

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11390

研究課題名（和文）カーボローディングにより貯留する体水分の暑熱対策効果の検証

研究課題名（英文）Evaluation of the Heat Mitigation Effect of Body Water Retention Induced by Carbohydrate Loading

研究代表者

塩瀬 圭佑（Shiose, Kieuske）

宮崎大学・教育学部・准教授

研究者番号：70708106

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、カーボローディングによって生じる体水分量の増加が常温・暑熱環境下での体温変動へ及ぼす影響を検討した。本研究の結果、カーボローディングは常温環境下での運動時の体温調整に影響は及ぼさないが、暑熱環境下での持久性運動時における深部体温の上昇を抑制する可能性が示された。しかし、カーボローディングによる体水分量の増加が深部体温の上昇を抑制するという直接的な証拠を得ることはできなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カーボローディングは、運動中のエネルギー枯渇を防ぐという観点から、持久性競技のアスリートを中心に実施されている。一方、カーボローディングが暑熱環境下における運動時の深部体温上昇を抑制するという本研究のデータは、カーボローディングが暑熱対策としても有効であるという新たな可能性を示すものであった。本研究を基礎とした研究発展によって、カーボローディングをより多くの競技でパフォーマンス向上のために活用できる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：This study evaluated the effect of a carbohydrate loading-induced increase in body water content on body temperature changes during exercise in both ordinary and heat environments. We found that carbohydrate loading does not affect body temperature changes during exercise in an ordinary environment but does mitigate the rise in core temperature during exercise in a heat environment. However, we did not find evidence that a carbohydrate loading-induced increase in body water content directly affected body temperature changes during exercise in the heat environment.

研究分野：スポーツ生理学

キーワード：グリコーゲン 体水分量 生体電気インピーダンス法 暑熱環境

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

筋グリコーゲンは骨格筋内に貯蔵された糖質の重合体であり、運動時の主要なエネルギー産生源となる。筋グリコーゲンは、多量の糖質を数日間摂取することで通常の 2 倍程度まで増加することができ、この方法は「カーボローディング」と呼ばれている。カーボローディングを行うことで、競技中のエネルギー枯渇を予防でき、持久性パフォーマンスの向上に繋がるため、持久性競技アスリートを中心に実施されている。

一方、グリコーゲンは、分子構造上の特性から 1g に対し 3~5 g の水が結合して貯蔵されると考えられている^{1,2)}。そのため、カーボローディングを実施した場合、副反応として数百グラム~1.5 kg もの体水分を主とした体重増加が起こる。一般的に、体水分量の増加は脱水を予防し、深部体温の上昇を抑制するため、暑熱対策として有効に働く。しかし、申請者らの過去の研究では、カーボローディングによって生じる体水分量の増加は特定の身体部位で局所的に生じるものであり、且つ、細胞内液を主成分とする、という非常にユニークな特性が示された³⁾。細胞内液は高分子の周りに結合された“結合水”であり、血液や間質液に含まれる“自由水”と比べると、物理的・熱力学的性質が異なる。先行研究では、他の栄養摂取方法による細胞内液量の増加が深部体温の上昇を抑制することが示されているが⁴⁾、カーボローディングを行うことでそのような効果が得られるかは明らかでない。

2. 研究の目的

本研究は、カーボローディングによる体水分変動と運動時の体温変動の関連を検討し、カーボローディングの暑熱対策としての有効性を検証することを目的とした。具体的には、カーボローディングが 常温環境下 (気温 21 度、湿度 50%) における中強度持久性運動時の体温動態へ及ぼす影響、暑熱環境下 (気温 31 度、湿度 70%) における中強度持久性運動時の体温動態へ及ぼす影響について研究を行った。

3. 研究の方法

研究課題

本課題は若年健常男性を対象に実施した。対象者は、平常状態 (CON 条件) とカーボローディング後 (CL 条件) に体組成の評価と運動負荷試験を行った。CL 条件では、普段の食事に 6g/kg 体重/日の炭水化物を加え、3 日間摂取した (炭水化物 10.5 ± 1.6 g/kg/日)。体組成の評価には生体電気インピーダンス法を用いた。運動負荷試験では、室温 21、相対湿度 50% の環境下で 60%VO₂max 強度の持久性運動を 40 分間実施した。運動前と運動 10 分おきに主観的疲労度と主観的温熱感覚を聴取し、直腸温 (Tre) と平均皮膚温 (Tsk) を計測した。

研究課題

本課題は若年健常男性を対象に実施した。対象者は標準食 (CON 条件、炭水化物 6.0 ± 0.5 g/kg/日) または高糖質食 (CL 条件、炭水化物 11.1 ± 0.6 g/kg/日) を 3 日間摂取した。食事介入後に、体組成の評価と運動負荷試験を行った。体組成の評価には空気置換法と生体電気インピーダンス法を用いた。運動負荷試験は、室温 31、相対湿度 70% の環境下で 60%VO₂max 強度の持久性運動を 40 分間実施した。運動前と運動 10 分おきに主観的疲労度と主観的温熱感覚を聴取し、Tre と Tsk を計測した。

4. 研究成果

研究課題

体重は CON 条件と CL 条件で有意な差は認められなかった。体水分量に条件間で有意な差は認められなかった。常温環境下での運動 40 分後において、Tsk は CL 条件で 34.9 ± 0.7 (Tsk 2.4 ± 0.8) CON 条件で 35.0 ± 0.7 (Tsk 2.3 ± 0.9) まで上昇し、条件間で有意な差は認められなかった。Tre は CL 条件で 37.8 ± 0.3 (Tre 0.7 ± 0.5) CON 条件で 37.7 ± 0.3 (

Tre 0.7 ± 0.3)まで上昇し、条件間で有意な差は認められなかった。Treの上昇程度と体重及び体水分の増加程度に有意な相関は認められなかった。運動中の主観的疲労度、主観的温熱感覚に条件間で有意な差は認められなかった。

研究課題

体重はCON条件に比べCL条件で有意に高値を示した ($p < 0.05$)。除脂肪量は6名中5名がCL条件で高値を示したが、CON条件と比べて有意な差は認められなかった。体水分量に条件間で有意な差は認められなかった。暑熱環境下での運動40分後において、TskはCL条件で 36.9 ± 0.4 (Tsk 2.8 ± 0.5) CON条件で 36.9 ± 0.5 (Tsk 2.9 ± 0.5)まで上昇し、条件間で有意な差は認められなかった。TreはCL条件で 38.1 ± 0.5 (Tre 1.0 ± 0.3) CON条件で 38.2 ± 0.4 (Tre 1.2 ± 0.3)まで上昇し、CL条件で増加の程度が小さかった(交互作用 $p < 0.05$; 図1)。Treの上昇程度と体重及び体水分の増加程度に有意な相関は認められなかった。運動中の主観的疲労度、主観的温熱感覚に条件間で有意な差は認められなかった。

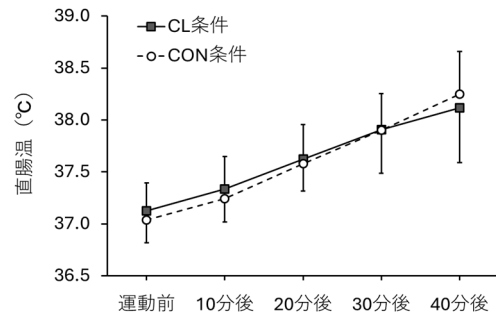


図1. 暑熱環境下における運動時の深部体温変化

本研究の結果から、カーボローディングは常温環境下での運動時の体温調整に影響は及ぼさないが、暑熱環境下における中強度持久性運動時の深部体温上昇を抑制する可能性が示された。しかし、カーボローディングによる体水分量の増加が深部体温の上昇を抑制するという直接的な証拠を得ることはできなかった。

参考文献

1. Olsson, K. E., & Saltin, B. (1970). Variation in total body water with muscle glycogen changes in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 80(1), 11-18.
2. Shiose, K., Takahashi, H., & Yamada, Y. (2022). Muscle glycogen assessment and relationship with body hydration status: a narrative review. *Nutrients*, 15(1), 155.
3. Shiose, K., Yamada, Y., Motonaga, K., Sagayama, H., Higaki, Y., Tanaka, H., & Takahashi, H. (2016). Segmental extracellular and intracellular water distribution and muscle glycogen after 72-h carbohydrate loading using spectroscopic techniques. *Journal of Applied Physiology*, 121(1), 205-211.
4. Easton, C., Turner, S., & Pitsiladis, Y. P. (2007). Creatine and glycerol hyperhydration in trained subjects before exercise in the heat. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 17(1), 70-91.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Keisuke Shiose, Hideyuki Takahashi and Yosuke Yamada	4. 巻 15
2. 論文標題 Muscle Glycogen Assessment and Relationship with Body Hydration Status: A Narrative Review	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nutrients	6. 最初と最後の頁 155
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/nu15010155	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kondo Emi, Shiose Keisuke, Osawa Takuya, Motonaga Keiko, Kamei Akiko, Nakajima Kohei, Sagayama Hiroyuki, Wada Takahiro, Nishiguchi Shigeki, Takahashi Hideyuki	4. 巻 13
2. 論文標題 Effects of an overnight high-carbohydrate meal on muscle glycogen after rapid weight loss in male collegiate wrestlers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation	6. 最初と最後の頁 96
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s13102-021-00325-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Namma-Motonaga Keiko, Kondo Emi, Osawa Takuya, Shiose Keisuke, Kamei Akiko, Taguchi Motoko, Takahashi Hideyuki	4. 巻 14
2. 論文標題 Effect of Different Carbohydrate Intakes within 24 Hours after Glycogen Depletion on Muscle Glycogen Recovery in Japanese Endurance Athletes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nutrients	6. 最初と最後の頁 1320
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/nu14071320	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 塩瀬圭佑, 山下敦也, 富賀理恵, 内藤貴司, 上原吉就, 藤田英二
2. 発表標題 カーボローディングが暑熱環境下運動時の深部体温に及ぼす影響：パイロット研究
3. 学会等名 日本スポーツ栄養学会第10回大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------