分52秒±1分20秒 (範囲: 2分00秒~7分19秒) 後に開始された。直前条件の血糖値は、運動開始5分後でわずかに上昇し、その後、漸減し、運動開始30分後に再度上昇したもの

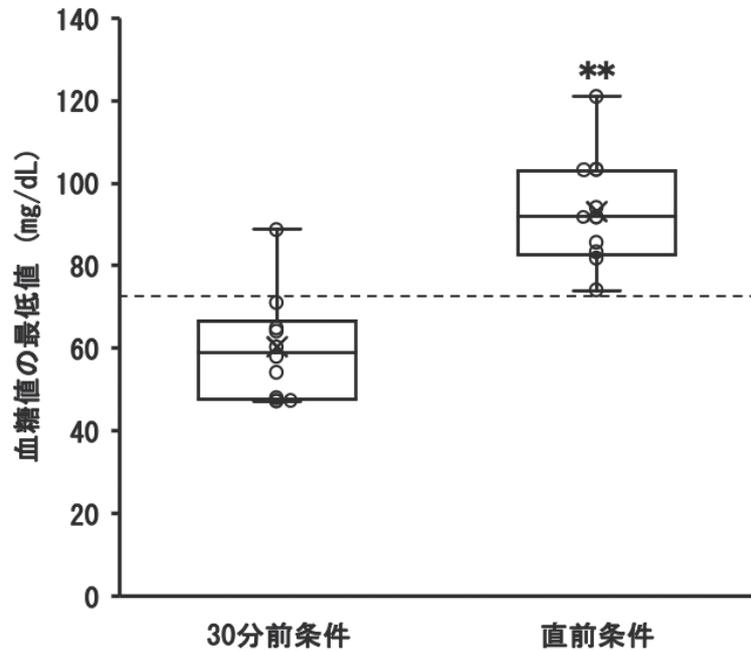


図3 運動中における血糖値の最低値の比較

各ポイントは被験者10名の運動中における血糖値の最低値、箱髷図は四分位範囲、×は平均値を示す。点線は低血糖の基準値（72 mg/dL）を示す。**（ $p < 0.01$ ）は条件間の有意差を示す。

の、経過時間の間で有意な差は認められなかった（図2）。運動開始前において直前条件が30分前条件よりも有意に（ $p < 0.01$ ）低値を示し〔差（95%信頼区間）：-55.9 mg/dL（-67.8～-44.0 mg/dL）〕、運動開始10～30分後において直前条件が30分前条件よりも有意に（ $p < 0.05$ ）高値を示した〔経過時間：差（95%信頼区間）、10分：29.3 mg/dL（12.2～46.4 mg/dL）、15分：38.5 mg/dL（26.5～50.5 mg/dL）、20分：35.7 mg/dL（23.9～47.5 mg/dL）、25分：29.9 mg/dL（18.9～40.9 mg/dL）、30分：26.0 mg/dL（18.4～33.6 mg/dL）、図2〕。

両条件における運動中の血糖値の最低値を図3に示した。30分前条件における運動中の血糖値の最低値は、被験者10名中9名で低血糖の基準値を下回った（図3）。一方、直前条件の最低血糖値（ 93.0 ± 12.7 mg/dL）は、すべての被験者で低血糖の基準値を下回らず（図3）、30分前条件（ 60.3 ± 12.3 mg/dL）よりも有意に（ $p < 0.01$ ）高値を示した〔差（95%信頼区間）：32.7 mg/dL（22.1～43.3 mg/dL）、図3〕。

血中インスリン濃度の経時変化は摂取条件間で有意な交互作用が認められた（ $F = 59.86$, $p < 0.01$ 、図4）。30分前条件において運動開始前に有意に（ $p < 0.01$ ）上昇し、運動終了時には有意に（ $p < 0.01$ ）低下した（図4）。糖質溶液摂取前と運動終了時との間には有意な差は認められなかった。直前条件では、血

中インスリン濃度に経過時間の間で有意な差は認められなかった（図4）。運動開始前において直前条件が30分前条件と比較して有意に（ $p < 0.01$ ）低値であった〔差（95%信頼区間）：-47.1 μ IU/mL（-59.1～-35.0 μ IU/mL）、図4〕。なお、両条件を通じて運動中に体調不良を訴える者はいなかった。

IV 考察

30分前条件における運動中の血糖値の最低値は、10名中9名の被験者で低血糖の基準値である72 mg/dLを下回った（図3）。また、30分前条件では、運動中の血糖値の平均値も運動開始15～25分後に低血糖の基準値を下回った（図2）。したがって、朝食摂取後に糖質30 g/500 mLの糖質溶液を単回摂取し、摂取30分後に65% Wmax相当強度の定常負荷運動を開始すると、運動中に運動誘発性低血糖が生じることが示唆される。Achten & Jeukendrup¹⁰⁾は、夜間絶食後に糖質75 g/500 mLの糖質溶液を単回摂取し、摂取45分後に40%、65%および80% Wmax相当強度の定常負荷運動を行っても運動中の血糖値変動には相違がなかったことを報告している。したがって、運動負荷が40%～80% Wmax相当強度の範囲内では、糖質溶液を単回摂取した後の運動中の血糖値変動には相違がないと考

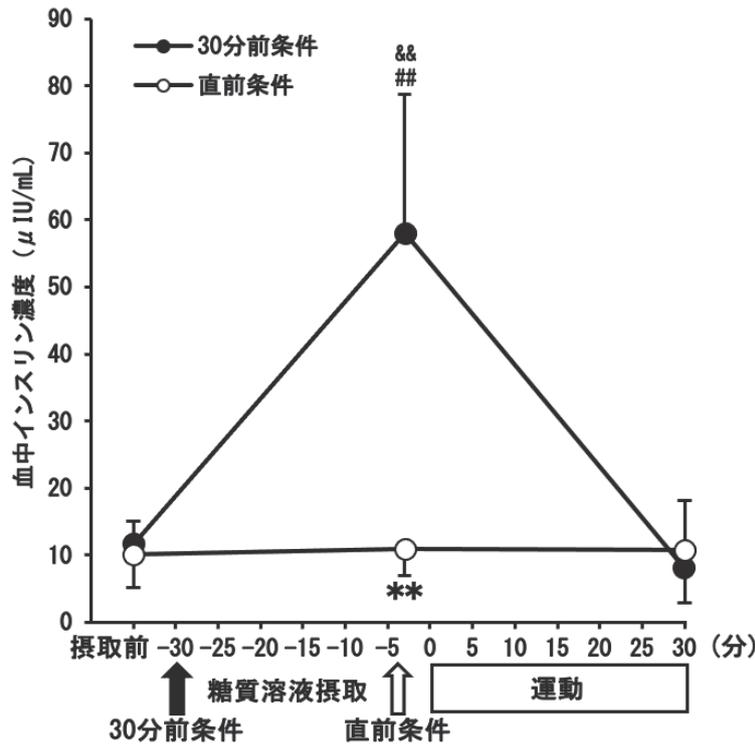


図4 血中インスリン濃度の継時変化の比較

各経過時間の平均値は被験者10名分のもの。上向き矢印は各条件における糖質溶液摂取のタイミングを示す。****** ($p < 0.01$) は条件間の有意差を示す。**##** ($p < 0.01$) は摂取前、**&&** ($p < 0.01$) は運動終了後との有意差を示す。

えられる。本研究と八田ら⁴⁾では、相対的な運動負荷が異なる (65% Wmax vs. 75% Wmax) もの、本研究の30分前条件の結果は、八田ら⁴⁾を支持するものであった。

一方、本研究における直前条件では、被験者10名全員で運動中の血糖値の最低値が低血糖の基準値を下回らなかった (図3)。また、運動中の血糖値の平均値も低血糖の基準値を下回らず、糖質溶液摂取前と有意差なく推移し、運動開始10~30分後には30分前条件よりも高値となった (図2)。これらのことは、朝食摂取後に糖質30 g/500 mLの糖質溶液を単回摂取し、摂取から約4分後に65% Wmax相当強度における定常負荷運動を開始しても、運動中に運動誘発性低血糖を引き起こさないことを示唆する。本研究の直前条件と前述のKohara et al.⁶⁾では、朝食摂取の有無、糖質摂取タイミング、糖質摂取量、糖質摂取時の性状 (液体あるいはゼリー) ならびに運動負荷自体に相違があるが、運動開始直前の糖質の単回摂取では運動誘発性低血糖は生じないという点で同様の結果が得られた。他方、Jeukendrup & Killer¹⁾は、Moseley et al.⁵⁾の結果について、摂取75分後に運動を開始した条件で低血糖

になった5名のうち3名は摂取45分後に運動を開始した条件で低血糖になった3名と同一であり、そのうち2名は摂取15分後に運動を開始した条件でも低血糖になったことから、運動誘発性低血糖の生じやすさには個人差が存在することを指摘している。今後は、朝食摂取後に糖質30 g/500 mLの糖質溶液を単回摂取し、摂取約4分後から30分後の間のタイミングで開始する定常負荷運動中の血糖値変動について検討し、摂取の何分後に運動を開始すれば、運動誘発性低血糖が生じないのかを個人差を含めて明らかにすることで、持続性運動前のより良い糖質摂取方法の提言が可能になるであろう。

本研究の直前条件で運動誘発性低血糖が生じなかった要因として、仮説の通り、直前条件では血糖値ならびに血中インスリン濃度が上昇する前に運動が開始されたことが関与したと考えられる。血糖値および血中インスリン濃度は、糖質摂取の20~40分後に最高値に達するとされている¹⁾。血中インスリン濃度が上昇すると、すぐにグルコーストランスポーター 4 (glucose transporter type 4 : GLUT 4) が筋膜で動員され、筋内への糖取り込みが増大する。さらに、血中インス

リン濃度が高い状態で運動が開始されるとGLUT 4の独立したカルシウム依存性プールを介して筋への糖取り込みがさらに増大するとされる。その結果、運動開始後、急激に血糖値が低下し、低血糖に陥る¹⁾。まさに本研究における30分前条件では、糖質溶液摂取25分後の血糖値および血中インスリン濃度が上昇し、高値であったことから(図2、4)、運動開始後に運動誘発性低血糖が生じたと考えられる。一方、直前条件では血糖値および血中インスリン濃度が上昇する前に運動が開始された(図2、4)。運動の開始により交感神経活動が亢進し、インスリンの分泌は抑制される¹¹⁾。直前条件ではインスリンによるGLUT 4の筋への糖取り込みが亢進しなかったことから、運動誘発性低血糖が生じなかったことが推察される。

本研究の直前条件では、糖質溶液摂取20~40分後が運動中であったため、運動中に血糖値が上昇することも想定された。しかしながら、運動中の血糖値は、30分前条件の運動開始前の値ほど上昇しなかった(図2)。中強度以上の運動中は、胃から腸への溶液の排出速度が低下することが明らかとなっている¹²⁾。したがって、直前条件では、運動直前に摂取した糖質溶液が運動中に胃から排出される量が安静時よりも少なく、小腸で吸収される糖質量も減少したことから、運動中の血糖値が30分前条件の運動5分前の値ほど上昇しなかった可能性が考えられる。また、本研究における30分前条件ならびに直前条件の糖質溶液の温度は、ともに約17℃と胃から腸への通過に最適な温度帯として推奨される5~15℃¹³⁾よりも若干高かった。これは摂取前に糖質溶液を冷蔵庫から取り出して、25℃の実験室に置いておいたからであるが、今後は、推奨される温度帯の糖質溶液を用いて同様の検討をすることを考えなければならない。加えて、直前条件における運動中あるいは運動後の糖質溶液の胃排出量を測定するとともに直前条件において30分間の運動終了後に血糖値が上昇するの否かについても検討することで、本研究における直前条件で運動誘発性低血糖が生じなかった理由を明らかにできる可能性がある。

V 結論

朝食摂取後に糖質30 g/500 mLの糖質溶液を単回摂取し、摂取30分後あるいは摂取後速やかに65% Wmax相当強度の定常負荷運動を行い、運動中の血糖値変動について比較を行った。摂取30分後に運動を開始した条件では、摂取25分後に血糖値および血中インスリン濃度が有意に上昇し、運動開始15~25分後に血糖値が低血糖の基準値を下回り、運動誘発性低血糖が生じた。一方、摂取後速やかに[摂取3分52秒±1分20秒(範囲:2分00秒~7分19秒)後に]運動を開始した条件では、血糖値および血中インスリン濃度が上

昇せず、摂取30分後に運動を開始した条件に比べ運動中の血糖値が高値となり、運動誘発性低血糖が生じないことが明らかとなった。

利益相反

著者全員が利益相反はない。

著者貢献

IFおよびTYが、研究のデザインの素案を作成し、その後、CK、KY、MT、KT、NK、KSが研究デザインの素案を確認し、研究デザインを確定させた。IF、CK、KY、MT、NKおよびTYがデータ収集、分析を担当した。看護師であるNKは採血を行った。分析されたデータの解釈はIF、CK、KY、MT、KT、NK、KS、TYが担当した。草稿はIFおよびTYが執筆し、その後、草稿をCK、KY、MT、KT、NK、KSが批判的にレビュー、修正した。最後に原稿の最終版をIF、CK、KY、MT、KT、NK、KS、TYが確認し、投稿を承認した。

文献

- 1) Jeukendrup, A.E., Killer, S.C.: Myths Surrounding pre-exercise carbohydrate feeding, *Ann. Nutr. Metab.*, 57, 18-25 (2010)
- 2) 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)
- 3) Foster, C., Costill, D.L., Fink, W.J.: Effects of preexercise feedings on endurance performance, *Med. Sci. Sports.*, 11, 1-5 (1979)
- 4) 八田早那子, 藤江衣織, 東郷将成, 他: 朝食摂取3時間後における運動前の糖質摂取量の相違が運動誘発性低血糖に及ぼす影響, *体力科学*, 70, 247-256 (2021)
- 5) Moseley, L., Lancaster, G.I., Jeukendrup, A.E.: Effects of timing of pre-exercise ingestion of carbohydrate on subsequent metabolism and cycling performance, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 88, 453-458 (2003)
- 6) Kohara, A., Morishima, T., Uchida, H., et al: Carbohydrate gel ingestion immediately before prolonged exercise causes sustained higher glucose concentration and lower fatigue, *Int. J. Sport Health Sci.*, 12, 24-30 (2014)
- 7) 藤江衣織, 垣内ちひろ, 嶋森昂太, 他: 前日の水分摂取制限が運動前の糖質溶液摂取に伴う運動誘発性低血糖に及ぼす影響, *北海道体育学研究*, 57, 49-55 (2022)
- 8) Burke, L.M., Hawley, J.A., Wong, S.H., et al: Carbohydrates for training and competition, *J. Sports Sci.*, 29, S17-S27 (2011)

- 9) 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)
- 10) Achten, J., Jeukendrup, A.E.: Effects of pre-exercise ingestion of carbohydrate on glycaemic and insulinaemic responses during subsequent exercise at differing intensities, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 88, 466-471 (2003)
- 11) 寺田新：スポーツ栄養学, pp.85 (2017), 東京大学出版会, 東京
- 12) Neuffer, P.D., Young, A.J., Sawka, M.N.: Gastric emptying during exercise: effects of heat stress and hypohydration, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 58, 433-439 (1989)
- 13) Costil, D.L., Saltin, B.: Factors limiting gastric emptying during rest and exercise, *J. Appl. Physiol.*, 37, 679-683 (1974)

(受付日：2023年9月20日)
(採択日：2024年4月16日)

Original Article

Effect of consuming a carbohydrate beverage immediately before exercise following breakfast on plasma glucose levels during constant-load exercise

Iori FUJIE ^{*1}, Chihiro KAKIUCHI ^{*2}, Kano YOSHIMOTO ^{*2}, Masanari TOGO ^{*3},
Kazuki TAKIZAWA ^{*4}, Nobuya KIMURA ^{*2}, Keisuke SHIBATA ^{*1, *2}, Taichi YAMAGUCHI ^{*1, *2}

^{*1}Food and Nutrition Science, Graduate School of Dairy Science, Rakuno Gakuen University

^{*2}Department of Food Science and Human Wellness, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University

^{*3}Department of Food and Nutrition, Asahikawa City University Junior College

^{*4}Institute of Physical Development Research

ABSTRACT

[Aim]

This study aimed to compare the effect of starting exercise immediately after consuming a carbohydrate beverage and starting 30 minutes after on plasma glucose (GLU) levels during constant-load exercise.

[Methods]

Ten healthy men cycled for 30 minutes at constant intensity equivalent to 65% of their maximal load after consuming a 500-mL carbohydrate beverage containing 30 g of glucose following breakfast. Participants completed the following two trials: one beginning the exercises 30 minutes after consuming the carbohydrate beverage (30-min trial), and another immediately (Immediately trial) after carbohydrate-beverage consumption. GLU levels were measured before carbohydrate-beverage consumption and before and at every 5-minute interval during the 30 minutes of exercise.

[Results]

Participants undergoing the Immediate trial (3 minutes and 52 seconds after consumption) exhibited significantly lower and higher GLU levels before and at 10–30 minutes of exercise, respectively, than in the 30-min trial. During the 30-minute trial, those exercising for 15–25 minutes experienced a drop in GLU levels below the hypoglycemia threshold (72 mg/dL). Nine participants in the 30-minute trial exhibited GLU levels below the criterion for hypoglycemia (60.3 ± 12.3 mg/dL) but none in the Immediate trial did (93.0 ± 12.7 mg/dL).

[Conclusion]

Beginning the constant-load exercise immediately (approximately four minutes) after consumption 500 mL of the carbohydrate beverage following breakfast resulted in higher GLU levels during exercise than beginning it 30 minutes after consumption; moreover, it did not cause exercise-induced hypoglycemia. (235 words)

Keywords: hypoglycemia, timing of consumption, endurance exercise