

前日の水分摂取制限が運動前の糖質溶液摂取に伴う 運動誘発性低血糖に及ぼす影響

藤江衣織¹, 垣内ちひろ², 嶋森昂太¹, 池永和奏²
山崎祐太², 吉本香乃², 東郷将成³, 瀧澤一騎⁴
木村宣哉², 柴田啓介^{1,2}, 山口太一^{1,2}

Effect of fluid ingestion restriction from the previous day on exercise-induced hypoglycemia with pre-exercise carbohydrate beverage ingestion

Iori Fujie¹, Chihiro Kakiuchi², Kota Shimamori¹, Wakana Ikenaga²
Yuta Yamazaki², Kano Yoshimoto², Masanari Togo³, Kazuki Takizawa⁴
Nobuya Kimura², Keisuke Shibata^{1,2}, Taichi Yamaguchi^{1,2}

Abstract

【Purpose】 The purpose of the present study was to clarify the effect of fluid ingestion restriction from the previous day on exercise-induced hypoglycemia.

【Methods】 Ten healthy Japanese male subjects performed 30-min cycling exercise at an intensity on the 65% of each subject's maximal load after ingesting a 500mL of carbohydrate beverage dissolving 30g of glucose under the two types of conditions as follows: the subjects drank 2L of water on the previous day (fluid ingestion condition) and they restricted fluid ingestion on the previous day (fluid restriction condition). Urine specific gravity, blood glucose concentration and insulin concentration were measured before ingesting the carbohydrate beverage. The blood glucose concentrations were measured before, during, and after exercise. The insulin concentrations were measured before and after exercise.

1. 酪農学園大学大学院酪農学研究科食品栄養科学専攻
〒060-8501 北海道江別市文京台緑町582
2. 酪農学園大学農食環境学群食と健康学類
〒060-8501 北海道江別市文京台緑町582
3. 旭川大学短期大学部食物栄養学科
〒079-8501 北海道旭川市永山3条23丁目1-9
4. 一般社団法人身体開発研究機構
〒060-0061 北海道札幌市中央区南1条西5丁目

1. Food and Nutrition Science, Graduate School of Dairy Sciences, Rakuno Gakuen University
582 Bunkiyodai-Midorimachi, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan
2. Department of Food Science and Human Wellness, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University
582 Bunkiyodai-Midorimachi, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan
3. Department of Food and Nutrition, Asahikawa University Junior College
3-23-1-9 Nagayama, Asahikawa, Hokkaido 079-8501, Japan
4. Institute of Physical Development Research
Minami-1, Nishi-5, Chuo-ku, Sapporo, Hokkaido 060-0061, Japan

著者連絡先 山口 太一
taichi@rakuno.ac.jp

【Results】 The urine specific gravity in fluid restriction condition was significantly ($P < 0.01$) higher than that in fluid ingestion condition. The mean blood glucose concentrations in both conditions were lower than the criterion for hypoglycemia (72mg/dL) at 15-25 minutes during exercise, with no differences in change between conditions ($P = 0.97$). The changes of insulin concentration were not different between both conditions ($P = 0.21$).

【Conclusion】 These results suggest that the 30g/500mL of carbohydrate beverage ingestion at 30-min before exercise caused exercise-induced hypoglycemia regardless of fluid ingestion restriction on the previous day.

key words: plasma glucose, endurance exercise, sports nutrition

I. 緒 言

持久性運動において高いパフォーマンスを発揮するためには、運動中はもちろんのこと、運動前にも水分摂取を適切に行う必要がある。運動前の水分摂取が不十分であると、運動前に無意識のうちに脱水状態に陥る場合がある。脱水状態で持久性運動を行うと、発汗率が低下し熱放散が滞る。その結果、身体の冷却機能が低下してパフォーマンスが低下する(Goulet, 2012, p.685)。したがって、持久性運動前に水分摂取が不十分であることに気づいた時には速やかに水分摂取を行うべきである。

持久性運動前の水分摂取はスポーツドリンクなどの糖質を含む溶液で行うことが一般的であるが、運動開始後の低血糖に注意しなければならない。なぜなら、運動前の糖質溶液の摂取に伴い上昇した血糖値をインスリンによって下げる作用と運動に伴う血中から筋への糖取り込みが相まって、血糖値が急激に低下し低血糖の基準値を下回るrebound hypoglycaemia (Jeukendrup and Killer, 2010, p.20)が生じる可能性があるからである。rebound hypoglycaemiaは、本邦において運動誘発性低血糖と称される。運動誘発性低血糖は、筋グリコーゲンの利用亢進、糖質酸化の増大、脂質酸化の抑制を生じさせ、持久性パフォーマンスを低下させることが報告されている(Costill et al., 1977, p.696; Foster et al., 1979)。

一方で、水分摂取が不十分な状態では運動誘発性低血糖が発生しない可能性も考えられる。なぜなら、脱水状態では溶液の胃排出速度が低下することが示されており(Neufer et al., 1989, p.436; Rehner et al., 1990, p.792-793; van Nieuwenhoven et al., 2000, p.581-582)、運動前に糖質溶液を摂取しても胃から小腸にかけての消化酵素による分解と小腸における吸収が緩やかに行われて血糖値や血中のインスリン濃度の上昇が抑えられる可能性があるためである。これまでに、運動前に水分摂取が不十分な状態にある状況での糖質溶液摂取が運動中の血糖値や血中インスリン濃度に及ぼす影響を調査した研究は見当たらない。

そこで、本研究の目的は、健康的な男性を対象とし、前日に水分摂取を制限した場合と水分摂取をした場合において、運動前の糖質溶液摂取が運動中の血糖値変動に

及ぼす影響を比較することで、前日の水分摂取制限が運動誘発性低血糖の発生に影響を及ぼすか否かを明らかにすることとした。本研究の仮説として、前日の水分摂取が不十分な場合、運動前の糖質溶液摂取に伴う血糖値や血中のインスリン濃度の上昇は抑えられ、運動誘発性低血糖が生じないか、その程度が小さくなると考えた。

II. 方 法

1. 被験者

被験者は、R大学の課外活動団体(アイスホッケー部、準硬式野球部、バドミントン部、ハンドボール部)に所属し、日常的に運動を行っている健康的な日本人男性10名[年齢: 20.0 ± 1.3 歳(範囲:19-22歳)、身長: 174.5 ± 6.0 cm、体重: 65.9 ± 6.3 kg、Body Mass Index (BMI): 21.6 ± 1.3 kg/m²、体脂肪率: 13.4 ± 4.2 %, 最大運動負荷(Wmax): 246.7 ± 24.4 W]であった。すべての被験者に対して事前に実験の目的、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。実験実施前に、糖尿病の罹患の有無を確認したが、該当する被験者はいなかった。なお、本研究は酪農学園大学における人を対象とする医学系研究倫理審査委員会により承認(15-9)を得て実施した。

2. 実験の概要

被験者は事前測定として、身長、体重の測定および自転車運動を用いた多段階漸増負荷試験を行い、Wmaxを決定した。本実験は2021年7月から9月の期間に実施し、各被験者は水分摂取条件と水分制限条件の2条件をクロスオーバーデザインで行った。被験者はいずれの条件においても実施前日の22時までに指定したオレンジジュース250mL(トロピカーナ100%オレンジ、キリンビバレッジ株式会社)を含む夕食(エネルギー: 931kcal、たんぱく質: 22.2g、脂質: 17.7g、炭水化物: 175.9g)を摂取した。また、本実験の当日の運動開始3時間前までに、夕食と同じく指定したオレンジジュース250mLを含む朝食(エネルギー: 843kcal、たんぱく質: 29.1g、脂質: 28.0g、炭水化物: 121.3g)を摂取した。加えて、水分摂取条件では、前日に2Lの飲料水を必ず摂取した。活動レベルの高い集団における水の必要摂取量は、3.3-3.5L

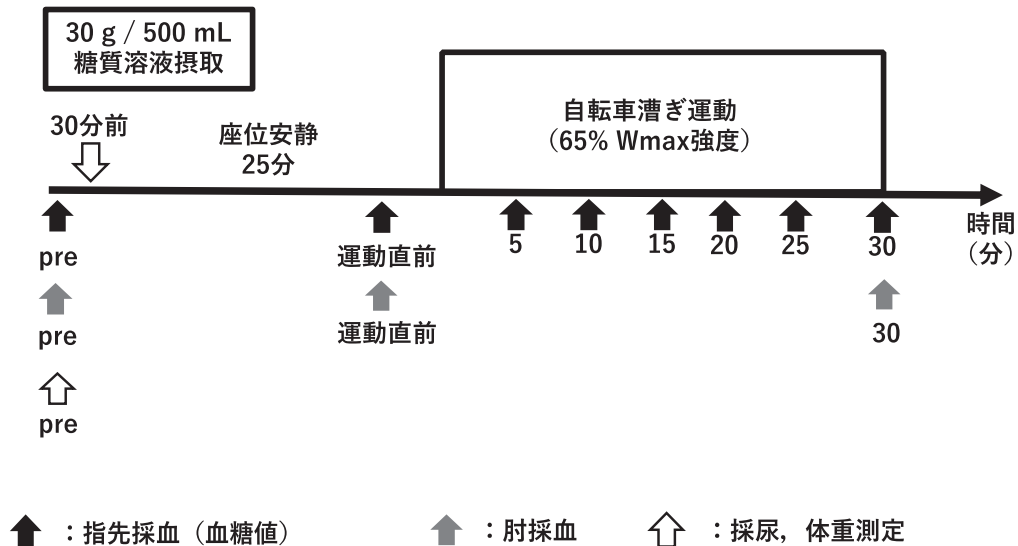


図1 実験プロトコル

であり (Sawka et al., 2005, p.S31), そのうち70–80%が飲料によるものとされている (Jéquier and Constant, 2010, p.117). よって, 飲料で2.3–2.8Lの摂取量が必要と考えたことから, 食事のオレンジジュース500mLを含め, 2.5Lの飲料を摂取させた. 一方, 水分制限条件では, 食事におけるオレンジジュース500mL以外の飲料摂取を制限し, 被験者には食事の汁物も含め, 実験前日には飲料を摂取しないよう指示した. 指定した食事は, Burke et al. (2011, p.20) による運動前の糖質摂取の目安量を満たす食事とし, 夕食は24時間で体重1 kgあたり7–12gの糖質量を3食分で除いた糖質量 (体重1 kgあたり2.3–4 g) を含む弁当とした. 朝食は体重1 kgあたり1–4 gの糖質量を満たす弁当とした. また, 本実験の実施24時間前から激しい運動や飲酒, カフェインの摂取を禁止した. 本実験当日 (図1) は, 被験者は実験室来室後, 採尿を行った後に体重を計測した. その後, 指先および肘正中皮下静脈からの採血を行い, 採血終了後, 飲料水500mLに30gのブドウ糖を溶解した糖質溶液を3分以内に摂取し, 座位安静を25分間保持した. 25分の安静後, 指先および肘正中皮下静脈からの採血を行った. 採血終了後, 自転車エルゴメーターに移動し, 糖質溶液摂取30分後に65% Wmax強度で30分間の自転車漕ぎ運動を開始した. 運動中は運動開始5分後より5分ごとに指先から採血を行い, 血糖値を測定した. 加えて, 運動開始30分後には肘正中皮下静脈より採血を行った. なお, 全ての被験者は各条件の実験を1週間以上の間隔を空けた別日の同時間帯に実施した. 実験環境は気温25℃, 相対湿度55%となるよう調整した.

3. 事前測定

被験者は, 実験室に来室後, インピーダンス式体重体組成計 (BC-622, 株式会社タニタ, 最小表示50g) を用いて体重および体脂肪率の計測を行った. その後, 自転

車エルゴメーターに乗り, サドル, ハンドル位置およびペダルの固定具を調整し, 心拍計のトランスミッター (H1 トランスミッター, Polar Electro Oy) を装着した. 自転車エルゴメーター上で3分間の安静状態を保持したのちに60Wで3分間のウォーミングアップを実施した. その後, 回転数を60rpmに維持した状態で1分間に20Wずつ漸増するステップ負荷にて疲労困憊まで追い込んだ. 疲労困憊の判断基準は, 1) 回転数が50rpmを下回った時点, 2) 最大心拍数が (220–年齢) 拍/分を超えた時点, 3) 被験者が運動継続困難と判断した時点のいずれかとした (佐藤ほか, 2019, p.75). 漸増負荷試験にて10秒毎に得られた負荷の最大値をWmaxとし, 運動で用いるWmaxの65%に相当する強度を算出した.

4. 糖質溶液

糖質溶液は, 30gのブドウ糖 (扶桑薬品工業株式会社) を500mLの飲料水 (北海道天然水ナチュラルミネラルウォーター, 黒松内銘水株式会社) に溶解したものとした. この分量を運動開始30分前に摂取することで運動誘発性低血糖が生じることが確認されている (八田ほか, 2021, p.248). 溶液の摂取時間は3分以内とした. なお, 溶液の温度は水分摂取条件で $17.0 \pm 3.4^{\circ}\text{C}$, 水分制限条件で $17.1 \pm 2.3^{\circ}\text{C}$ であった.

5. 自転車漕ぎ運動

被験者は自転車エルゴメーターを用いた自転車漕ぎ運動を65% Wmax相当強度の負荷において回転数60rpmを維持し, 30分間実施した.

6. 測定項目

尿量は, 採尿カップで採尿後, デジタルスケール (KD-192, 株式会社タニタ, 最小表示0.1g) で計測した. その後, 水分摂取不足の状況を簡便に把握することので

きる尿比重（吉野ほか，2018，p.91）をポケット尿比重屈折計（PAL-09S，株式会社アタゴ）で測定した．本研究ではArmstrong et al. (2010, p.150)，吉野ほか（2018，p.91）に倣い，尿比重が1.030以上を脱水状態と判定した．

体重はインピーダンス式体重体組成計（BC-622，株式会社タニタ，最小表示50g）を用いて測定した．正味の体重減少率の指標として，水分摂取条件の体重に対する水分制限条件の体重の比率（％） $[(\text{水分制限条件の体重}-\text{水分摂取条件の体重})/\text{水分摂取条件の体重}\times 100]$ を算出した．

血糖値はグルテストNeoスーパー（GT-1820，株式会社三和化学研究所）を用いて，指先血より測定した．血糖値が72mg/dL未満を低血糖と判定した（Kondo et al., 2019, p.169）．

また，血糖値動態に関わるホルモンである血中のインスリン濃度の測定のために看護師が肘正中皮下静脈より採血を行った．血液は分析方法に従い，血清分離剤入り真空採血管に計5mL採取した．1回の実験で肘正中皮下静脈からの採血は血清分離剤入り真空採血管に3度行われたため，総採血量は15mLであった．なお，採取された血液の分析は外注依頼（札幌臨床検査センター株式会社）した．

7. 統計解析

本研究の結果は，平均値 $\pm$ 標準偏差で示した．血糖値および血中インスリン濃度の経時変化における条件間の比較は重複測定の二元配置分散分析（摂取条件 $\times$ 測定時点）を用い，交互作用の有無を確認した．データに正規性の認められなかった尿量および尿比重の条件間の比較は，ウィルコクソン符号順位和検定を用いて行った．また，データに正規性および等分散が認められた体重の条件間の比較は，対応のあるt検定を用いて行った．すべての統計解析は，統計ソフトエクセル統計Statcel3（オーエムエス出版）を使用し，有意水準は $P < 0.05$ で判定した．

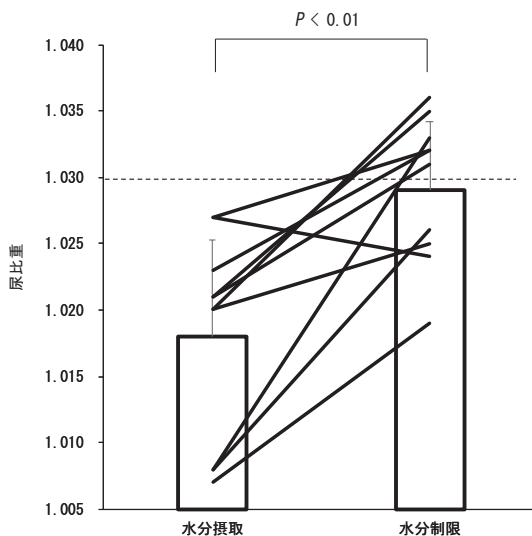


図2 水分摂取条件および水分制限条件における尿比重の比較．破線は脱水状態の基準値（1.030以上）

Ⅲ. 結 果

1. 尿量および尿比重

尿量は，水分制限条件で 63.8 ± 50.9 g，水分摂取条件で 63.9 ± 56.7 gと条件間に有意な差は認められなかった（ $P = 0.88$ ）．尿比重の条件間の比較を図2に示した．水分制限条件の尿比重（ 1.029 ± 0.005 ）は，脱水状態の基準値となる1.030以上ではなかったものの，水分摂取条件（ 1.018 ± 0.007 ）よりも有意に高値を示した（ $P < 0.01$ ）．また，被験者10名中6名で脱水状態の基準値である1.030を上回り，9名で水分制限条件が水分摂取条件よりも高い値となった（図2）．

2. 体重

体重は，水分制限条件で 65.9 ± 7.5 kg，水分摂取条件で 66.3 ± 7.4 kgであり，条件間において有意な差は認められなかった（ $P = 0.13$ ）．水分制限条件と水分摂取条件との差は， -0.4 ± 0.8 kg（範囲： $-1.6 - +0.9$ kg）であった．水分摂取条件の体重に対する水分制限条件の体重の比率は， $-0.7 \pm 1.2\%$ （範囲： $-2.5 - +1.2\%$ ）であった．また，脱水状態が体重に及ぼす影響を明確にするために，尿比重が脱水の基準値である1.030を上回った6名のみの結果について検討したところ，水分制限条件で 63.8 ± 7.8 kg，水分摂取条件で 63.4 ± 7.6 kgであり，条件間において有意な差は認められなかった（ $P = 0.23$ ）．水分制限条件と水分摂取条件との差は， -0.4 ± 0.7 kg（範囲： $-1.6 - +0.5$ kg）であった．また，水分摂取条件の体重に対する水分制限条件の体重の比率は， $-0.6 \pm 1.2\%$ （範囲： $-2.5 - +0.8\%$ ）であった．

3. 血糖値および血中インスリン濃度

血糖値の経時変化を図3に，水分摂取条件，水分制限条件における各被験者の血糖値の最高値および最低値を図4-A，Bに示した．血糖値の経時変化は条件間に有

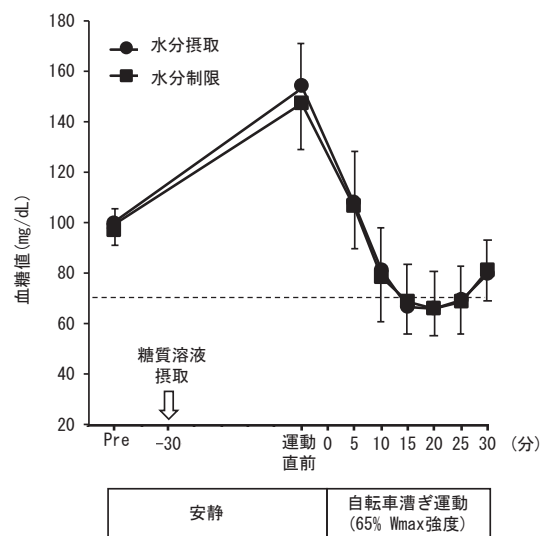


図3 水分摂取条件および水分制限条件における血糖値の経時変化の比較．破線は低血糖の基準値（72mg/dL以下）

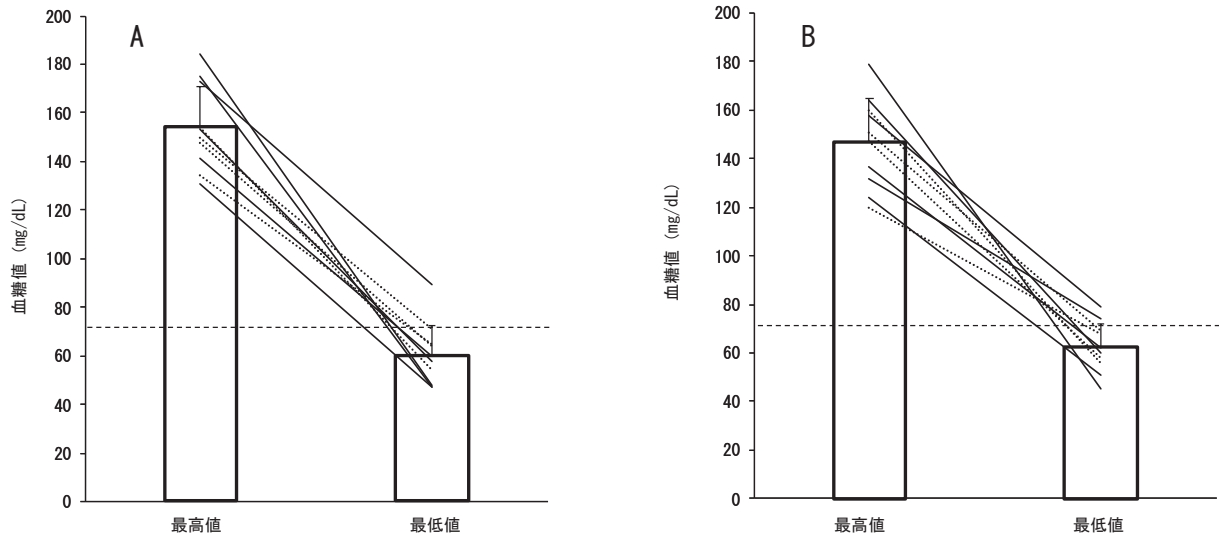


図4 水分摂取条件 (A) および水分制限条件 (B) における血糖値の最高値および最低値 (棒グラフ: 平均値, 折れ線グラフ: 各被験者の個人変動, 実線は尿比重が脱水の基準値である1.030を上回った6名, 点線は上回らなかった4名). 破線は低血糖の基準値 (72mg/dL)

意な交互作用は認められなかった ($F = 0.25$, $P = 0.97$). 血糖値は両条件ともに運動直前に最高値 (水分摂取条件: 154.3 ± 16.9 mg/dL, 水分制限条件: 147.2 ± 17.9 mg/dL) に到達した後, 運動開始に伴い低下し, 運動開始15–25分後において低血糖の基準値である72mg/dLを下回った (図3, 水分摂取条件: 66.1 ± 14.6 mg/dL– 69.6 ± 13.6 mg/dL, 水分制限条件: 65.9 ± 10.9 mg/dL– 69.1 ± 13.1 mg/dL). 血糖値の最低値は, 水分摂取条件 (60.3 ± 12.3 mg/dL) で被験者10名中9名が低血糖の基準値を下回り (図4-A), 水分制限条件 (62.2 ± 9.9 mg/dL) で8名が低血糖の基準値を下回った (図4-B). 尿比重が脱水の基準値である1.030を上回った6名のみで検討しても, 血糖値の経時変化に有意な交互作用は認められず ($F = 0.30$, $P = 0.95$), 血糖値が低血糖の基準値を下回った時間帯も同じであった. また, 血糖値の最低値は水分摂取条件 (58.2 ± 14.8 mg/dL) で被験者6名中5名が低血糖の基準値を下回り (図4-A, 実線), 水分制限条件 (61.8 ± 11.9 mg/dL) で4名が低血糖の基準値を下回った (図4-B, 実線).

血中インスリン濃度の経時変化を図5に示した. 血中インスリン濃度も運動直前に最高値 (水分摂取条件: 58.0 ± 20.8 μ IU/mL, 水分制限条件: 45.4 ± 21.7 μ IU/mL) に到達した後, 運動後に安静時レベルまで低下した. 血糖値同様, 条件間に有意な交互作用は認められず (図5, $F = 1.61$, $P = 0.21$), 尿比重が脱水の基準値である1.030を上回った6名のみで検討しても同様であった ($F = 0.92$, $P = 0.42$).

IV. 考 察

尿比重により観察した本研究の被験者の水分制限条件における体水分の状況は, 水分摂取条件に比較し, 不足した状態であった. 尿比重は水分制限条件 ($1.029 \pm$

0.005) が水分摂取条件 (1.018 ± 0.007) と比較して有意に高値を示した (図2). また, 水分制限条件においてのみ, 6名の被験者が脱水状態の基準値 (1.030) を上回った. 水分制限条件において脱水の基準値を上回らなかった被験者4名のうち3名の尿比重が水分摂取条件の尿比重よりも高値を示した. さらに, 水分制限条件の尿比重 (1.024) が水分摂取条件の尿比重 (1.027) よりも低値であった1名の被験者の水分制限条件における尿比重も, 比較的高い値であった (図2).

水分制限条件では前日に水分を制限し, 尿比重の結果からみた体水分の状況が水分摂取条件よりも不足した状態であっても運動開始30分前の30g/500mLの糖質溶液の摂取によって, 運動直前に血糖値および血中インスリ

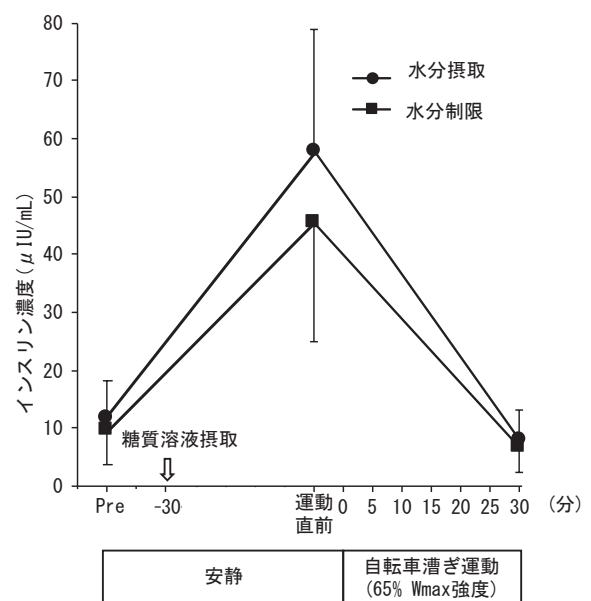


図5 水分摂取条件および水分制限条件におけるインスリン濃度の経時変化の比較

ン濃度が上昇し、運動開始15–25分に運動誘発性低血糖が生じることが明らかとなった。この結果は、尿比重が脱水の基準値である1.030を上回った6名のみの検討でも同様であった。このことから、前日の水分摂取の状況ならびに脱水の有無にかかわらず、運動前に糖質溶液を摂取して運動を開始する場合には、運動開始30分前の30g/500mLの糖質溶液摂取に伴う運動誘発性低血糖の発生には注意しなければならないことが示唆される。本研究における水分制限条件は尿比重の結果からみれば水分摂取条件よりも体水分が不足しており、脱水状態と判定される被験者も6名いたことから、脱水状態において胃排出速度が低下した先行研究 (Neufer et al., 1989, p.436; Rehrer et al., 1990, p.792–793; van Nieuwenhoven et al., 2000, p.581–582) と同様に、糖質溶液摂取後の胃排出速度が低下し、血糖値および血中インスリン濃度の上昇が抑えられ、運動誘発性低血糖が生じないか、あるいはその程度が小さくなると予想した。しかしながら、水分制限条件における血糖値および血中インスリン濃度の推移は水分摂取条件との間で相違が認められなかった (図3)。また、血糖値の最低値が低血糖の基準値 (72mg/dL) を下回った被験者数は、水分制限条件で8名、水分摂取条件で9名とほぼ同数であり (図4-A, B), 尿比重が脱水の基準値である1.030を上回った6名のみの検討しても水分制限条件で4名、水分摂取条件で5名と同程度であった (図4-A, Bの実線)。そして、血糖値も両条件において運動開始15分から25分にかけて低血糖の基準値を下回った (図3)。

両条件において、運動開始30分前の30g/500mLの糖質溶液摂取後の運動直前に血糖値および血中インスリン濃度が上昇し、運動開始後15–25分に運動誘発性低血糖が生じた。糖質溶液摂取後、血糖値および血中インスリン濃度は、20–40分で最高値に達する。血中のインスリン濃度が上昇すると、すぐにグルコーストランスポーター4 (glucose transporter type 4: GLUT4) が筋膜で動員され、筋内への糖取り込みを開始する。さらに、血中インスリン濃度が高い状態で運動が始まるとGLUT4の独立したカルシウム依存性プールを介して筋への糖取り込みが増大する。その結果、血糖値が急激に低下し、低血糖に陥るとされる (Jeukendrup and Killer, 2010, p.20)。本研究でも両条件において運動直前に血糖値および血中インスリン濃度がほぼ同程度上昇したことから、運動誘発性低血糖が生じたと考えられる。

他方、仮説に反し、水分制限条件においても水分摂取条件と同様に運動開始30分前の30g/500mLの糖質溶液の摂取によって運動誘発性低血糖が生じた要因として、水分制限条件における脱水の程度が小さかったことが関与しているかもしれない。脱水状態において溶液の胃排出速度が低下したことを明らかにした先行研究 (Neufer et al., 1989, p.436; Rehrer et al., 1990, p.792–793; van Nieuwenhoven et al., 2000, p.581–582) におけ

る体重減少率は3.7–5%であった。Neufer et al. (1989, p.436) は、暑熱順化前に常温環境 (18℃)、温熱環境 (35℃) および高温環境 (49℃) の3種の温度環境で最大酸素摂取量の50%以下で15分間のトレッドミル走運動を3セット行ったところ、18℃に比べて49℃の環境において水の胃排出速度が低下したことを明らかにした。さらに、暑熱順化後に49℃の環境における軽運動で体重の5%脱水させた後に35℃の環境において上記と同様のトレッドミル走運動を行ったところ、水の胃排出速度が低下したことも明らかにしている。また、Rehrer et al. (1990, p.792–793) は、100℃のサウナあるいは30℃の環境における最大走速度の60%のトレッドミル走運動によって体重の3.7%脱水させた2時間後に同じ走運動中あるいは安静時における糖質溶液の胃排出が遅延したことを示した。さらに、van Nieuwenhoven et al. (2000, p.581–582) は、サウナで体重の2.9%脱水させた1時間後に70% Wmax強度で1.5時間の自転車漕ぎ運動を実施させたところ、運動終了時には体重の4.3%の脱水が生じ、運動中の糖質電解質溶液の胃排出時間が遅延したことを明らかにしている。一方で、Ryan et al. (1998, p.1585) は、実験の12–16時間前に45℃の環境においてトレッドミルを用いた間欠的な軽運動によって体重の2.7%脱水させた後に最大酸素摂取量の65%強度で85分間の自転車漕ぎ運動を行っても水の胃排出速度の低下は認めていない。本研究における水分制限条件と水分摂取条件との実験室来室時の体重の差は、 $-0.4 \pm 0.8\text{kg}$ (範囲: $-1.6 - +0.9\text{kg}$) であり、水分摂取条件の体重に対する水分制限条件の体重の比率は、平均で $-0.7 \pm 1.2\%$ (範囲: $-2.5 - +1.2\%$) であった。また、尿比重が脱水の基準値である1.030を上回った6名のみの検討しても、水分制限条件と水分摂取条件との実験室来室時の体重の差は、平均で $-0.4 \pm 0.7\text{kg}$ (範囲: $-1.6 - +0.5\text{kg}$) であり、水分摂取条件の体重に対する水分制限条件の体重の比率は、平均で $-0.6 \pm 1.2\%$ (範囲: $-2.5 - +0.8\%$) であった。この体重減少率は、脱水の影響のみを反映するものとはいえないが、水分制限条件における体重減少率が僅少であったことを示唆する結果といえる。また、実験室来室時の尿量においても水分制限条件と水分摂取条件との間で相違は認められなかった。つまり、尿比重から判定して水分制限条件の体水分が水分摂取条件よりも不足した状態や脱水の状態と考えられても体重減少率および尿量からみた脱水の程度が小さかったことから、Ryan et al. (1998, p.1585) 同様、本研究の水分制限条件と水分摂取条件における糖質溶液摂取後の胃排出速度にも相違がなかった可能性が考えられる。今後は、本研究と同様の実験手順において糖質溶液の胃排出速度を実際に測定することで、水分制限条件と水分摂取条件の間で運動中の血糖値および血中インスリン濃度の変動に相違がなかった要因を特定することができると考えられる。また、水分制限条件では、食事以外の水分を制限したものの、

実際にどの程度まで水分を制限できたかを正確には把握できていない。よって、今後は前日からの水分摂取量を厳格に管理し、体重体組成計で体重、体水分量、筋肉量などの体水分量に関わる測定を行うとともに、先行研究 (Neufer et al., 1989, p.436; Rehrer et al., 1990, p.792-793; van Nieuwenhoven et al., 2000, p.581-582) のように実験当日に高温環境での軽運動やサウナを利用するなどして胃排出の遅延が確認されている体重減少率3.7%以上の過度な脱水状態とした場合の検討も必要であろう。

V. 結 論

本研究の目的は、前日に水分摂取を制限した状態での運動前の糖質溶液摂取が運動誘発性低血糖に及ぼす影響について明らかにすることであった。本研究の結果、尿比重の値から水分制限条件の体水分は水分摂取条件よりも不足した状態か脱水状態であったといえる。しかしながら、血糖値の変動に条件間で相違は認められず、両条件において運動開始15-25分において低血糖の基準値を下回った。よって、運動前日の水分摂取制限によって運動当日に尿比重からみた体水分の状況が水分を摂取した場合よりも不足した状態か脱水状態であっても、運動開始30分前の30g/500mLの糖質溶液摂取によって運動誘発性低血糖が生じることが示唆される。

VI. 参考文献

Armstrong L. E., Pumerantz A. C., Fiala K. A., Roti M. W., Kavouras S. A., Casa D. J., and Maresh C. M. (2010) Human hydration indices: acute and longitudinal reference values. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, 20: 145-153.

Burke L. M., Hawley J. A., Wong S. H., and Jeukendrup A. E. (2011) Carbohydrates for training and competition. *J. Sports Sci.*, 29 (suppl 1) : S17-S27.

Costill D. L., Coyle E., Dalsky G., Evans W., Fink W., and Hoopes D. (1977) Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.*, 43: 695-699.

Foster C., Costill D. L., and Fink W. J. (1979) Effects of preexercise feedings on endurance performance. *Med. Sci. Sports*, 11: 1-5.

Goulet E. D. (2012) Effect of exercise-induced dehydration on endurance performance: evaluating the impact of exercise protocols on outcomes using a meta-analytic procedure. *Br. J. Sports Med.*, 47: 679-686.

八田早那子, 藤江衣織, 東郷将成, 柴田啓介, 木村宣哉, 瀧澤一騎, 神林勲, 山口太一 (2021) 朝食摂取3時

間後における運動前の糖質摂取量の相違が運動誘発性低血糖に及ぼす影響. *体力科学*, 70 : 247-256.

Jéquier E., and Constant F. (2010) Water as an essential nutrient: the physiological basis of hydration. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 64: 115-123.

Jeukendrup A. E., and Killer S. C. (2010) The myths surrounding pre-exercise carbohydrate feeding. *Ann. Nutr. Metab.*, 57 (suppl 2) : 18-25.

Kondo S., Tanisawa K., Suzuki K., Terada S., and Higuchi M. (2019) Preexercise carbohydrate ingestion and transient hypoglycemia: Fasting vs. feeding. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 51: 168-173.

Neufer P. D., Young A. J., and Sawka M. N. (1989) Gastric emptying during exercise: effects of heat stress and hypohydration. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 58: 433-439.

Rehrer N. J., Beckers E. J., Brouns F., Ten hoor F., and Saris W. H. M. (1990) Effects of dehydration on gastric emptying and gastrointestinal distress while running. *Med. Sci. Sports Med.*, 22: 790-795.

Ryan A. J., Lambert G. P., Shi X., Chang R. T., Summers R. W., and Gisolfi C. V. (1998) Effect of hypohydration on gastric emptying and intestinal absorption during exercise. *J. Appl. Physiol.* 84: 1581-1588.

佐藤未来, 山口太一, 東郷将成, 保科圭汰, 八田早那子, 藤江衣織, 瀧澤一騎, 神林勲 (2019) 月経周期が漸増多段階運動負荷試験に伴う脂質酸化量および全身持久力に与える影響. *北海道体育学研究*, 54 : 73-79.

Sawka M. N., Cheuvront S. N., and Carter R 3rd. (2005) Human water needs. *Nutr. Rev.*, 63: S30-S39.

van Nieuwenhoven M. A., Vriens B. E., Brummer R. J., and Brouns F. (2000) Effect of dehydration on gastrointestinal function at rest and during exercise in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 83: 578-584.

吉野昌恵, 袴田智子, 元永恵子, 石毛勇介 (2018) パラアルペンスキーナショナルチームに対する栄養サポート-脱水予防と体重管理を中心としたコンディショニングに関する一考察-. *Sports Sci. in Elite Athlete Support*, 3 : 79-92.

〔令和4年4月6日 受付〕
〔令和4年8月22日 受理〕

