

短報

たんぱく質および脂質を多く含む乳製品と糖質の同時摂取が運動後の Glucose-dependent insulinotropic polypeptide ならびにインスリン分泌におよぼす影響

柄澤 拓也^{*1,*2}、丸山 まいみ^{*1}、大家 千枝子^{*1}、岡村 信一^{*1}、寺田 新^{*2}、木村 典代^{*1}^{*1} 高崎健康福祉大学健康福祉学部健康栄養学科、^{*2} 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

【目的】

インスリンは、筋グリコーゲンとたんぱく質の合成を促進する作用を持つことから、運動後の栄養補給ではその分泌を高めることが重要となる。我々は、牛乳と糖質を同時に摂取することで運動後のインスリン分泌が高まることを報告してきた。これは牛乳中のたんぱく質や脂質が、インスリン分泌増強作用を持つGIPの分泌を促進したためであると考えられる。そこで本研究では、たんぱく質と脂質をより多く含む乳製品と糖質の同時摂取がGIPとインスリン分泌に及ぼす影響を検討することとした。

【方法】

大学生8名に対して、30分間の自転車運動終了後に1) グルコース 1 g/kg体重を水で溶解した溶液、2) グルコースを高脂肪牛乳で溶解した糖質・高脂肪牛乳溶液、3) グルコースに水、全脂粉乳、生クリーム、ゼラチンを加えた糖質・乳製品ゼリーのいずれかを摂取させた。被験物摂取前から摂取後120分目まで採血を行い、血漿GIPおよびインスリン濃度を測定した。

【結果】

血漿GIP濃度は、糖質・高脂肪牛乳と糖質・乳製品ゼリーを摂取した試行で、糖質溶液を摂取した試行よりも有意に高値を示した。一方、血漿インスリン濃度はいずれの試行間においても有意な差は認められなかった。

【結論】

たんぱく質と脂質をより多く含む乳製品と糖質の同時摂取は、運動後のGIP分泌を促進させるものの、必ずしもインスリン分泌を高めるとは限らないという可能性が示唆された。

キーワード：牛乳 インスリン GIP ヒト

I 緒言

骨格筋や肝臓のグリコーゲンの減少や枯渇は、運動パフォーマンスの低下につながる¹⁾。したがって、トレーニングや試合が1日に複数回行われる競技においては、運動終了後に糖質を補給し、次のトレーニングや試合までに骨格筋や肝臓のグリコーゲンをすみやかに回復させることが重要となる。また、運動後に十分なたんぱく質が摂取されない場合、筋たんぱく質の分解が合成を上回った状態となる²⁾。このことから、筋量を増加させるためには、運動後にたんぱく質を摂取して、合成と分解のバランスを是正する必要がある。

そのような運動後の栄養補給の際には、単に糖質やたんぱく質を摂取するだけではなく、インスリン分泌をいかに高めるかということも重要な要因であると考えられている³⁾。インスリンは膵臓のβ細胞から分泌されるホルモンであり、骨格筋において糖の取込みやグリコーゲン合成を活性化する作用を持つ⁴⁾。さらに、骨格筋細胞内の情報伝達経路を介して筋たんぱく質の分解を抑制し、合成を促進する作用を有することでも知られている⁵⁾。

インスリン分泌は通常、血糖値の上昇に伴って刺激されることから、糖質の摂取による影響を強く受ける。一方、たんぱく質や脂質はそれ自体がインスリン

表 1 被験者の身体的特徴

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	BMI (kg/m ²)
男子 (n = 5)	20.2 ± 0.4	175.0 ± 2.1	63.6 ± 5.1	12.5 ± 3.8	20.8 ± 1.7
女子 (n = 3)	20.3 ± 1.2	156.8 ± 0.8	52.3 ± 7.7	26.3 ± 6.1	21.2 ± 2.9

数値は全て平均値 ± 標準偏差で示した。

BMI : Body Mass Index

分泌を強く刺激することはないものの、Glucose-dependent insulinotropic polypeptide (GIP) などの消化管ホルモンの分泌を刺激することで、高血糖時のインスリン分泌を増強することが知られている⁶⁾。実際、たんぱく質もしくは脂質を糖質に加えて摂取することで、糖質のみを摂取した場合と比べてインスリン分泌が高まることが報告されている^{7), 8)}。以上のことから、運動後にインスリン分泌を高めるという点では、糖質を単独で摂取するのではなく、たんぱく質や脂質も同時に摂取することが効果的である可能性が考えられる。

そのようなたんぱく質と脂質を同時に摂取できる食品として、牛乳が挙げられる。マウスを対象とした先行研究において、糖質のみを投与した場合に比べて、牛乳と糖質の混合物を投与した場合に、GIPの分泌が増加し、血漿インスリン濃度も高値を示したこと、さらには血漿GIP濃度とインスリン濃度との間に有意な正の相関関係が認められたことが報告されている⁹⁾。さらに、我々は、実際にヒトを対象とした研究においても、牛乳と糖質を同時に摂取することで糖質を単独で摂取するよりも運動後のインスリン分泌が促進されることを報告してきた¹⁰⁾。以上のことから、たんぱく質と脂質を含む牛乳を糖質と同時に摂取することで、インスリン分泌を促進できる可能性が高いと考えられる。また、上記のヒトを対象とした研究において用いられた牛乳中のたんぱく質および脂質の含有率は、それぞれ3.3%、3.9%であったが、たんぱく質と脂質がGIPさらにはインスリンの分泌において重要な役割を果たしているのであれば、それらの含有量を増やすことで、これらの分泌をさらに促進できるという可能性も考えられる。本研究によりインスリン分泌をさらに促進できるたんぱく質および脂質の組成が明らかとなれば、アスリートに対してより効果的な運動後の栄養摂取方法を提案することが可能になると考えられる。

そこで、本研究では、たんぱく質および脂質をより多く含む乳製品と糖質の同時摂取が運動後のGIPならびにインスリン分泌応答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. 被験者

被験者は、週2日以上運動習慣のある健康な大学生男女8名であった。被験者の身体的特徴を表1に示した。被験者は実験の主旨、内容、およびそれに伴う苦痛と危険性についての説明を受け、それらを十分に理解した上で同意書に署名し、自由意思により本実験に参加した。実験期間中は通常の食事および身体活動を維持した。なお、本実験は高崎健康福祉大学研究倫理委員会の承認を得て行われた(承認番号2814)。

2. 実験プロトコル

被験者は事前に自転車エルゴメーター(エアロバイク75XL2、コンビウエルネス社)による運動を行い、心拍数が150 bpmと120 bpmとなる運動強度を決定し、それぞれ高強度運動、低強度運動とした。

実験前日は激しい身体活動、カフェインを多く含む飲食物の摂取および飲酒を禁止した。実験前日の昼食、夕食および当日の朝食は3回の試行で同一のものを摂取し、夕食は前日の21時までに、朝食は実験開始3時間前までに済ませるように指示した。

本実験のプロトコルを図1に示した。被験者は最低1週間の間隔を空けて3回の試行をクロスオーバー法により実施した。運動負荷試験では自転車エルゴメーターを用い、事前に決定した4分間の高強度運動と2分間の低強度運動を5回繰り返す合計30分間の運動を実施した。本研究では1日に試合が複数回繰り返される卓球競技の運動強度(心拍数)および競技時間を想定し、このような運動負荷試験を行わせた^{11), 12)}。運動終了後、1) 体重1 kgあたり1 gのグルコースを水250 mlで溶解した糖質溶液(糖質試行)、2) 同量のグルコースを高脂肪牛乳250 mlで溶解した糖質・高脂肪牛乳溶液(糖質・高脂肪牛乳試行)、3) 同量のグルコースと全脂粉乳35 g、生クリーム20 g、水180 ml、ゼラチン3 gを混合し、たんぱく質と脂質含有量をさらに高めた糖質・乳製品ゼリー(糖質・ゼリー試行)のいずれかを摂取した後、2時間の安静を保った。各被験物の構成材料および栄養組成(グルコースを除く)を表2に示した。

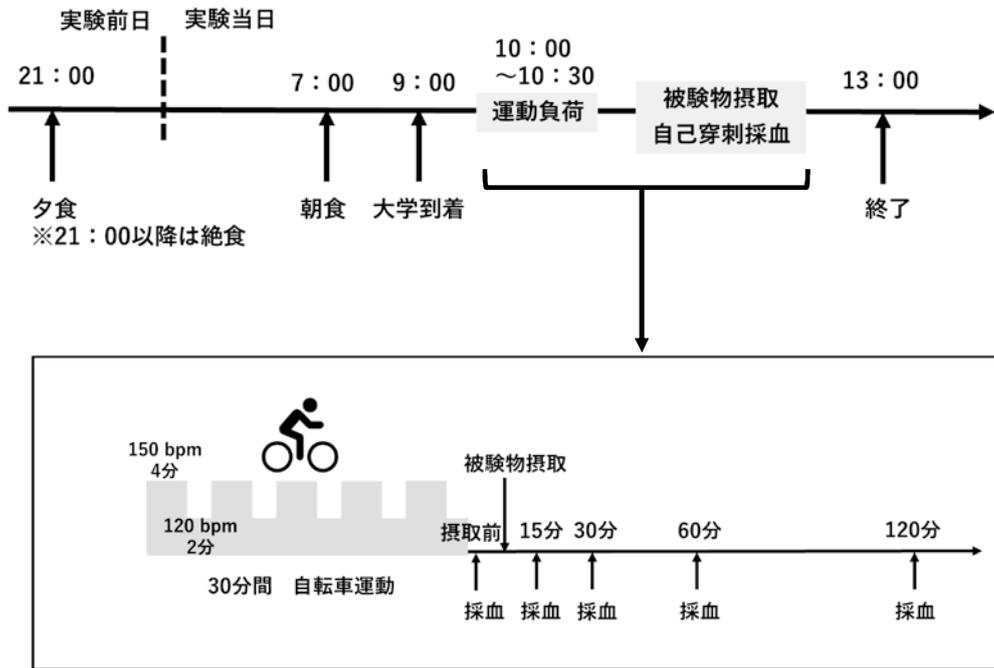


図1 実験プロトコル

表2 被験物の構成材料および栄養組成（グルコースを除く）

		糖質溶液	糖質・高脂肪牛乳溶液	糖質・乳製品ゼリー
材料				
水	(ml)	250.0	—	180.0
高脂肪牛乳	(ml)	—	250.0	—
全脂粉乳	(g)	—	—	35.0
生クリーム	(g)	—	—	20.0
ゼラチン	(g)	—	—	3.0
合計重量	(g)	250.0	258.0	238.0
栄養組成				
エネルギー	(kcal)	0	188	264
たんぱく質	(g)	0	8.3	12.1
脂質	(g)	0	11.6	17.7
糖質	(g)	0	12.5	14.4

※被験物に含まれるグルコース量は被験者ごとに異なることから（体重1 kgあたり1 g）、グルコース以外の値を示した。

3. 測定項目

運動負荷試験中には、4分間の高強度運動終了ごとに心拍数とBorg scaleによる主観的運動強度（Rating of Perceived Exertion：RPE）の測定を行った。

運動負荷試験の直後（被験物摂取直前）、被験物摂取15、30、60、120分目において、穿刺器具（セーフティプロプラス、ロッシュダイアグノスティクス社）を用いて被験者による自己穿刺を行い、指先から採血を行った。血糖測定装置（Precision Xceed、アボットジャパン株式会社）を用いて血中グルコース濃度の測定を

行い、同じ穿刺部位からヘパリン処理されたキャピラリー採血管（Thermo Fisher Scientific K.K.）を用いて採血を行った。採取した血液は2,500 rpmで10分間遠心分離にかけて血漿を分離し、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。血漿GIP濃度および血漿インスリン濃度の測定はELISAキットを用いて行った（GIP：Human GIP Total Assay Kit、株式会社免疫生物研究所、インスリン：Insulin Human ELISA、Mercodia Inc.）。GIPとインスリンのELISA分析に伴う変動係数はいずれも3%未

表3 運動負荷試験中の心拍数およびRPE

	心拍数 (拍/分)		
	糖質試行	糖質・高脂肪牛乳試行	糖質・ゼリー試行
4分	145 ± 8	145 ± 11	147 ± 10
10分	148 ± 7	150 ± 9	152 ± 7
16分	151 ± 8	149 ± 12	153 ± 9
22分	151 ± 8	149 ± 12	153 ± 9
28分	155 ± 8	156 ± 11	158 ± 8
	RPE		
	糖質試行	糖質・高脂肪牛乳試行	糖質・ゼリー試行
4分	13 ± 2	13 ± 2	12 ± 2
10分	14 ± 2	13 ± 2	13 ± 2
16分	14 ± 2	14 ± 2	14 ± 1
22分	14 ± 2	14 ± 2	14 ± 2
28分	14 ± 3	14 ± 2	14 ± 2

RPE：主観的運動強度 数値は全て平均値±標準偏差で示した。

反復測定による二元配置分散分析（試行×時間）

心拍数 試行の主効果：N.S. 時間の主効果： $p < 0.001$ 交互作用：N.S.

RPE 試行の主効果：N.S. 時間の主効果： $p < 0.001$ 交互作用：N.S.

満であった。

血漿GIP濃度、血漿インスリン濃度および血中グルコース濃度については、経時変化のグラフを作成し、運動負荷試験の直後から被験物摂取120分目までにおける血漿（血液）中の増加量の指標として曲線下面積（Area under the curve：AUC）値を算出した。

それぞれの試行終了後に、被験物の嗜好性に関する自記式質問紙調査を実施した。質問項目は被験物の甘さの好み、におい、量、摂りやすさの4項目とし、各項目に対して（5：よい～1：悪い）までの5段階で選択させた。

4. 統計処理

データは全て平均値±標準偏差で示した。統計処理はExcel統計2015（株式会社社会情報サービス社）を用いて解析し、いずれも危険率5%未満をもって有意とした。各データの正規性の検定にはKolmogorov-Smirnov検定、等分散性の検定にはBartlett検定を用いた。心拍数およびRPEの分析には反復測定による二元配置分散分析（試行×時間）を用いた。血漿GIP、インスリン、血中グルコース濃度のAUC値の分析には反復測定による一元配置分散分析を用いた。試行の主効果が認められた場合、Bonferroni法を用いて多重比較を行った。また、多重比較で有意な差が認められた場合には効果量（Cohen's d）を算出した。反復測定による試験法を用いているため、効果量の算出にはMorris and Deshonの式を用いた¹³⁾。先行研究に基づき、効果量の判断は小： $0.20 < d < 0.49$ 、中： $0.50 < d < 0.79$ 、大： $0.80 < d$ とした¹⁴⁾。被験物の嗜好性

に関する項目の分析にはKruskal-Wallis検定を用いた。

III 結果

1. 運動負荷試験中の心拍数およびRPE

運動負荷試験中の心拍数およびRPEに対しては時間の主効果が認められたものの（ $p < 0.001$ ）、交互作用および試行の主効果は認められなかった（表3）。

2. 回復期における血漿GIP濃度、血漿インスリン濃度および血中グルコース濃度の変化

被験物摂取直後から120分目までの血漿GIP濃度の経時変化とAUC値_(0-120min)を図2-AおよびBに示した。なお、AUC値_(0-120min)は被験者別の値を折れ線グラフで、平均値を棒グラフで示した。血漿GIP濃度のAUC値_(0-120min)は全被験者が糖質試行に比べて糖質・高脂肪牛乳試行と糖質・ゼリー試行のいずれの試行においても高い値を示した。平均値においても試行間に有意な差が認められ（ $p < 0.001$ ）、糖質・高脂肪牛乳試行と糖質・ゼリー試行はそれぞれ糖質試行と比較して有意に高い値を示した（図2-B、糖質・高脂肪牛乳試行： $p < 0.001$ 、 $d = 2.37$ 、糖質・ゼリー試行： $p < 0.001$ 、 $d = 3.67$ ）。

血漿インスリン濃度の経時変化とAUC値_(0-120min)を図2-CおよびDに示した。血漿インスリン濃度のAUC値_(0-120min)は全ての被験者が少なくとも糖質・高脂肪牛乳試行もしくは糖質・ゼリー試行のいずれかで糖質試行よりも高い値を示した。しかしながら、平均値ではいずれの試行間においても有意な差は認められなかつ

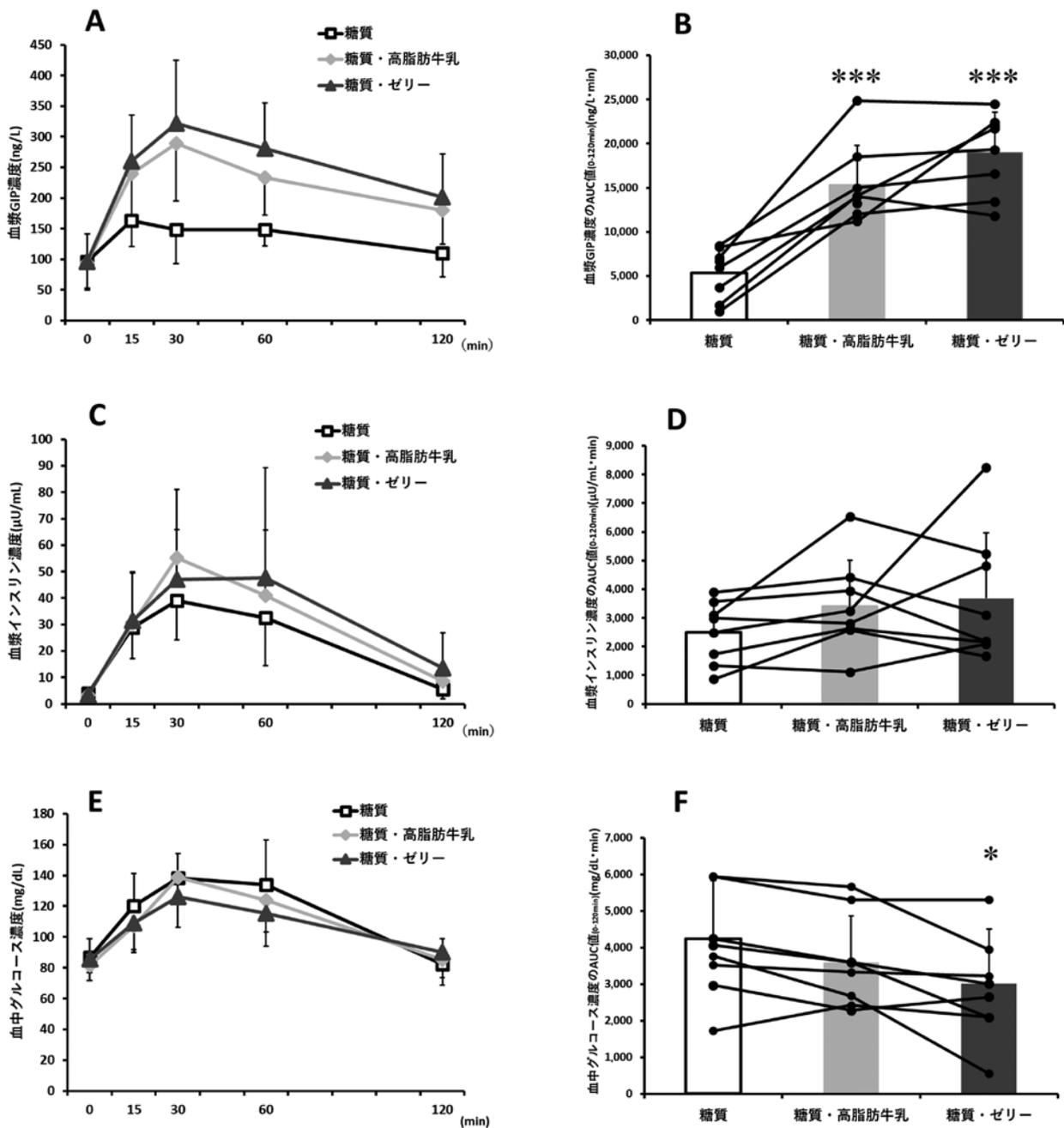


図2 回復期における血漿GIP濃度、血漿インスリン濃度、血中グルコース濃度の経時変化 (A、C、E) および曲線下面積 (B、D、F)

A、C、Eの数値は全て平均値±標準偏差で示した。B、D、Fは平均値±標準偏差を棒グラフで、個人値を折れ線グラフで示した。反復測定による一元配置分散分析 *** $p < 0.001$ vs. 糖質試行、* $p < 0.05$ vs. 糖質試行

た ($p = 0.23$)。

血中グルコース濃度の経時変化とAUC値(0-120min)を図2-EおよびFに示した。血中グルコース濃度のAUC値(0-120min)は8名中7名の被験者が糖質試行に比べて糖質・高脂肪牛乳試行と糖質・ゼリー試行のいずれの試行においても低い値を示した。平均値においては試行間に有意な差が認められ ($p < 0.05$)、糖質・ゼリー

試行で糖質試行と比較して有意に低い値であった ($p = 0.016$, $d = 1.04$)。

3. 被験物の嗜好性に関する評価

各試行終了後に実施した被験物の嗜好性に関する質問紙調査の結果を表4に示した。いずれの項目においても試行間で有意な差は認められなかった(甘さの好

表4 被験物の嗜好性に関する評価

	糖質試行	糖質・高脂肪牛乳試行	糖質・ゼリー試行	p 値
甘さの好み	3.0 ± 0.5	2.8 ± 1.0	2.8 ± 1.3	0.93
におい	3.3 ± 0.9	3.0 ± 0.5	3.0 ± 0.0	0.79
量	3.4 ± 1.5	2.8 ± 1.2	2.3 ± 0.7	0.24
摂りやすさ	3.4 ± 1.1	3.9 ± 1.1	3.0 ± 0.9	0.27

数値は全て平均値±標準偏差で示した。

(5：よい～1：悪い) までの5段階評価

Kruskal-Wallis 検定

み：p = 0.93、におい：p = 0.79、量：p = 0.24、摂りやすさ：p = 0.27)。

IV 考察

我々はこれまでに牛乳と糖質を同時に摂取することで、糖質を単独で摂取した場合と比較して運動後のインスリン分泌が促進することを報告してきた¹⁰⁾。本研究では、高脂肪牛乳ならびに乳製品ゼリーを被験物に用いて、たんぱく質と脂質の量を増やすことで、糖質と同時に摂取した際のインスリン分泌がさらに促進されるという仮説を立て、検討を行った。その結果、糖質試行に比べて糖質・高脂肪牛乳試行および糖質・ゼリー試行でGIPの分泌が顕著に促進されたものの、血漿インスリン濃度のAUC値_(0-120min)には、試行間で有意な差は認められなかった。したがって、たんぱく質と脂質を多く含む乳製品と糖質の同時摂取は、GIP分泌を促進させる一方で、それに伴ってインスリン分泌がさらに高まるとは限らないという可能性が示唆された。

本研究において、仮説とは異なる結果が得られた原因は必ずしも明らかではないが、胃から小腸への排出速度 (Gastric Emptying Rate : GER) の遅延が生じていたことが、一つの要因として考えられる。本研究で被験物として用いた糖質・高脂肪牛乳溶液と糖質・乳製品ゼリーのエネルギー量は糖質溶液と比較してそれぞれ188 kcal、264 kcal多かった。Calbetらは、摂取する食物のエネルギー量が高まるにしたがい、GERが低下することを報告している¹⁵⁾。また、Cunninghamらは、多量の脂質を添加してエネルギー量を高めた食事を摂取させた結果、GERが著しく低下し、インスリン分泌が抑制されたことを報告している¹⁶⁾。したがって、糖質・高脂肪牛乳試行や糖質・乳製品ゼリー試行においてはエネルギー量および脂質含有量が多くなりすぎたため、GERの低下が生じやすくなっており、その結果、GIPの分泌が促進されたのにもかかわらず、インスリン分泌が充進しなかったのかもしれない。実際、血漿インスリン濃度のAUC値_(0-120min)に3群間で差が認められない一方で、血中グルコース濃度

のAUC値_(0-120min)は、糖質摂取試行に比べて糖質・高脂肪牛乳試行では低値を示す傾向に、また糖質・乳製品ゼリー試行では有意に低い値であったことから、GERが低下していた (消化吸収が低下していた) という可能性が支持されるだろう。

図2-Dで示したように、血漿インスリン濃度のAUC値_(0-120min)は平均値でみると試行間で差がないものの、個人間で大きく異なっていた。この大きな個人差の原因は、明らかではないが、上述したようなGERに対する影響の生じ方が個人間で異なっていた可能性が考えられる。ただし、血漿インスリン濃度のAUC値_(0-120min)は全ての被験者において少なくとも糖質・高脂肪牛乳試行もしくは糖質・ゼリー試行のいずれかで糖質試行よりも高い値を示していた (図2-D)。この結果は、たんぱく質および脂質の量が個々に適したものであれば、乳製品と糖質の同時摂取は、運動後のインスリン分泌を高める上で効果的な栄養摂取方法となる可能性を示唆するものである。したがって、実際のスポーツ現場において乳製品と糖質の同時摂取を実践する際には、それぞれの選手に適したたんぱく質と脂質含有量をあらかじめ把握し、調節する必要があると考えられる。被験物の嗜好性に関する評価でいずれの項目においても試行間で有意な差は認められなかったことから、乳製品と糖質の同時摂取はスポーツ現場での応用が十分可能であるだろう。

本研究における血漿GIP濃度のAUC値_(0-120min)は糖質試行に比べて糖質・高脂肪牛乳試行と糖質・ゼリー試行で有意に高い値を示していた (図2-B)。GIPは高血糖時のインスリン分泌を促進することに加え、骨組織において、骨吸収を抑制し、骨形成を促進する作用を持つことが知られている^{17), 18)}。したがって、乳製品はカルシウムの供給源としてのみならず、GIP分泌を促進することによっても、骨代謝に好ましい影響をもたらす可能性がある。特に、運動後の骨組織においては、骨吸収が顕著に高まることが報告されていることから¹⁹⁾、そのタイミングでたんぱく質および脂質含有量の多い乳製品を摂取して、GIP分泌を高めることができれば、骨密度を維持、増加させる上で効果的であるという可能性が考えられる。

本研究の限界として以下の2点が挙げられる。1点目は女性被験者（3名）の月経周期を配慮しなかった点である。先行研究において、黄体期には卵胞期と比較してインスリン感受性が低下することが報告されていることから^{20), 21)}、月経周期の違いがインスリン分泌に影響を及ぼしていた可能性は否定できない。しかしながら、これらの研究においてはインスリンの分泌量自体には黄体期と卵胞期で差が認められなかったことから、その影響は必ずしも大きくはないと考えられる。2点目は被験物の形状が糖質溶液および糖質・高脂肪牛乳溶液と、糖質・乳製品ゼリーで異なっていた点である。このような違いが、先述したGERおよびインスリン分泌に影響を及ぼしていた可能性も考えられる。しかしながら、この点について川崎らは、エネルギー量を統一した食事を摂取した場合には、液体と固体でGERが同等であることを報告している²²⁾。したがって、被験物の形状の違いがGERおよびインスリン分泌に影響を及ぼした可能性は低いと考えられる。

V 結論

たんぱく質と脂質を多く含む乳製品と糖質の同時摂取は、運動後のGIP分泌を促進させるものの、必ずしもインスリン分泌を高めるとは限らないという可能性が示唆された。

謝辞

本研究に対して全脂粉乳の提供等の支援を賜りました森永乳業株式会社に厚く御礼申し上げます。また、本研究に協力していただきました嶋宮茉佑子さん、村山怜奈さん、松岡優芽さん、福田真佑子さん、被験者の皆様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

- 1) Bergstrom, J., Hermansen, L., Hultman, E., et al.: Diet, muscle glycogen and physical performance, *Acta. Physiol. Scand.*, 71, 140-150 (1967)
- 2) Biolo, G., Maggi, S.P., Williams, B.D., et al.: Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans, *J. Appl. Physiol.*, 268, 514-520 (1995)
- 3) Beelen, M., Burke, L.M., Gibala, Martin, J., et al.: Nutritional strategies to promote postexercise recovery, *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.*, 20, 515-532 (2010)
- 4) Perseghin, G., Price, T.B., Petersen, K.F., et al.: Increased glucose transport-phosphorylation and muscle glycogen synthesis after exercise training in insulin-resistant subjects, *N. Engl. J. Med.*, 335, 1357-1362 (1996)
- 5) 寺田 新, 稲井 真: 運動後の栄養補給に関する最近の知見, *臨床スポーツ医学*, 33, 1144-1149 (2016)
- 6) Kim, W., Egan, J.M.: The role of incretin in glucose homeostasis and diabetes treatment, *Pharmacol. Rev.*, 60, 470-512 (2008)
- 7) 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)
- 8) Zawadzki, K.M., Yaspelkis, B.B., Ivy, J.L.: Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise, *J. Appl. Physiol.*, 72, 1854-1859 (1992)
- 9) 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)
- 10) 丸山まいみ, 寺田 新, 大家千枝子, 他: 牛乳・糖質混合溶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)
- 11) Leite, J., Barbieri, F., Miyagi, W., et al.: Influence of Game Evolution and the Phase of Competition on Temporal Game Structure in High-Level Table Tennis Tournaments, *J. Hum. Kinet.*, 55, 55-63 (2017)
- 12) 村上博巳, 倉敷千稔, 岩野悦真, 他: 大学・卓球選手の試合状態における心拍数・呼吸数の変化, *日本体育学会大会号第40回*, 651 (1989)
- 13) Morris, S.B., DeShon, R.P.: Combining effect size estimates in meta-analysis with repeated measures and independent-groups designs, *Psychol Methods.*, 7, 105-125 (2002)
- 14) Cohen, J.: A power primer, *Psychol Bull.*, 112, 155-159 (1992)
- 15) Calbet, J.A., MacLean, D.A.: Role of caloric content on gastric emptying in humans, *J. Physiol.*, 498, 553-559 (1997)
- 16) Cunningham, K.M., Read, N.W.: The effect of incorporating fat into different components of a meal on gastric emptying and postprandial blood glucose and insulin responses, *Br. J. Nutr.*, 61, 285-290 (1989)
- 17) Tsukiyama, K., Yamada, Y., Yamada, C., et al.: Gastric inhibitory polypeptide as an endogenous factor promoting new bone formation after food ingestion, *Mol. Endoc.*, 20, 1644-1651 (2006)
- 18) Nissen, A., Christensen, M., Knop, F.K., et al.: Glucose-dependent insulinotropic polypeptide inhibits bone resorption in humans, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 99, 2325-2329 (2014)

- 19) Guillemant, J., Accarie, C., Peres, G., et al.: Acute effects of an oral calcium load on markers of bone metabolism during endurance cycling exercise in male athletes, *Calcif. Tissue. Int.*, 74, 407-414 (2004)
- 20) Pulido, J., Salazar, M. : Changes in insulin sensitivity, secretion and glucose effectiveness during menstrual cycle, *Arch.Med.Res.*, 30, 19-22 (1999)
- 21) Diamond, M., Simonson, D., DeFronzo, R. : Menstrual cyclicity has a profound effect on glucose homeosta-

sis, *Fertil Steril.*, 52, 205-208 (1989)

- 22) 川崎成郎, 中田浩二, 羽生信義, 他 : 同一被験者群における異なる試験食の胃排出動態の比較 (RI 法), 日本平滑筋学会雑誌, 6, 99-106 (2002)

(受付日 : 2019年 5月 7日)
(採択日 : 2019年 7月 10日)

Brief Report

Effects of co-ingestion of glucose with high-protein, high-fat milk products after exercise on glucose-dependent insulintropic polypeptide and insulin secretions in collegiate students

Takuya KARASAWA ^{*1, *2}, Maimi MARUYAMA ^{*1}, Chieko OIE ^{*1}, Shinichi OKAMURA ^{*1},
Shin TERADA ^{*2}, Michiyo KIMURA ^{*1}

^{*1} Department of Nutrition, Faculty of Health and Welfare, Takasaki University of Health and Welfare

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

ABSTRACT

【Aim】

Because insulin promotes muscle glycogen and protein synthesis, post-exercise nutritional strategies designed to augment insulin secretion might be effective for athletes. We previously reported that co-ingestion of glucose and milk stimulates insulin secretion after exercise, possibly through enhancement of the secretion of glucose-dependent insulintropic polypeptide (GIP) by the protein and fat intake. In this study, we examined whether co-ingestion of glucose and high protein and fat-containing milk products can further increase the secretions of GIP and insulin.

【Methods】

Eight collegiate students completed a 30-min cycle ergometer exercise on 3 separate occasions. Immediately after each exercise, they ingested either 1) a glucose solution, 2) glucose + high-fat milk, or 3) a high-protein, high-fat milk jelly containing glucose, water, whole-fat milk powder, fresh cream and gelatin. Blood samples were collected before and after intake of these supplements to determine the plasma GIP and insulin levels.

【Results】

While the areas under the curve for plasma GIP were significantly higher after the ingestion of glucose + high-fat milk and glucose + high-protein, high-fat milk jelly as compared with that after ingestion of glucose solution, no significant differences in the plasma insulin levels were observed among the trials.

【Conclusion】

These results suggest that co-ingestion of glucose and high protein and fat-containing milk products can induce further increase in the plasma GIP level, but not insulin, in healthy collegiate students.

Keywords: milk, insulin, GIP, human