

## 原著

## 糖質と同時に摂取する牛乳の乳脂肪分の有無が運動後の筋グリコーゲン回復に及ぼす影響

深澤 歩<sup>\*1</sup>、横田 悠天<sup>\*1</sup>、神田 淳<sup>\*2</sup>、木村 典代<sup>\*3</sup>、寺田 新<sup>\*1</sup><sup>\*1</sup> 東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻 生命環境科学系<sup>\*2</sup> 株式会社明治 研究本部 商品開発研究所<sup>\*3</sup> 高崎健康福祉大学 健康福祉学部 健康栄養学科

## 【目的】

我々は、牛乳と糖質の混合溶液を運動後のマウスに投与することで、消化管ホルモンGlucose-dependent insulintropic polypeptide (GIP)、さらにはインスリンの分泌が増加し、筋グリコーゲンの回復が促進されることを報告している。本研究では、糖質と同時に摂取する牛乳の乳脂肪分の有無がGIPおよびインスリン分泌、さらには運動後の筋グリコーゲン回復に及ぼす影響について検討することを目的とした。

## 【方法】

実験1では、安静状態のC57BL/6Jマウスに対し、1) グルコース溶液 (CHO群)、2) グルコースと無脂肪牛乳の混合溶液 (CHO+Non-Fat Milk群)、3) グルコースと有脂肪牛乳の混合溶液 (CHO+Fat Milk群) のいずれかを投与し、血漿GIPおよびインスリンの濃度変化を検討した。実験2では、30分間の一過性の運動後に実験1と同様の方法で溶液の投与を行い、筋グリコーゲン回復に及ぼす影響を検討した。

## 【結果】

実験1において、CHO+Fat Milk群の血漿GIPおよびインスリン濃度は、他の2群と比較し有意に高い値を示した。さらに実験2では、投与60分後における筋グリコーゲン濃度が、CHO群と比較してCHO+Fat Milk群において有意に高い値を示した一方で、CHO群とCHO+Non-Fat Milk群の間には有意な差は認められなかった。

## 【結論】

運動後における糖質と牛乳の同時摂取による筋グリコーゲンの回復促進効果には、乳脂肪分が重要な役割を果たしている可能性が示唆された。

キーワード：乳脂肪 GIP インスリン 筋グリコーゲン マウス

## I 緒言

運動中の主要なエネルギー源として、糖質と脂質が挙げられる。糖質はグリコーゲンという形で主に骨格筋と肝臓に貯蔵され、特に筋グリコーゲンは中・高強度運動時の主要なエネルギー源として利用される。しかしながら、グリコーゲンの体内貯蔵量は脂質に比べて少なく、さらに、その減少・枯渇はパフォーマンスの低下や疲労の一因とされている<sup>1)</sup>。したがって一日の中で練習や競技が複数回行われるスポーツ現場では、その合間に筋グリコーゲンをできるだけ速やかに

回復させる必要がある。

これまでの研究により、効果的な筋グリコーゲンの回復法として、運動後なるべく早い時間帯に1.0~1.2 g/kg 体重/時間の割合で糖質を摂取することが推奨されている<sup>2)~4)</sup>。しかしながら、糖質の摂取量をさらに増やしても筋グリコーゲンの回復が増強されないことから<sup>2)</sup>、糖質と他の栄養素との組み合わせによる効果についての検討が行われている<sup>5)</sup>。その中の一つとして、糖質と牛乳の混合溶液摂取による方法が挙げられる。最近、我々は、運動後のマウスに対して糖質 (グルコース) のみを投与した場合に比べて、糖質と牛乳

連絡先：〒153-8902 東京都目黒区駒場3-8-1

E-mail: terada@idaten.c.u-tokyo.ac.jp

表1 牛乳中の栄養素の組成

	脂質	無脂肪固形分	糖質	たんぱく質
Non-Fat Milk	0.09	8.65	4.76	3.17
Fat Milk	4.45	8.65	4.76	3.17

Non-Fat Milk：無脂肪牛乳、Fat Milk：有脂肪牛乳 (単位：%)

からなる混合溶液を投与することで筋グリコーゲンの回復が促進することを報告している<sup>6)</sup>。さらに、そのメカニズムとして、消化管ホルモンの一つであるGlucose-dependent insulintropic polypeptide (GIP) を介したインスリン分泌の増大が関与している可能性が示唆されている。

GIPは小腸上部に存在するK細胞から分泌される消化管ホルモンであり、高血糖時にインスリン分泌効果を増強する作用を有している<sup>7)</sup>。このGIPは、脂質の摂取で分泌が著しく促進されることから<sup>8)</sup>、寺田は糖質と脂質の混合物の摂取による効果を検討している<sup>9)</sup>。その結果、運動後のマウスにおいて、糖質・脂質混合物の摂取は、糖質のみを摂取した場合に比べて、GIPおよびインスリン分泌を高め、さらには高い筋グリコーゲン回復効果をもたらすことを報告している。この結果は、糖質に加えて牛乳を同時に摂取することによるGIPとインスリンの分泌、さらには、運動後の筋グリコーゲン回復の促進には、牛乳に含まれる栄養素の中でも乳脂肪分が重要な役割を担っている可能性を示唆している。

そこで本研究では、この仮説を検証するために、糖質と同時に摂取する牛乳の乳脂肪分の有無がGIPおよびインスリン分泌、さらには運動後の筋グリコーゲン回復に及ぼす影響について検討することを目的とした。

## II 方法

### 1. 実験方法

#### 1) 実験動物および飼育環境

実験動物として9週齢(体重19~24 g)の雄性C57BL/6Jマウスを日本クレア株式会社より購入した。マウスは室温23±2℃、7時~19時を暗期に設定した飼育室において、専用ケージで4もしくは8匹ずつ飼育した。新たな飼育環境に慣れさせるために、1週間の予備飼育期間を設定した。予備飼育期間には、飼料として市販の固形飼料(CE-2、日本クレア株式会社)と、飲料として水道水を自由摂取させた。なお、本研究は、東京大学大学院総合文化研究科・教養学部動物実験委員会の承認を得て行われた(承認番号：28-9)。

#### 2) 実験1

実験1では、まず安静状態のマウスにおいて、糖質

と同時に投与する牛乳の乳脂肪分の有無がGIPおよびインスリン分泌に及ぼす影響について検討することを目的とした。実験前日の19時に固形飼料を取り除き、一晚(17時間)絶食を行った。実験当日にマウスを、糖質のみの溶液を投与する群(CHO群：n=8)、糖質と無脂肪牛乳の混合溶液を投与する群(CHO+Non-Fat Milk群：n=8)、糖質と有脂肪牛乳の混合溶液を投与する群(CHO+Fat Milk群：n=7)の3群に無作為に分けた。CHO群にはD-グルコース(和光純薬工業株式会社)を50 mg/mL濃度となるように超純水で溶解した溶液を体重1 gあたり40 μLずつ(グルコースを体重1 gあたり2 mg)経口投与した。CHO+Non-Fat Milk群、CHO+Fat Milk群には、それぞれグルコース濃度が50 mg/mLとなるように無脂肪牛乳もしくは有脂肪牛乳で溶解した糖質・牛乳混合溶液を経口投与した。投与はゾンデ針(株式会社夏目製作所)と1 mLシリンジ(テルモ株式会社)を用いて行った。本研究で用いた牛乳は、表1に示している栄養素組成となるように作成したものをを用いた。無脂肪牛乳および有脂肪牛乳の栄養素の組成は、乳脂肪濃度のみが異なっており、その他の糖質およびたんぱく質量は同等のものを使用している。

投与液の投与直前、投与後10、30、60分目に尾静脈から採血を行った。採血は、ヘパリン処理を施したキャピラリー採血管(Thermo Fisher Scientific K.K.)を用いて行った。採取した血液は10,000 rpmで5分間遠心分離することで血漿を得た。血漿サンプルは分析まで-80℃の超低温フリーザーにて保存した。

#### 3) 実験2

実験2では、運動後のマウスにおいて、糖質と同時に投与する牛乳の乳脂肪分の有無が筋グリコーゲン回復に及ぼす影響について検討することを目的とした。本実験において30分間の走行運動を実施できるように、実験の6日前から5日間、トレッドミル(MK-680、室町機械株式会社)を用いて走行運動を行わせた。先行研究<sup>6)</sup>に基づき、1、2日目は5分間、3日目は10分間、4日目は15分間、5日目は20分間の走行運動を15 m/minの速度で行った。この5日間の走行運動による影響が実験当日まで残ることを避けるため、実験前日は走行運動を行わなかった。

実験前日19時に固形飼料を取り除き、一晚(17時間)絶食を行った。実験当日にマウスを、実験1と同様に、

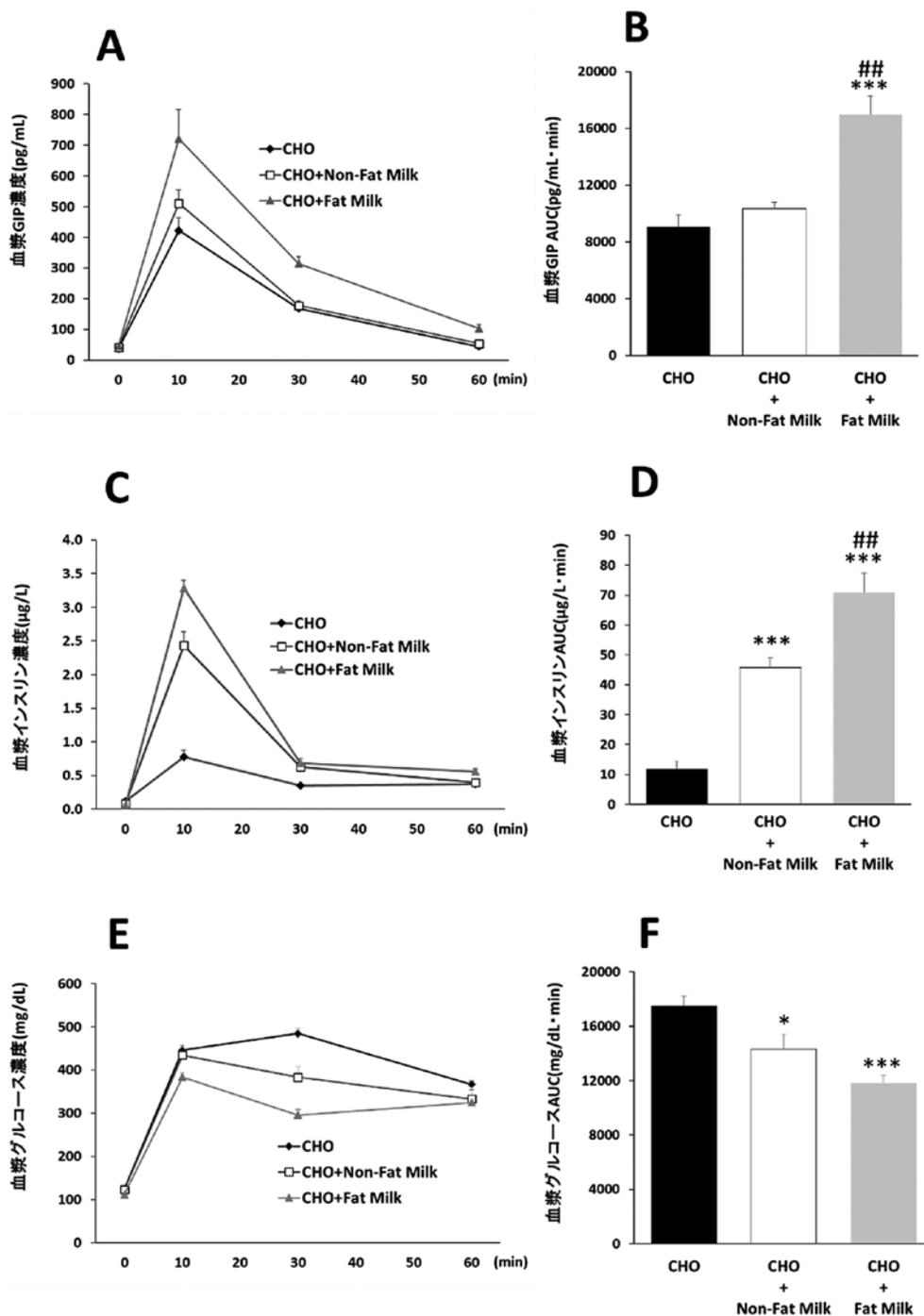


図1 安静状態のマウスでの各溶液投与後の血漿GIP (A)、インスリン (C) およびグルコース (E) の経時変化および曲線下面積 (B、D、F)

CHO：糖質投与群、CHO+Non-Fat Milk：糖質＋無脂肪牛乳投与群、CHO+Fat Milk：糖質＋有脂肪牛乳投与群、AUC：曲線下面積

数値は平均値±標準誤差で表した。\* p < 0.05、\*\*\* p < 0.001 vs. CHO 群、## p < 0.01 vs. CHO+Non-Fat Milk 群

CHO群 (n=8)、CHO+Non-Fat Milk群 (n=8) およびCHO+Fat Milk群 (n=8) の3群に分け、15 m/minの速度で30分間の走行運動を行わせた。運動終了

直後に実験1と同濃度および同量の溶液を各群のマウスにそれぞれ投与した。また、運動直後における筋グリコーゲン濃度の測定用に運動直後解剖群 (Post群：

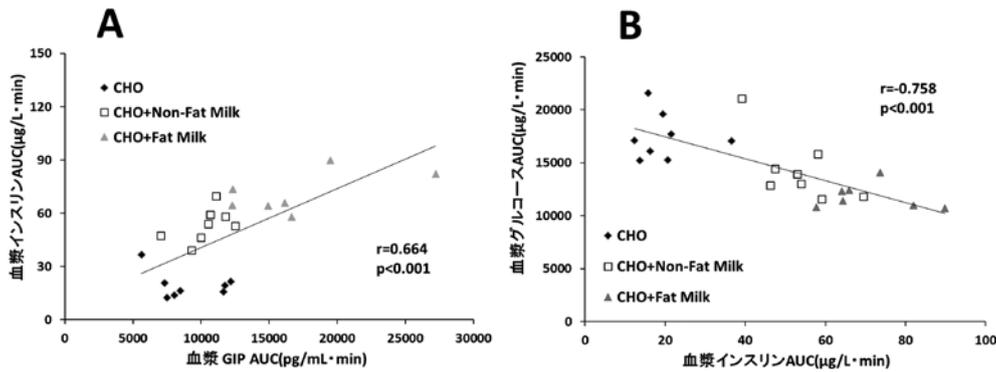


図2 血漿GIP AUCとインスリンAUC (A) および血漿インスリンAUCとグルコースAUC (B) の関係

CHO：糖質投与群、CHO+Non-Fat Milk：糖質＋無脂肪牛乳投与群、CHO+Fat Milk：糖質＋有脂肪牛乳投与群、AUC：曲線下面積

n=6) も設けた。

Post群は30分間の走行運動直後に解剖した。その他の群は、それぞれの溶液を経口投与してから、実験1と同様のタイミングで尾静脈から採血を行った。投与後60分目の採血終了直後に、イソフルランによる完全麻酔下において速やかに解剖を行った。尾部圧迫による反射が見られないことを確認し、完全麻酔下において速やかに前脛骨筋を摘出し、直ちに液体窒素で凍結した。骨格筋サンプルは分析まで-80℃の超低温フリーザーにて保存した。

#### 4) 分析方法

血漿グルコース濃度は、グルコースCIIテストワコー(和光純薬工業株式会社)を用いて測定した。血漿インスリン濃度および血漿GIP濃度は、Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) kit (Insulin: Mouse Insulin ELISA, Mercodia Inc, GIP: Rat/Mouse GIP (Total) ELISA kit, EMD Millipore) を用いて測定した。各項目の経時変化のグラフを作成し、投与前から投与60分目までにおける血液(血漿)中でのそれぞれの増加量の指標として曲線下面積(Area under the curve: AUC)を求めた。筋グリコーゲン濃度は、Lowry and Passonneau<sup>10)</sup>の方法に基づいて分析した。

#### 5) 統計処理

本研究のデータはすべて平均値±標準誤差で示した。有意差検定には一元配置分散分析、および多重比較としてTukey法もしくはFisherの最小有意差法を用いた。各項目間の相関関係はPearsonの相関分析を用いて検討した。いずれの検定もExcel統計2015(株式会社 社会情報サービス)を用いて解析し、危険率5%未満をもって有意とした。

### Ⅲ 結果

#### 1. 実験1

##### 1) 安静状態における血漿GIP、インスリンおよびグルコース濃度

安静状態のマウスにおける溶液投与後の血漿GIP、インスリンおよびグルコースの濃度の変化とそれらのAUC値を図1に示した。血漿GIP濃度は投与10分目においてCHO+Fat Milk群が他の2群よりも高値を示した(図1-A)、60分間のAUC値も他の2群より有意に高い値を示した(vs. CHO群 p<0.001, vs. CHO+Non-Fat Milk群 p=0.003, 図1-B)。一方、CHO群とCHO+Non-Fat Milk群の間には血漿GIP AUC値に有意な差は認められなかった(図1-B)。

血漿インスリン濃度は投与10分目においてCHO+Fat Milk群およびCHO+Non-Fat Milk群でCHO群よりも高い値を示した(図1-C)、AUC値も両牛乳摂取群でCHO群と比べて有意に高い値を示した(CHO群 vs. CHO+Non-Fat Milk群 p<0.001, CHO群 vs. CHO+Fat Milk群 p<0.001, 図1-D)。さらに、CHO+Fat Milk群の血漿インスリンAUC値はCHO+Non-Fat Milk群と比較し有意に高い値を示した(vs. CHO+Non-Fat Milk群 p=0.005, 図1-D)。

血漿グルコース濃度は、CHO+Fat Milk群とCHO+Non-Fat Milk群の両群においてCHO群よりも低値で推移し(図1-E)、投与60分目までの血漿グルコースAUC値もCHO群と比較して有意に低い値を示した(CHO群 vs. CHO+Non-Fat Milk群 p=0.036, CHO群 vs. CHO+Fat Milk群 p<0.001, 図1-F)。CHO+Non-Fat Milk群とCHO+Fat Milk群の間には血漿グルコースAUC値に有意な差は認められなかった(図1-F)。

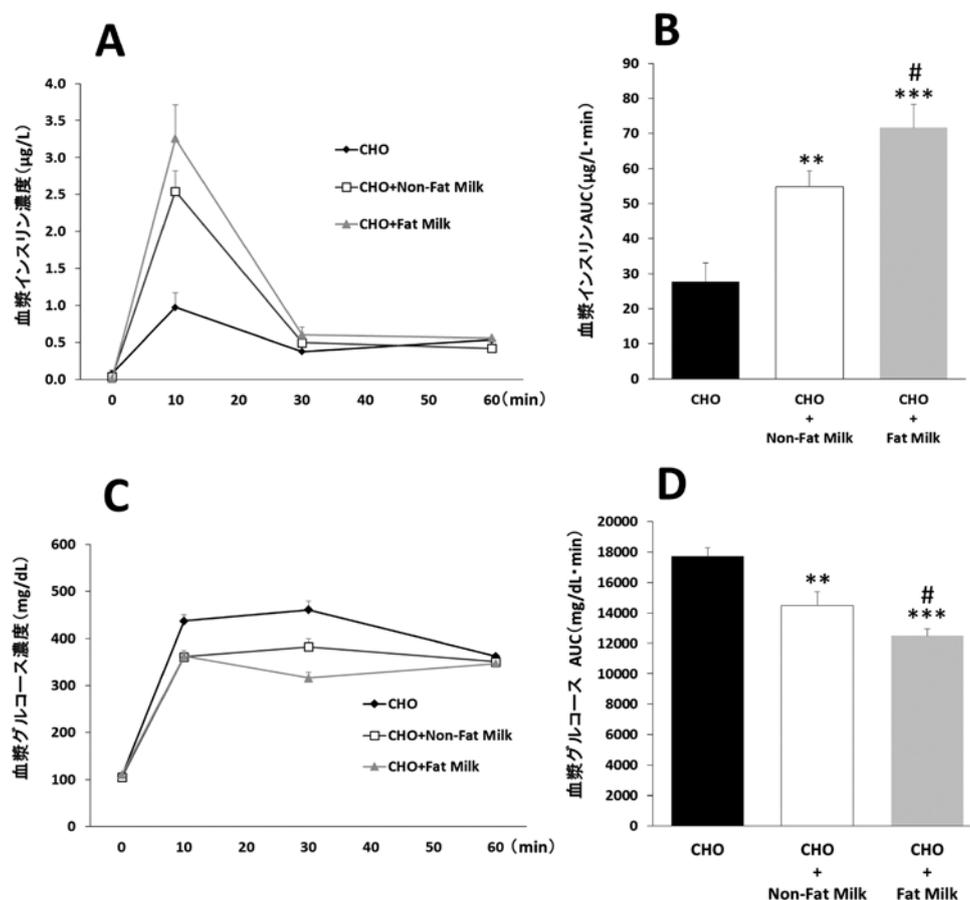


図3 運動後のマウスに対する各溶液投与後の血漿インスリン (A) およびグルコース (C) の経時変化および曲線下面積 (B, D)

CHO: 糖質投与群、CHO+Non-Fat Milk: 糖質 + 無脂肪牛乳投与群、CHO+Fat Milk: 糖質 + 脂肪牛乳投与群、AUC: 曲線下面積

数値は平均値±標準誤差で表した。\*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$  vs. CHO 群、#  $p < 0.05$  vs. CHO+Non-Fat Milk 群

## 2) 各測定項目間の相関関係

実験1における各測定項目の相関関係の結果を図2に示した。血漿GIP AUC値と血漿インスリンAUC値の間には有意な正の相関関係が認められた ( $r=0.664$ ,  $p < 0.001$ , 図2-A)。さらに、血漿インスリンAUC値と血漿グルコースAUC値の間にも有意な負の相関関係が認められた ( $r=-0.758$ ,  $p < 0.001$ , 図2-B)。

## 2. 実験2

### 1) 運動後の回復期における血漿インスリンおよびグルコース濃度

30分間の走行運動直後から投与60分目までの血漿インスリンおよびグルコース濃度の変化とそれらのAUC値を図3に示した。実験1の結果と同様にCHO群と比べて両牛乳摂取群で血漿インスリン濃度が大きく増加したが、特にCHO+Fat Milk群においてその増加

が大きく (図3-A)、投与60分目までのAUC値もCHO群およびCHO+Non-Fat Milk群と比較して有意に高い値を示した (vs. CHO群  $p < 0.001$ , vs. CHO+Non-Fat Milk群  $p=0.038$ , 図3-B)。

血漿グルコース濃度は両牛乳摂取群において投与60分目までCHO群よりも低値で推移し (図3-C)、投与60分目までのAUC値もCHO群と比べて両牛乳摂取群で有意に低い値を示した (CHO群 vs. CHO+Non-Fat Milk群  $p=0.003$ , CHO群 vs. CHO+Fat Milk群  $p < 0.001$ , 図3-D)。さらにCHO+Fat Milk群はCHO+Non-Fat Milk群よりも有意に低い値を示した (vs. CHO+Non-Fat Milk群  $p=0.048$ , 図3-D)。

### 2) 筋グリコーゲン濃度

運動直後の前脛骨筋における筋グリコーゲン濃度は1 g湿重量あたり  $12.3 \pm 1.0 \mu\text{mol}$ であった。60分間の

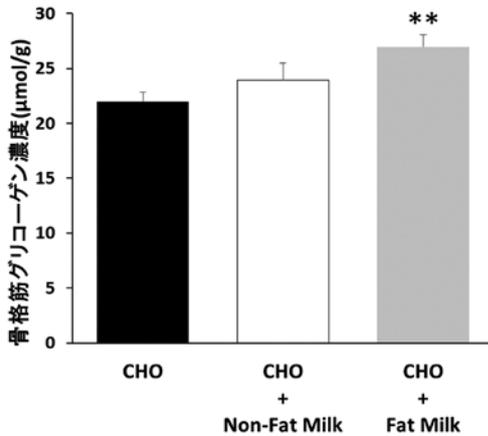


図4 運動における糖質・牛乳の混合溶液摂取後の骨格筋グリコーゲン濃度

CHO: 糖質投与群、CHO+Non-Fat Milk: 糖質 + 無脂肪牛乳投与群、CHO+Fat Milk: 糖質 + 有脂肪牛乳投与群

数値は平均値 ± 標準誤差で表した。

\*\* p < 0.01 vs. CHO 群

回復後の筋グリコーゲン濃度は、CHO群とCHO+Non-Fat Milk群の間では有意な差が認められなかったものの、CHO+Fat Milk群ではCHO群よりも有意に高い値を示した (p=0.009、図4)。

#### IV 考察

我々はこれまでに糖質を単独で摂取した場合に比べて糖質と牛乳(有脂肪牛乳)を運動後に摂取することでGIPさらにはインスリンの分泌が促進され、高い筋グリコーゲン回復効果が得られることを報告している<sup>6)</sup>。本研究では、このような糖質と牛乳の混合摂取によるインスリン分泌および筋グリコーゲン回復に対する促進効果が、無脂肪牛乳を用いた場合に減弱することが明らかとなった。

GIPは栄養素の摂取時に小腸上部のK細胞から分泌される消化管ホルモンであり、それ単独ではインスリン分泌に大きな影響を及ぼさないものの、食事摂取後の血糖上昇時にインスリン分泌を刺激する作用を持つ<sup>7)</sup>。さらに、GIPは栄養素の中でも脂質摂取時に最も分泌が促進されることが知られている<sup>8)</sup>。実験1において、血漿GIP濃度はCHO+Fat Milk群で高値を示し(図1-A)、血漿GIPのAUC値も他の2群より有意に高い値であった(図1-B)。一方、投与物が同じ糖質と牛乳の混合溶液であっても、糖質に加えて無脂肪牛乳を投与した場合には、糖質に加えて有脂肪牛乳を投与した場合ほどのGIP分泌量を得ることができなかった(図1-B)。本研究で使用した無脂肪牛乳と有

脂肪牛乳とでは、乳脂肪濃度のみが異なっており、その他の糖質およびたんぱく質含量は同等であった。したがって、今回得られたGIPの分泌量の違いは、含まれている脂肪分の有無が原因であると考えられる。さらに、血漿インスリンAUC値はCHO+Fat Milk群において他の2群と比較して有意に高い値を示し(図1-D)、血漿GIPのAUC値と血漿インスリンのAUC値の間には高い正の相関関係が認められた(図2-A)。これらの結果から、牛乳中の栄養素の中でも脂質がGIPを介してインスリンの分泌を促進している可能性が高いと考えられる。

上述したように実験1において、CHO+Fat Milk群の血漿インスリンAUC値は3群間の中で最も高く(図1-D)、それに伴い血漿グルコースAUC値も最も低い値であった(図1-F)。さらに血漿インスリンのAUC値と血漿グルコースのAUC値の間には高い負の相関関係が認められた(図2-B)。インスリン刺激によって脂肪や骨格筋などのインスリン標的器官では血糖の取込みが促進されるが、その際、骨格筋が最も多くの血糖を処理することが知られている<sup>11)</sup>。したがって以上のことから、CHO+Fat Milk群では多く分泌されたインスリンが骨格筋へ作用し、血糖取込みを促進していた可能性が高いと考えられる。

以上のように実験1において、糖質と同時に摂取する牛乳中の乳脂肪分の存在が消化管ホルモンGIPを介してインスリン分泌を刺激し、さらに骨格筋への糖取込みを促進する可能性が示唆されたことから、実験2では牛乳の乳脂肪分の有無が運動後の筋グリコーゲン回復に及ぼす影響について検討した。その結果、走行運動直後に糖質に加えて乳脂肪分を含む牛乳を摂取したCHO+Fat Milk群では、実験1と同様に血漿インスリン分泌の亢進と(図3-B)、血漿グルコース濃度の低下が認められた(図3-D)。さらに、回復後の筋グリコーゲン濃度も、我々の先行研究<sup>6)</sup>の結果と同じく、糖質を単独で摂取したCHO群と比較し、CHO+Fat Milk群で有意に高い値を示した(図4)。一方、CHO群と、CHO+Non-Fat Milk群との間には回復後の筋グリコーゲン濃度に有意な差が認められなかった(図4)。この結果は、糖質と牛乳の同時摂取による運動後のインスリン分泌さらには筋グリコーゲン回復に対する促進効果において、乳脂肪分の存在が重要な役割を果たしていることを示すものであると言える。

GIPは高血糖時にインスリン分泌を促進させる効果だけではなく、直接骨格筋に作用し、血糖の取込みを高める作用があることも報告されている<sup>12)</sup>。したがって、今回CHO+Fat Milk群で認められた多量のGIPがインスリン分泌を刺激するだけではなく、骨格筋の糖取込み速度を直接活性化させることで、筋グリコーゲン回復を高めていた可能性もあると考えられる。今後の研究においては、糖質と有脂肪牛乳の混合溶液摂取

による筋グリコーゲン回復促進効果について、GIPによる骨格筋の糖取込みの充進がどの程度寄与しているのか検討する必要があると考えられる。

CHO+Non-Fat Milk群では、血漿GIP AUC値がCHO群と差がないにもかかわらず、血漿インスリンAUC値はCHO群と比較して有意に高い値であった(図1-B, D)。先行研究において分岐鎖アミノ酸の一つであるロイシンは、インスリン分泌を促進することが報告されている<sup>13)</sup>。乳たんぱく質にはロイシンが多く含まれていることから<sup>14)</sup>、CHO+Non-Fat Milk群でみられたインスリン分泌に、ロイシンが関与している可能性が考えられる。しかしながら、CHO+Non-Fat Milk群では、回復後における筋グリコーゲン濃度がCHO群と同等であったことから(図4)、ロイシンによるインスリン分泌の充進だけでは筋グリコーゲンを回復させるには不十分であったと考えられる。また、糖質と有脂肪牛乳を摂取したCHO+Fat Milk群でみられた高いインスリン分泌には、乳脂肪分によるGIP分泌に加え、牛乳中のロイシンによる効果も関与していたという可能性も考えられる。

先行研究において<sup>6)</sup>、筋グリコーゲン回復が溶液投与後60分目という早い段階で認められたため、本研究においても同じ時点においてのみ筋グリコーゲン濃度を測定している。しかしながら、他の先行研究においては、運動終了後における筋グリコーゲン回復程度について、60分目以降も検討を行っているものも多く<sup>5), 15)</sup>、今後回復時間を伸ばして検討する必要があると思われる。

本研究で投与した溶液間ではエネルギー量の差が生じており、CHO+Fat Milk群では乳脂肪分が含まれている分、エネルギー摂取量が高くなっている。したがって、CHO+Fat Milk群とCHO群で回復後の筋グリコーゲン濃度に差が見られたものの、CHO+Fat Milk群とエネルギー摂取量が同等となる様に、CHO群にさらにグルコースを付加することで、筋グリコーゲン回復が同程度にまで高まるという可能性も考えられる。しかしながら、今回設定したグルコースの量は体重1 g当たり2 mgと多量のグルコースの投与をしており、血糖値も顕著に上昇していた(図3-C)。したがって、CHO群のグルコース摂取量をさらに増加させたとしても、筋グリコーゲン回復がこれ以上高まる可能性は低いと考えられる。

## V 結論

運動後における糖質と牛乳の同時摂取による筋グリコーゲンの回復促進効果には、乳脂肪分が重要な役割を果たしている可能性が示唆された。

## 謝辞

本研究に関して多大な助成を賜りました牛乳乳製品健康科学会議に深く感謝いたします。

## 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

- 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)
- 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)
- Jentjens, R., Jeukendrup, A.: Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery, *Sports. Med.*, 33, 117-144 (2003)
- Kerksick, C.M., Arent, S., Schoenfeld, B.J., et al.: International society of sports nutrition position stand: nutrient timing, *J Int Soc Sports Nutr.*, 14, (2017)
- Zawadzki, K.M., Yaspelkis III, B.B., Ivy, J.L.: Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise, *J Appl Physiol.*, 72, 1854-1859 (1992)
- 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)
- Kim, W., Egan, J.M.: The role of incretin in glucose homeostasis and diabetes treatment, *Pharmacol. Rev.*, 60, 470-512 (2008)
- Flatt, P.R., Baily, C.J., Kwasowski, P., et al.: Plasma immunoreactive gastric inhibitory polypeptide in obese hyperglycemic (ob/ob) mice, *J. Endocrinol.*, 101, 279-256 (1984)
- 寺田新: 脂質による消化管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)
- Lowry, O.H., Passoneau, L.V.: A Flexible System of enzymatic Analysis pp.189-193 (1972) Academic Press, New York
- DeFronzo, R.A., Gunnarsson, R., Björkman, O., et al.: Effects of insulin on peripheral and splanchnic glucose metabolism in noninsulin-dependent (type II) diabetes mellitus, *J Clin Invest.*, 76, 149-155 (1985)
- Snook, L.A., Nelson, E.M., Dyck, D.J., et al.: Glucose-dependent insulinotropic polypeptide directly induces glucose transport in rat skeletal muscle, *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.*, 309, R295-303 (2015)

- 13) Kalogeropoulou, D., Lafave, L., Schweim, K., et al.: Leucine, when ingested with glucose, synergistically stimulates insulin secretion and lowers blood glucose, *Metabolism*, 57, 1747-1752 (2008)
- 14) 文部科学省：日本食品標準成分表 2015 年度版（七訂）アミノ酸成分表編, pp188 全国官報販売協同組合, 東京 (2015)
- 15) Ivy, J.L, Lee, M.C., Brozinick, J.T., et al.: Muscle glycogen storage after different amounts of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol*, 65, 2018-2023 (1985)

(受付日：2018年5月18日)  
(採択日：2018年6月22日)

Original Article

# Potential role of milk fat in glucose-milk mixture-induced higher muscle glycogen recovery after exercise in mice

Ayumi FUKAZAWA <sup>\*1</sup>, Yuma YOKOTA <sup>\*1</sup>, Atsushi KANDA <sup>\*2</sup>,  
Michiyo KIMURA <sup>\*3</sup>, Shin TERADA <sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Department of Life Science, Graduate School of Arts and Science, The University of Tokyo

<sup>\*2</sup> Food Development Laboratories, Meiji Co., Ltd.

<sup>\*3</sup> Department of Nutrition, Faculty of Health and Welfare, Takasaki University of Health and Welfare

---

## ABSTRACT

### **【Aim】**

We previously reported that the ingestion of a glucose-milk mixture stimulates glucose-dependent insulinotropic polypeptide (GIP) and insulin secretion and promotes muscle glycogen resynthesis after exercise in mice. To examine the hypothesis that milk fat plays key roles in glucose-milk mixture-induced higher insulin secretion and enhanced muscle glycogen recovery, we evaluated the effects of glucose ingestion combined with fat-free or fat-containing milk.

### **【Methods】**

In Experiment 1, non-exercised male C57BL/6J mice were orally administered either a glucose solution (CHO group), a glucose and fat-free milk solution (CHO+Non-Fat Milk group), or a glucose and milk containing 4.45% fat solution (CHO+Fat Milk group). Blood samples were collected from the tail vein, and the levels of plasma insulin and GIP were determined. In Experiment 2, mice performed an acute bout of exercise (30 min of running) and were then orally administered one of the three solutions used in Experiment 1. After a 60-min recovery period, the muscle glycogen concentration in the tibialis anterior muscle was measured.

### **【Results】**

The CHO+Fat Milk group had significantly higher plasma GIP and insulin levels, compared with the other groups. Furthermore, in Experiment 2, the muscle glycogen concentration after the recovery period was significantly higher in the CHO+Fat Milk group than in the CHO group, while no significant difference in muscle glycogen concentration was seen between the CHO+Non-Fat Milk and CHO groups.

### **【Conclusion】**

These results suggest that milk fat plays a key role in the enhanced post-exercise muscle glycogen recovery that is observed after the ingestion of a glucose-milk mixture in mice.

**Keywords:** milk fat, GIP, insulin, muscle glycogen, mouse