

原著

高強度運動後のアイスクリーム摂取がインスリン分泌に及ぼす影響 —男性競技者を対象とした検討—

東郷 将成^{*1}、山口 太一^{*1}、瀧澤 一騎^{*2}、保科 圭汰^{*1,*3}、佐藤 未来^{*1}、竹田 保之^{*1}、山口 昭弘^{*1}、栃原 孝志^{*1}、中島 寿宏^{*4}、神林 勲^{*4}

^{*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} 一般社団法人身体開発研究機構、

^{*3} 環太平洋大学体育学部体育学科、^{*4} 北海道教育大学札幌校

【目的】

本研究では、男性競技者を対象に、高強度運動後のアイスクリーム摂取が運動後のグリコーゲンの早期回復に重要な役割を担うインスリン分泌に及ぼす影響を糖質飲料と比較検討することとした。

【方法】

男性運動競技者8名が高強度運動直後に以下の試験食品を摂取し、2時間安静を保持した。試験食品はアイスクリーム (ICE) およびスポーツドリンク (CON) とし、1週間以上の間隔をあけ、各被検者がランダムな順序で試験食品を摂取した。ICEは糖質が1.2 g/kg 体重となるように分量を調整し、CONは市販のスポーツドリンク500 mlにICEと同糖質量になるようブドウ糖を溶解した。高強度運動直後、試験食品を摂取させ、摂取後30、45、60および120分目に採血を行い、GIP濃度、血糖値およびインスリン濃度の測定を行った。

【結果】

インスリン分泌を促進させるGIP濃度はICEがCONよりも摂取後30、45、60および120分で高い値を示した ($p < 0.01$)。血糖値はICEがCONに比し摂取後30、45および60分で低値を示した ($p < 0.05$)。インスリン濃度はICEがCONに比し摂取後30、45分で低値を示した ($p < 0.05$)。

【結論】

本研究の結果から高強度運動後のグリコーゲンの早期回復に適した糖質量を満たしたアイスクリーム摂取は、同じ糖質量の飲料摂取に比べ、インスリンを分泌させる効果が小さいことが明らかとなった。

キーワード：GIP濃度 血糖値 直腸温

I 緒言

マラソンやクロスカントリースキーなどの持久的な運動時の主なエネルギー源は糖質と脂質である。また、サッカーやバスケットボールなどの間欠的な高強度運動時には、糖質が主なエネルギー源として利用される。エネルギー源の糖質は主に筋や肝臓にグリコーゲンとして蓄えられるものの、その貯蔵量は脂質のそれと比較すると僅少である。そのため、当該競技において高い運動能力を発揮し、かつそれを長時間維持するためには、あらかじめ適切な量の糖質を摂取してお

かなければならない^{1)~3)}。また、1日に複数回の試合がある場合や強化合宿中などで午前と午後に運動を繰り返す場合には、運動後にできるだけ早く体重1 kg当たり1.0~1.2 gの糖質を摂取し、グリコーゲンを早期回復させることが望ましい⁴⁾。

運動直後の糖質摂取により筋グリコーゲンを早期に回復させるためには、インスリン分泌量を増大させることが重要であるとされる⁵⁾。また、インスリンは糖質と他の栄養素を同時に摂取することにより分泌が促進されることが報告されている。例えば、糖質とたんぱく質の同時摂取は糖質のみの摂取よりもインスリン

分泌を促進し、筋グリコーゲンの回復量を増加させたことが報告されている^{5), 6)}。また、近年では糖質と脂質の同時摂取によって糖質のみの摂取よりもインスリン分泌量ならびに筋グリコーゲンの回復量が増大したことも明らかとなっている。このようなたんぱく質・脂質添加によるインスリン濃度増加には消化管ホルモンの分泌増大が関わっていると考えられる。寺田⁷⁾はマウスを対象に運動後の筋グリコーゲンの早期回復に必要とされる量の糖質と乳化させた脂質を含んだ溶液を摂取させたことで、糖質のみの溶液摂取よりも消化管ホルモンであるGlucose-dependent Insulinotropic Polypeptide (GIP) さらにはインスリン分泌を促進した結果、筋グリコーゲンの回復量が増大したことを報告している。また、稲井ら⁸⁾はマウスを対象にたんぱく質および脂質を含んでいる牛乳に糖質を溶解した混合物を運動直後に摂取させたことで、糖質のみの溶液摂取よりもGIPおよびインスリン分泌が促進され、筋グリコーゲンの回復量が増大したことを明らかにした。加えて、丸山ら⁹⁾も女子大生を対象として行った研究において、稲井ら⁸⁾と同様の結果、すなわち糖質と牛乳の混合物摂取により、運動後のインスリン分泌が高まることを報告している。

このように乳化した脂質を含む牛乳で糖質を溶解した混合溶液が筋グリコーゲンの回復に貢献する可能性が示されているが、牛乳を原料に糖質を添加して製造した食品にはアイスクリームがある。アイスクリームはエネルギー摂取量に占めるたんぱく質、脂質および炭水化物(糖質)のエネルギー比(PFC比)が9:40:51であり、糖質および脂質のエネルギー比率が高い。糖質と脂質のエネルギー比率が高いことから、糖質と牛乳の混合物摂取と同様に筋グリコーゲン回復に対する促進効果が得られる可能性が高い。しかしながら、運動後のアイスクリーム摂取の効果を検討した研究はこれまでに行われていない。

そこで本研究では、男性競技者を対象に高強度間欠的運動直後に筋グリコーゲンの回復に必要とされる糖質量を満たしたアイスクリームの摂取が、筋グリコーゲンの早期回復に重要な役割を担うインスリン分泌に及ぼす影響を同じ糖質量の糖質飲料と比較検討することとした。

II 方法

1. 被検者

被検者は大学運動部(硬式テニス部、硬式野球部、サッカー部、ハンドボール部、陸上競技部およびラグビー部)に所属する健康な男性運動競技者8名[年齢: 20.3 ± 1.1歳、身長: 174.6 ± 4.8 cm、体重: 63.0 ± 4.7 kg、最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\text{max}$): 60.6 ± 9.7 ml/kg/min、最大運動負荷: 307.5 ± 37.9 W]であった。全

ての被検者に対し事前に実験の目的、実施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。実験実施前のスクリーニングとして、乳糖不耐症や喫煙の有無を確認し、これらに該当する被検者はいなかった。なお、本研究は酪農学園大学研究倫理審査委員会により承認(15-10)を得て実施した。

2. 実験の概要

事前測定として、自転車エルゴメーター(エアロバイク 75XL II、コンビ株式会社)および自動呼吸ガス分析装置(AE-300S、ミナト医科学株式会社)を用いて被検者の $\dot{V}O_2\text{max}$ および最大運動負荷の測定を行った。本実験では、運動開始6時間前までに規定食(エネルギー: 831 kcal、たんぱく質: 18.5 g、脂質: 16.7 g、炭水化物: 151.6 g)を摂取し、高強度間欠的な運動プロトコルを実施した。その後、被検者は2種類の試験食品のいずれかを任意の早さで摂取し、摂取後2時間まで座位安静状態を保持した。2種類の試験食品は、コントロール(CON)として競技現場で運動後に摂取されているスポーツドリンク、そしてアイスクリーム(ICE)とした。

採血、直腸温の測定を高強度間欠的運動直後(Post)、試験食品摂取後30分、45分、60分および120分目に行った(図1)。全ての被検者は両条件の実験を1週間以上の期間をおいた別日にクロスオーバーかつランダム化した順序で遂行した。また、両条件の実験は被検者のサーカディアンリズムを考慮し、同時時間帯に実施した。なお、被検者には実験24時間前から激しい運動の実施や飲酒の禁止を促し、すべての実験は、室温24℃、相対湿度50%に設定した実験室内で実施した。

3. 高強度間欠的運動プロトコル

高強度間欠的運動プロトコルには、筋グリコーゲンの効率的な減少を目的とした先行研究¹⁰⁾における高強度間欠的運動と中強度運動を組み合わせた方法を採用した。高強度間欠的運動は自転車エルゴメーター(Powermax-V II、コンビ株式会社)を用いた体重あたり0.075 kpの負荷で30秒間の全力ペダリングを4セット実施した。また、2セット目と3セット目との間には自転車エルゴメーター(エアロバイク 75XL II)を用いた最大運動強度の40%相当強度で30分間の自転車漕ぎ運動を行った。なお、高強度運動の1セット目と2セット目、3セット目と4セット目の間の休息時間は4分間とした。高強度間欠的運動時、セット毎の平均パワー(W)、ピークパワー(W)、回転数(rpm)および最高回転数までの到達時間(sec)を測定し、セット毎に運動前後の主観的運動強度(RPE)をボルグスケール^{11), 12)}を用いて評価した。

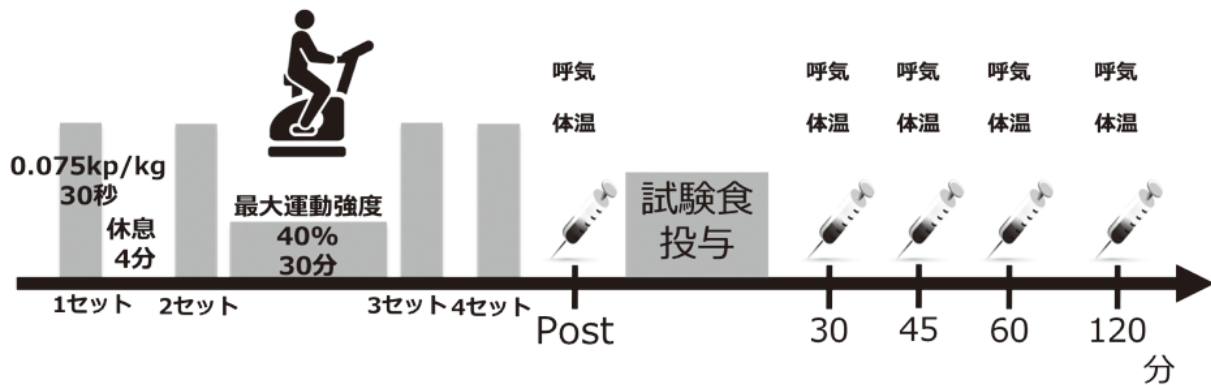


図1 実験プロトコル

対象者は筋グリコーゲンの効率的な減少のため、体重 1 kg 当たり 0.075 kp の負荷で 30 秒間の全力自転車漕ぎ運動 4 セットと最大運動負荷の 40 % 相当強度の自転車漕ぎ運動を行った。その後、各試験食品を摂取し、2 時間後までの安静を保持し、各測定を行った。

表1 スポーツドリンクおよびアイスクリームの栄養組成

		CON	ICE	
エネルギー	kcal	303 ± 23	776 ± 59	*
たんぱく質	g	0 ± 0	11 ± 1	*
脂質	g	0 ± 0	48 ± 4	*
糖質	g	76 ± 6	76 ± 6	
PFC比	%	0 : 0 : 100	6 : 55 : 39	
温度	℃	5.3 ± 0.4	-13.8 ± 1.5	*

平均値 ± 標準偏差、* p < 0.05 CON vs ICE

4. 試験食品

試験食品はCONとして、市販のスポーツドリンク（ポカリスエット、大塚製薬社製）500 mlに運動後の早期回復のために必要な推奨糖質量1.2 g/kg 体重⁴⁾となるようブドウ糖を溶解した。飲料の糖質濃度は約15 %と高濃度となったものの、筋グリコーゲンの回復効果を検討した先行研究の中には飲料の糖質濃度が21 %⁵⁾や 25 %¹³⁾と本研究よりも高濃度のものもあった。したがって、本研究の飲料の糖質濃度は妥当な範囲内であったと判断した。ICEは著者が所属する大学で製造されているアイスクリーム（乳固形成分15 %以上）を使用し、CONと同じ糖質量となるよう分量を調整した（表1）。なお、ICEの糖質の組成は、乳糖が29.3 %、ショ糖が70.7 %であった。試験食品の温度はCONが5.3 ± 0.4 °C、ICEが-13.8 ± 1.5 °Cであった。

5. 血液生化学分析

血糖値は指先血を採取して測定した。測定には小型血糖測定器グルテストNEOスーパー（GT-1820、株

式会社三和科学研究所）を用いた。その他の血液生化学分析のために正中肘静脈より採血を行った。得られた血液は3,000 rpm、4 °Cで遠心分離にて血清を作成したのちに分析まで-80 °Cの冷凍庫で保管した。インスリンの分析については外注依頼（札幌臨床検査センター株式会社）した。また、GIPの測定はHuman GIP（Total）ELISA（株式会社矢内原研究所）を用いて検者が分析を行った。

6. 直腸温の測定

深部体温の指標として直腸温を測定した。直腸温は肛門括約筋を超える15 cmの位置へ温度センサーを挿入し、データ収集型ハンディタイプ温度計（LT-8 A、グラム株式会社）を用いて10秒毎に記録した。なお、各測定時点において1分間の平均値を測定値として算出した。

7. 統計解析

本研究の結果は、平均値 ± 標準偏差で示した。各指

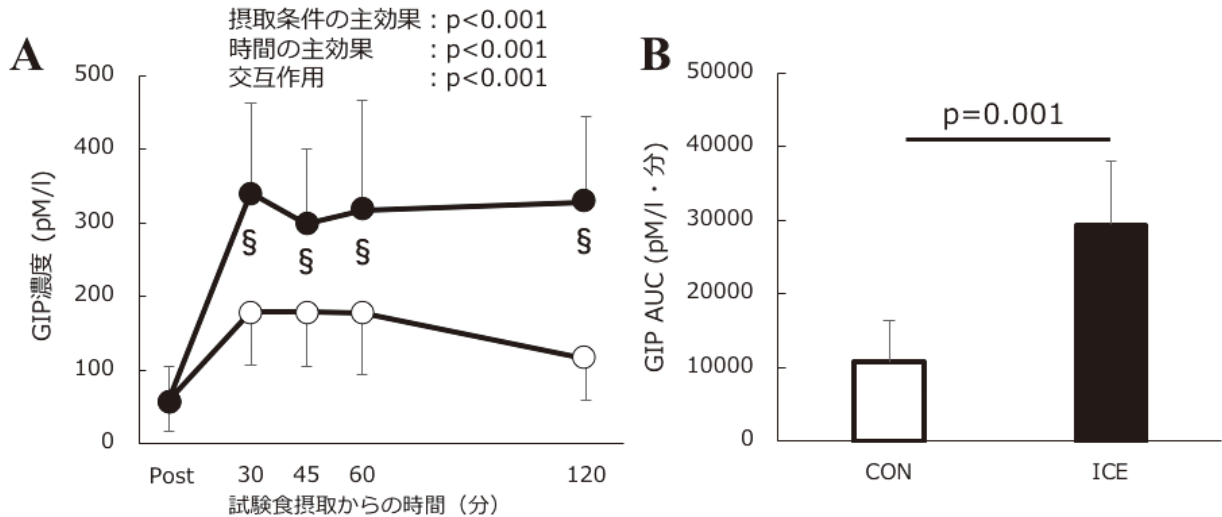


図2 GIP濃度 (A, B) の比較

CON (○) およびICE (●) の数値は平均値±標準偏差で示した。

GIP濃度の経時変化には交互作用 ($F = 7.243$, $p < 0.001$) が認められ、ICEがCONよりも摂取後30分、45分、60分および120分で高値であった ($p < 0.01$)。GIP濃度のAUCはICEがCONよりも高値であった ($p < 0.001$)。AUC：上昇曲線下面積 § $p < 0.01$ CON vs ICE

標における試験食品摂取条件の経時変化の比較には重複測定の実験設計分散分析 (条件×時間) を用いた。有意な交互作用が確認された場合はTukey-Kramer法を用いて同測定時点における多重比較検定を行った。また、各指標について運動直後から試験食品摂取120分後までの上昇曲線下面積 (Area under the curve: AUC) を算出した。高強度間欠的運動時の指標およびAUCの試験食品摂取条件間の比較には対応のあるt検定を用いた。いずれも危険率5%未満を有意水準とした。

Ⅲ 結果

1. 高強度間欠的運動時の指標

4セットの全力ペダリングにおけるパフォーマンスとRPEについてはいずれの項目においても摂取条件間に有意差は認められなかった。平均パワーはCONが 540 ± 57 W、ICEが 537 ± 63 W ($p = 0.879$)、ピークパワーはCONが 646 ± 85 W、ICEが 636 ± 84 W ($p = 0.906$)、回転数はCONが 141 ± 14 rpm、ICEが 139 ± 13 rpm ($p = 0.870$)、最高回転数までの到達時間はCONが 9.0 ± 6.3 sec、ICEが 8.4 ± 5.8 sec ($p = 0.664$) であった。また、運動後のRPEの平均値はCONが 15.2 ± 2.3 、ICEが 15.4 ± 2.7 ($p = 0.292$) であった。

2. 試験食品の摂取時間

摂取時間はCONが 4.6 ± 1.4 分、ICEで 19.9 ± 6.4 分とICEがCONよりも有意に長かった ($p = 0.009$)。試験食品摂取に伴い下痢症状等を起こした被検者はいな

かった。

3. GIP濃度、血糖値およびインスリン濃度

GIP濃度の変化を図2に示した。GIP濃度の経時変化に有意な交互作用が認められ ($F = 7.243$, $p < 0.001$)、ICEがCONと比較して摂取後30分、45分、60分および120分まで有意に ($p < 0.01$) 高値であった (図2A)。GIP濃度のAUCはICEがCONよりも有意に高値であった ($p < 0.001$, 図2B)。

血糖値の変化を図3に示した。血糖値の経時変化に有意な交互作用 ($F = 11.869$, $p < 0.001$) が確認され、ICEがCONよりも30分、45分および60分で有意に ($p < 0.05$) 低値であった (図3A)。血糖値のAUCには有意な差は認められなかったものの、ICEがCONよりも低値傾向であった ($p = 0.071$, 図3B)。

インスリン濃度の変化を図4に示した。インスリン濃度は、経時変化に有意な交互作用 ($F = 5.827$, $p < 0.001$) が確認され、ICEがCONと比較して30分および45分まで有意に ($p < 0.05$) 低値であった (図4A)。また、インスリン濃度のAUCはICEがCONよりも有意に低値であった ($p = 0.039$, 図4B)。

4. 直腸温

直腸温の変化を図5に示した。摂取条件と時間の間に有意な交互作用 ($F = 1.112$, $p = 0.359$) は認められなかった。摂取条件間の主効果 ($F = 3.436$, $p = 0.068$) も認められなかったものの、ICEがCONよりも低い傾向であった。

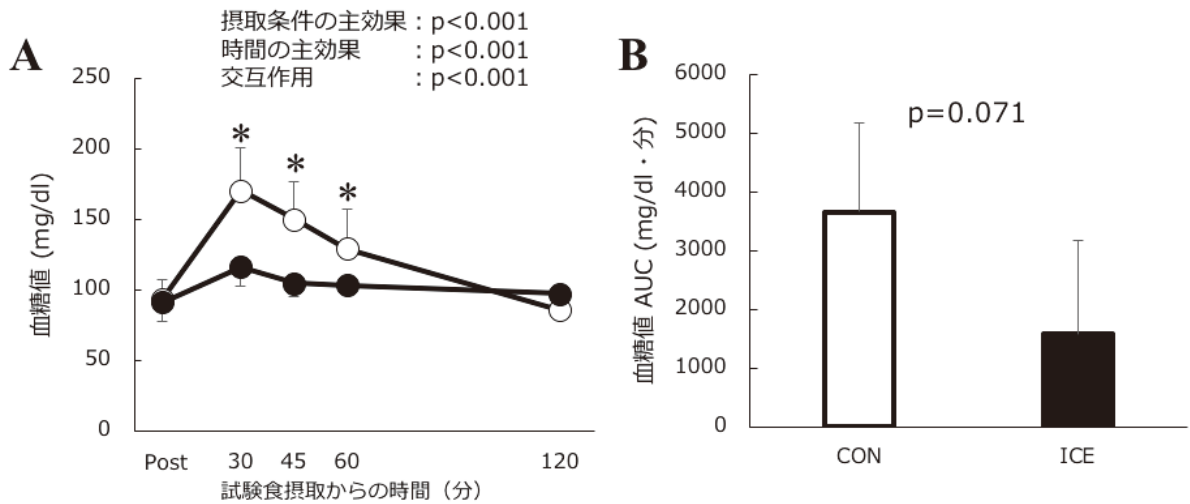


図3 血糖値 (A, B) の比較

CON (○) およびICE (●) の数値は平均値±標準偏差で示した。
 血糖値の経時変化には交互作用 ($F = 11.869$, $p < 0.001$) が認められ、ICE がCON よりも 30 分、45 分および 60 分で低値であった ($p < 0.05$)。血糖値の AUC は有意差が認められなかった ($p = 0.071$)。
 AUC：上昇曲線下面積 * $p < 0.05$ CON vs ICE

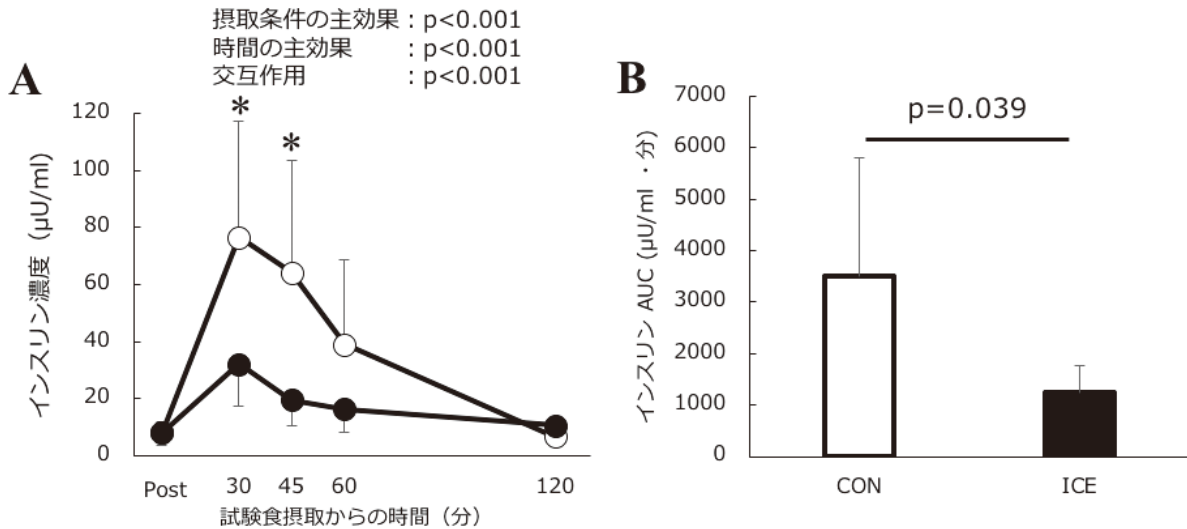


図4 インスリン濃度 (A, B) の比較

CON (○) およびICE (●) の数値は平均値±標準偏差で示した。
 インスリン濃度の経時変化には交互作用 ($F = 5.827$, $p < 0.001$) が認められ、ICE がCON よりも 30 分および 45 分で低値であった ($p < 0.05$)。インスリン濃度の AUC はICE がCON よりも低値であった ($p = 0.039$)。
 AUC：上昇曲線下面積 * $p < 0.05$ CON vs ICE

IV 考察

本研究の目的は、男性競技者を対象に高強度間欠的運動直後のアイスクリーム摂取 (ICE) がインスリン分泌に及ぼす影響を同じ糖質量のスポーツドリンク摂取 (CON) と比較することであった。本研究における主要な知見として、ICEはCONと比較してGIP濃度

が高値を示したものの (図2)、血糖値 (図3 AおよびB) およびインスリン濃度 (図4 AおよびB) が低値を示したことが挙げられる。

稲井ら⁸⁾は、マウスを対象に運動後に筋グリコーゲンの回復に必要なとされる量の糖質と牛乳の混合物を摂取させた結果、同量の糖質のみの溶液を摂取させた場合よりもGIP分泌が強く促され、インスリン濃度を上

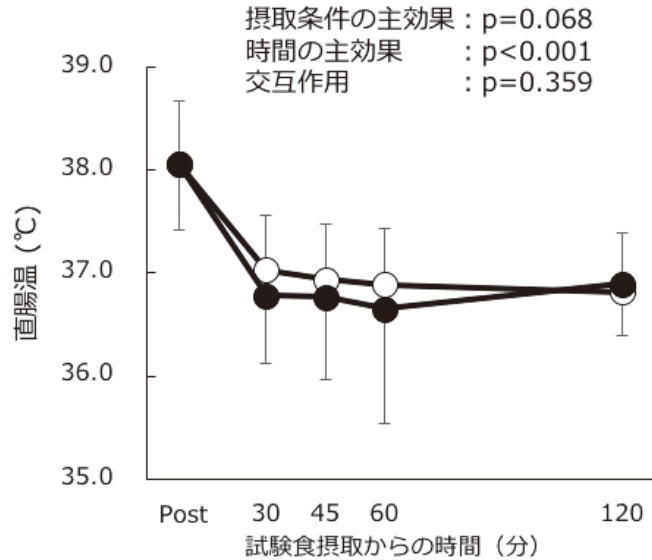


図5 直腸温の比較

CON (○) および ICE (●) の数値は平均値 ± 標準偏差で示した。

直腸温の経時変化には交互作用 ($F = 1.112$, $p = 0.359$) および主効果 ($F = 3.436$, $p = 0.068$) が認められなかった。

昇させたことを明らかにした。また、このインスリン濃度の上昇によって骨格筋の糖取り込み速度が高まった結果、血糖値の低下、さらには筋グリコーゲンの回復量の増大につながったという可能性を示している。また、丸山ら⁹⁾は健康な女子大学生を対象に、運動後に筋グリコーゲンの回復に十分な量の糖質を牛乳で溶解した混合液を摂取させた結果、同量の糖質のみの溶液を摂取させた場合よりもインスリン濃度が高値を示し、血糖値が低値を示したことを報告している。本研究では、ICEはCONよりもGIP濃度が高く(図2)、血糖値も低値であった(図3AおよびB)という点で先行研究⁸⁾と一致したものの、インスリン濃度はICEがCONよりも低値を示した(図4AおよびB)。2条件間の高強度間欠的運動のパフォーマンスやRPE、そして運動終了後の血液生化学データおよび体温には有意差が認められなかったことから、運動が筋グリコーゲンの減少量、インスリン濃度などに及ぼす生体への影響は2条件間で等しかったと想定される。よって、2条件間で生じたインスリン濃度の相違は試験食品の相違によるものであり、本研究のICEはCONよりもインスリンを分泌させる効果が小さかったことが示唆される。

先行研究では糖質と牛乳の混合溶液の摂取によって糖質溶液摂取よりもインスリン分泌が高まったのに対し、本研究のアイスクリームの摂取では高まらなかった要因として、食品に含まれる糖質の組成の相違が関連している可能性がある。運動後に糖質と牛乳の混合

溶液の摂取が糖質溶液摂取よりもインスリン分泌を促進させたことを明らかにした先行研究^{8), 9)}では、ブドウ糖を牛乳で溶解した溶液を摂取させていた。それに対し、本研究のICE条件では、アイスクリームに含まれる糖質で必要糖質量となるよう分量を調整し摂取させた。本研究で用いたアイスクリームの糖の組成は、乳糖が29.3%、ショ糖が70.7%であった。乳糖およびショ糖はともに二糖類であり、ブドウ糖とそれぞれガラクトースないし果糖が結合したものである。よって、アイスクリームに含まれるブドウ糖は必要糖質量の半量のみ占めていたことになる。運動後における糖質の種類の違いがインスリン分泌ならびに筋グリコーゲンの回復量に及ぼす影響を比較検討した研究では、果糖はブドウ糖に比較してインスリン分泌量およびグリコーゲンの回復量が少なかったことが報告されている¹⁴⁾。また、体重1 kg当たり1.5 gのショ糖を摂取した場合のインスリン分泌およびグリコーゲン回復効果はブドウ糖を摂取した場合と同程度であることが報告されている¹⁵⁾。しかしながら、ショ糖の量が61 g (0.8 g/kg 体重)と比較的少ない飲料の摂取は、同量のブドウ糖の飲料摂取に比較し、インスリン分泌量やグリコーゲン回復量が低値となることが示されている¹⁶⁾。本研究のアイスクリームにおけるショ糖の量は被検者平均で54.1 g (0.9 g/kg 体重)となることから、インスリン分泌ならびに筋グリコーゲンの早期回復を促すためのショ糖の分量 (1.5 g/kg 体重)¹⁵⁾を満たしていなかった可能性が考えられる。一方、運動後の乳糖あ

るいは、ガラクトースの摂取によるインスリン分泌量やグリコーゲン回復量に及ぼす影響を同糖質量のブドウ糖摂取と比較した研究は見当たらないものの、Jentjens et al.¹⁷⁾は、持久的な競技選手を対象に同糖質量のブドウ糖とガラクトースの摂取がインスリン分泌に与える影響を比較検討した結果、ガラクトース摂取はブドウ糖摂取よりも血糖値およびインスリン分泌量が低値を示したことを明らかにしている。したがって、ガラクトースおよびそれを含む乳糖についても運動後のインスリン分泌量はブドウ糖摂取よりも少ないと考えられる。

本研究において運動後におけるICEのGIP濃度のAUCはCONのそれと比較して約3倍高い値を示した(図2B)。これはアイスクリームに含まれる脂質の含有量が多かったことに起因すると考えられる。本研究におけるICEのPFC比は6:55:39であったのに対し、運動後に糖質と牛乳の混合溶液の摂取が糖質溶液摂取よりもインスリン分泌を促進させたことを明らかにした丸山らの研究⁹⁾の糖質と牛乳の混合溶液のPFC比は概算で9:23:68であった。GIPは血糖値に依存的にインスリンの分泌を促す一方で、胃酸の分泌や胃運動を抑制させるホルモンでもある¹⁸⁾。このことから、ICEではGIP濃度の上昇に伴って胃運動が抑制され、胃からの排出速度が低下したことにより、消化速度が落ち、吸収できなかつたことから血糖値ならびにインスリン濃度が上昇しなかつたことも考えられる。これらを加味すると、今後はアイスクリームの糖質の組成やPFC比を調整し、インスリン濃度に及ぼす影響を検討していく必要があるといえる。

本研究で摂取した試験食品の温度はCONで5.4 ± 0.7 °C、ICEが-13.7 ± 1.4 °Cであり、試験食品間で20 °C近い差があった。摂取後の直腸温には摂取条件間で相違はみられなかつたものの、ICEで30-60分まで約0.2 °C低い傾向で推移した(図5)。Slivka et al.¹⁹⁾は、成人男性を対象に運動後に20 °Cおよび7 °Cの環境に暴露したところ、暴露後0-2時間および0-4時間までのインスリン濃度のAUCが20 °Cよりも7 °Cで低値を示したことを報告した。外部環境温度と食品の摂取温度で同様の影響があるかどうかは不明であるものの、本研究におけるICEは糖質飲料よりもインスリン分泌量が低値を示した要因のひとつに試験食品間の温度の違いも関与した可能性が考えられる。

なお、本研究の限界点として、筋グリコーゲンの早期回復を促進させるインスリン濃度に着目して検討を行ったものの、実際の筋グリコーゲン量を測定していないため、摂取した糖質が筋にグリコーゲンとして取り込まれたかについては論ずることができないことが挙げられる。筋グリコーゲンの定量的測定には侵襲的な方法⁶⁾や大型の機材⁵⁾を用いなければならないが、今後はこの点についても検討しなければならない。ま

た、実際の運動現場を想定し、食品摂取から数時間の間隔をあげ運動能力の測定を実施して、回復食が運動能力に与える影響についても検討する必要があるだろう。

V 結論

本研究では男性競技者を対象として高強度間欠的な運動直後に筋グリコーゲンの早期回復に必要とされる糖質量のアイスクリームを摂取することが、同糖質量のスポーツドリンク摂取と比較し、インスリン分泌に与える影響を比較検討した。その結果、牛乳に糖質を混合した溶液が筋グリコーゲンの回復に有効であることを示唆した先行研究同様、アイスクリーム摂取条件がスポーツドリンク摂取条件よりもGIP濃度を高め、血糖値を低く抑えたものの、先行研究の結果とは異なり、インスリン分泌量は低値を示した。このことから、男性運動競技者における高強度運動後のアイスクリーム摂取は、少なくとも同糖質量の糖質飲料摂取に比較し、インスリンを分泌させる効果は小さいことが明らかとなった。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、2015年、2016年および2017年酪農学園後援会ならびに2016年度酪農学園大学共同研究より助成を賜りましたこと厚く御礼申し上げます。

利益相反

本研究内容に関して利益相反は存在しない。

文献

- 1) Hawley, J.A., Burke, L.M., Angus, D.J., et al: Effect of altering substrate availability on metabolism and performance during intense exercise. *Br. J. Nutr.*, 84, 829-838 (2000)
- 2) 東郷将成, 佐々木将太, 山田祐輝, 他: 糖質サプリメント摂取が長時間の間欠的な高強度自転車運動の走行パフォーマンスに与える影響, 北海道教育大学紀要, 61, 13-20 (2010)
- 3) Kerkick, C.M., Arent, S., Schoenfeld, B.J., et al: International Society of Sports Nutrition position stand: nutrient timing. *J. Int. Soc. Sports. Nutr.*, 29, 14, 33, doi: 10.1186/s12970-017-0189-4 (2017)
- 4) Burke, L.M., Hawley, J.A., Wong, S.H., et al: Carbohydrates for training and competition. *J. Sports. Sci.*, 29, S17-S27 (2011)
- 5) Ivy, J.L., Goforth, H.W. Jr., Damon, B.M., et al: Early

- postexercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-proteinsupplement, *J. Appl. Physiol.*, 93, 1337-1344 (2002)
- 6) Carrithers, J.A., Williamson, D.L., Gallagher, P.M., et al.: Effects of postexercise carbohydrate-protein feedings on muscle glycogen restoration, *J. Appl. Physiol.*, 88, 1976-1982 (2000)
- 7) 寺田新：脂質による消化ホルモン分泌作用を活用した新たな筋グリコーゲン回復法の開発, *デサントスポーツ科学*, 36, 61-67 (2015)
- 8) 稲井真, 西村脩平, 浦島章吾, 他：運動後の糖質・牛乳混合物の摂取がマウス骨格筋および肝臓におけるグリコーゲン回復に及ぼす影響, *日本スポーツ栄養研究誌*, 10, 38-47 (2017)
- 9) 丸山まいみ, 寺田新, 大家千枝子, 他：牛乳・糖質混合液の摂取が運動後のインスリン分泌に及ぼす影響—女子大学生を対象とした検討—, *日本スポーツ栄養研究誌*, 11, 79-85 (2018)
- 10) 塩瀬圭佑, 飛奈卓郎, 桧垣靖樹, 他：骨格筋グリコーゲンの効率的な減少を目的とした高強度間欠的な運動プロトコル, *体力科学*, 60, 493-502 (2011)
- 11) Borg, G.: Perceived exertion: a note on "history" and method, *Med. Sci. Sports.*, 5, 90-93 (1973)
- 12) 小野田孝一, 宮下充正：全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性, *体育学研究*, 21, 191-203 (1976)
- 13) Ivy, J.L., Katz, A.L., Cutler, C.L., et al.: Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion, *J. Appl. Physiol.*, 64, 1480-1485 (1988)
- 14) Jentjens, R., Jeukendrup, A.: Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery, *Sports. Med.*, 33, 117-144 (2003)
- 15) Fuchs, C.J., Gonzalez, J.T., Beelen, M., et al.: Sucrose ingestion after exhaustive exercise accelerates liver, but not muscle glycogen repletion compared with glucose ingestion in trained athletes, *J. Appl. Physiol.*, 120, 1328-1334, doi: 10.1152/jappphysiol.01023. (2016)
- 16) Bowtell, J.L., Gelly, K., Jackman, M.L., et al.: Effect of different carbohydrate drinks on whole body carbohydrate storage after exhaustive exercise, *J. Appl. Physiol.*, 88, 1529-1536 (2000)
- 17) Jentjens, R.L., Jeukendrup, A.E.: Effects of pre-exercise ingestion of trehalose, galactose and glucose on subsequent metabolism and cycling performance, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 88, 459-465 (2003)
- 18) Baggio, L.L., Drucker, D.J.: Biology of incretins: GLP-1 and GIP, *Gastroenterology*, 132, 2131-2157 (2007)
- 19) Slivka, D., Heesch, M., Dumke, C., et al.: Effects of post-exercise recovery in a cold environment on muscle glycogen, PGC-1 α , and downstream transcription factors, *Cryobiology*, 66, 250-255, doi: 10.1016/j.cryobiol.2013.02.005 (2013)

(受付日：2017年11月13日)
(採択日：2018年4月12日)

Original Article

Effect of ingestion of ice cream after high-intensity intermittent exercise on insulin secretion in male athletes

Masanari TOGO ^{*1}, Taichi YAMAGUCHI ^{*1}, Kazuki TAKIZAWA ^{*2}, Keita HOSHINA ^{*1, *3}, Miku SATO ^{*1}, Yasuyuki TAKEDA ^{*1}, Akihiro YAMAGUCHI ^{*1}, Takashi TOCHIHARA ^{*1}, Toshihiro NAKAJIMA ^{*4}, Isao KAMBAYASHI ^{*4}

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

^{*2} Institute of Physical Development Research

^{*3} Department of Physical Education, International Pacific University

^{*4} Department of Education, Hokkaido University of Education Sapporo

ABSTRACT

【Aim】

The purpose of this study was to examine the effect of the ingestion of ice cream, compared with the effect of a carbohydrate-electrolyte beverage, after high-intensity intermittent exercise on insulin secretion.

【Methods】

Eight male subjects ingested a trial food (ice cream: ICE) or a control drink (carbohydrate-electrolyte beverage: CON) immediately after completing high-intensity intermittent exercise and then rested in a sitting position for two hours. The quantity of ICE and CON was adjusted for each subject so that each subject consumed 1.2 g of carbohydrates per kilogram of body weight. Glucose-dependent insulinotropic polypeptide (GIP), blood glucose and insulin secretion were measured immediately post-exercise and at 30, 45, 60 and 120 min after the ingestion of ICE or CON.

【Results】

The GIP levels at 30-120 min were significantly higher ($p < 0.01$) in the ICE group than in the CON group. The blood glucose levels at 30-60 min were significantly lower ($p < 0.05$) in the ICE group than in the CON group. The insulin levels at 30-45 min were also significantly lower ($p < 0.05$) in the ICE group than in the CON group.

【Conclusion】

The results of this study suggested that the effect of the ingestion of ice cream on insulin secretion after high-intensity intermittent exercise was less than that of a carbohydrate-electrolyte beverage.

Keywords: GIP, blood glucose, core temperature