

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12673

研究課題名(和文) 持久性運動開始前の糖質摂取は本当にインスリン・ショックを引き起こすか

研究課題名(英文) Does carbohydrate ingestion before endurance exercise really cause hypoglycemia?

研究代表者

樋口 満 (HIGUCHI, Mitsuru)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授

研究者番号：20192289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：運動前の糖質摂取によって引き起こされるインスリンショック(運動誘発性低血糖)と呼ばれる現象について、主に朝食摂取の有無による違いに着目し研究を行った。本研究の結果、絶食条件だけではなく、実際のスポーツ現場に近い状態である朝食を摂取した条件においても、運動誘発性低血糖を発症する場面があることが明らかになった。さらに、低血糖の発症のしやすさには個人差が認められ、絶食条件においては、高いインスリン分泌能を有している者が、また朝食摂取条件においては、高い有酸素性能力を有している者が、運動誘発性低血糖を生じやすいことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Previous studies demonstrated that carbohydrate (CHO) feeding 30-45 min before exercise results in transient hypoglycemia shortly after onset of exercise. The purpose of this study was thus to directly compare the effects of fasting vs. feeding on plasma glucose kinetics following pre-exercise carbohydrate ingestion. This results show that, transient hypoglycemia shortly after onset of exercise may occur not only after an overnight fast, but also in the fed state. In addition, subjects with higher aerobic fitness and enhanced insulin secretory capacity seem to be more prone to transient hypoglycemia following pre-exercise carbohydrate ingestion under fed and fasted conditions, respectively.

研究分野：スポーツ栄養学

キーワード：インスリンショック 血糖値 糖質摂取 持久性運動

1. 研究開始当初の背景

持久性運動中には糖質および脂質が主なエネルギー源として使用される。体内に大量に貯蔵されている脂質に比べ、骨格筋および肝臓に貯蔵されているグリコーゲン量は少ないため、運動前にその貯蔵量を増やしておくことが重要となる。しかしながら、運動開始 30~45 分前に多量の糖質を摂取することにより、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、その結果、脂肪分解の抑制や筋グリコーゲン利用の亢進に加え、パフォーマンスが低下する場合があることが先行研究によって報告されている (Costill et al. 1977, Foster et al. 1979)。

この運動誘発性低血糖は、「インスリンショック」と呼ばれ、広く知られているものの、これまでに行われてきた多くの先行研究においては、長時間の絶食後に糖質飲料を摂取させている。絶食条件では、体内のエネルギーが不足し、血糖をはじめとするエネルギー基質をより吸収しやすい状況にあることが予想される。したがって、運動誘発性低血糖は、絶食条件では生じるものの、実際のスポーツ現場に近い状況、すなわち朝食などを十分に摂取した状況では起こらないという可能性も考えられる。また、いくつかの先行研究において、運動誘発性低血糖は全ての被験者で生じるわけではなく、その生じやすさには個人差があることが報告されている。しかしながら、運動誘発性低血糖の個人差に關与する要因については、これまでほとんど明らかとなっていない。

2. 研究の目的

研究課題として、実際のスポーツ現場に即した状況、すなわち朝食摂取条件と一晩の絶食後の条件を設定し、運動開始前の糖質摂取が、運動開始直後と運動中の血糖値および運動パフォーマンスに及ぼす影響を検討することとした。

次に研究課題として、運動誘発性低血糖を呈した被験者にみられる特性・特徴を抽出し、運動誘発性低血糖の個人差を生み出す要因について明らかにすることとした。

さらに、研究課題として、なぜ朝食の有無によって運動誘発性低血糖に及ぼす影響が異なるのか、そのメカニズムについて実験動物を用いて検討することとした。

3. 研究の方法

< 研究課題 >

健康な男子大学生 9 名を対象とした。被験者は、一晩の絶食後 (絶食条件) もしくは 700 kcal 程度の朝食摂取 3 時間後 (朝食摂取条件) に、150 g の糖質 (グルコース) を含んだ 500 ml の炭酸飲料もしくはプラセボ飲料を摂取した。30 分間の安静状態を保った後、75%VO₂max の強度で 60 分間

の自転車運動を行い、続けてパフォーマンステストとして、90%VO₂max の強度で自転車運動を行い、疲労困憊に至るまでのタイムを計測した。

運動中は、酸素摂取量および呼吸交換比を測定した。また、飲料摂取直前、運動開始直前、運動開始 15、30、60 分後、パフォーマンステスト後に採血を行い、血糖値と血清インスリン濃度を測定した。

< 研究課題 >

健康な男子大学生 16 名を対象とした。被験者は、一晩の絶食後 (絶食条件) もしくは 700 kcal 程度の朝食摂取 3 時間後 (朝食摂取条件) に、150 g の糖質 (グルコース) を含んだ 500 ml の炭酸飲料を摂取した。30 分間の安静状態を保った後、75%VO₂max の強度で 60 分間の自転車運動を行った。

飲料摂取直前、運動開始直前、運動開始 15、30、60 分後に採血を行い、血糖値と血清インスリン濃度を測定した。運動開始 15 分後の血糖値が 70 mg/dl 以下に達した者を低血糖群、それ以外を通常血糖群とした。

< 研究課題 >

絶食状態および摂食状態の Wistar 系雄性ラットから滑車筋およびヒラメ筋を摘出し、in vitro におけるインスリン最大刺激時の糖取り込み速度を測定した。

4. 研究成果

< 研究課題 >

糖質摂取条件において、運動開始直前における血糖値は、糖質摂取前と比較して有意に上昇した。しかしながら、朝食摂取の有無に関わらず、運動開始 15 分後および 30 分後における血糖値は、糖質摂取条件とプラセボ摂取条件との間に差は認められなかった。また、持久性パフォーマンスについても条件間で差は認められなかった。一方で、個々の結果を見ると、朝食摂取 + 糖質摂取条件では、9 名中 4 名において運動開始 15 分後に血糖値が 70 mg/dl を下回っていた。

< 研究課題 >

研究課題より、低血糖の発症には個人差があることが明らかになった。そこで、被験者を 16 名に増やして追加の実験を行い、絶食条件および朝食摂取条件それぞれにおける、低血糖発症の要因を解明することとした。

絶食条件では、16 名中 5 名において低血糖が認められた。低血糖群 5 名と、それ以外の正常血糖群 11 名の血清インスリン濃度の経時変化を比較したところ、運動開始直前において低血糖群は正常血糖群と比較して有意に高い値を示した。インスリン初

期分泌能の指標である Insulinogenic index(IGI)を算出し、対数変換した log IGI と運動開始 15 分目の血糖値の関連を検討した結果、両者の間に有意な負の相関関係 ($r = -0.691$ 、 $P < 0.01$) が認められた。

朝食摂取条件においては、16 名中 7 名で血糖値が認められた。低血糖群 7 名と正常血糖群 9 名の血清インスリン濃度の経時変化を比較したところ、両群に有意な差は認められなかった。そこで、低血糖の発生と関連する他の要因を探索したところ、低血糖群では、正常血糖群と比較して最大酸素摂取量の絶対量 (ml/min) が有意に高い値であった。さらに、最大酸素摂取量と朝食摂取条件における運動開始 15 分後の血糖値との関係を検討したところ、有意な負の相関関係 ($r = -0.657$ 、 $P < 0.01$) が認められた。

< 研究課題 >

摂食状態と絶食状態における、インスリン刺激による骨格筋の糖取り込み速度を測定したところ、速筋線維優位型の滑車上筋の場合、摂食状態に比べて絶食状態においてインスリン刺激による糖取り込みが有意に高い値を示した。一方で、遅筋線維優位型のヒラメ筋では、絶食状態よりも摂食状態においてインスリン刺激時の糖取り込みが有意に高値を示した。

< まとめ >

本研究の結果、絶食条件だけではなく、実際のスポーツ現場に近い状態である朝食を摂取した条件においても、運動誘発性低血糖を発症する可能性があることが明らかになった。さらに、低血糖の発症のしやすさには個人差が認められ、絶食条件においては、高いインスリン分泌能を有している者が、一方で朝食摂取条件においては、高い有酸素能力を有している者が、運動誘発性低血糖を生じやすいことが明らかになった。

また、動物実験の結果より、遅筋線維優位型のヒラメ筋では、摂食状態においてインスリン刺激時の糖取り込みが有意に高値を示していた。ヒラメ筋は糖輸送担体の GLUT-4 が多く、持久性トレーニングをよく行った状態の骨格筋に近い性質を持つ。したがって、有酸素能力が高い者において、朝食摂食条件にインスリンショックが生じやすい原因を一部説明できる。

< 引用文献 >

Costill DL, Coyle E, Dalsky G, Evans W, Fink W, & Hoopes D. Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* (1977), 43(4), 695-9.

Foster C, Costill DL, & Fink WJ. Effects of preexercise feedings on endurance performance. *Med Sci Sports.* (1979), 11(1), 1-5.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 3 件)

Kondo S, Tanisawa K, Suzuki K, Terada S, Higuchi M. "Pre-exercise carbohydrate ingestion and transient hypoglycemia during exercise: Effects of fasting vs. feeding". 64th American College of Sports Medicine Annual Meeting, Denver, Colorado. May 2017.

近藤早希, 谷澤薫平, 鈴木克彦, 樋口満「持久性運動開始前の糖質摂取は本当にインスリンショックを引き起こすか」. 第 71 回日本体力医学会大会. 岩手. 2016 年 9 月.

Kondo S, Tanisawa K, Ito T, Suzuki K, Higuchi M. "Pre-exercise ingestion of carbohydrate does not induce hypoglycemia during cycling exercise in Japanese men". 21st Annual Congress of the European College of Sport Science, Vienna, Austria. June 2016.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

樋口 満 (Higuchi Mitsuru)

早稲田大学スポーツ科学学術院 教授

研究者番号: 20192289

(2) 連携研究者

坂本 静男 (Sakamoto Shizuo)

早稲田大学スポーツ科学学術院 教授

研究者番号: 00266032

田口 素子 (Taguchi Motoko)

早稲田大学スポーツ科学学術院 教授

研究者番号: 90360734

東田 一彦 (Higashida Kazuhiko)

滋賀県立大学人間文化学部 准教授
研究者番号：50634466