

〔原 著〕

アイ斯拉リーの組成の違いが持久性運動能力に及ぼす影響

鬼塚 純玲¹・鄭 鑫焱²・長谷川 博³

The effects of the difference in composition of ice slurry on endurance exercise capacity

Sumire ONITSUKA, Xinyan ZHENG, Hiroshi HASEGAWA

Abstract

Ice slurries are icy mixtures that are consumed as a drink, and many studies have reported that ingestion before exercise improves exercise performance. It is thought that when sports drinks are ingested in the form of ice slurry, carbohydrate and electrolyte intake can be achieved in addition to water intake and body cooling, thereby a greater ergogenic effect can be exerted. However, there are no studies that have investigated the difference in the composition of ice slurry. Therefore, the purpose of this study was to investigate the effect of the difference in composition of ice slurry on endurance exercise capacity in a warm environment. Eight male participants ingested 7.5 g/kg of thermoneutral sports drink (CON), sugar-free syrup-flavored ice slurry (WS) or sports drink ice slurry (SS) in 30 min. Then, they exercised at 65% of the maximal oxygen uptake until volitional fatigue in a warm environment. Exercise duration, rectal temperature, forehead skin temperature, average skin temperature, heart rate, blood sample, body weight, urine specific gravity, rating of perceived exertion, and thermal sensation were measured. Mean changes in rectal temperature and forehead skin temperature was significantly increased, and the thermal sensation before the exercise was significantly decreased. However, no difference was observed in the duration of exercise, blood sodium concentration, and blood glucose level. It is considered that the exercise duration was shorter than expected because the exercise intensity we used was too high for participant in this study, and no improvement in exercise capacity or difference due to composition was observed by ingestion of ice slurry. In the future, it will be possible to clarify the effects of differences in composition by reexamining using exercise conditions that improve athletic performance with ice slurry.

Key words:

アイ斯拉リー ice slurry, 組成 composition,
持久性運動能力 endurance exercise capacity

¹ 広島文化学園大学人間健康学部 (Hiroshima Bunka Gakuen University, Faculty of Human Health Science)

² 上海体育学院 (Shanghai University of Sport)

³ 広島大学大学院人間社会科学部研究科 (Graduate School of Humanities and Social Sciences of Hiroshima University)

【緒言】

近年、いくつかの研究によってアイススラリーの摂取による運動能力の改善が明らかにされている。Siegel et al. (2010) は、温暖環境下における自転車運動前にアイススラリー（ -1°C ）または冷水（ 4°C ）を 7.5g/kg 摂取すると、アイススラリーの摂取によって核心温が有意に低下し、疲労困憊に至るまでの走行時間が19%向上したと報告した。また、Yeo et al. (2012) は、温暖環境下の屋外における10kmタイムトライアル走前に 8g/kg のアイススラリー（ -1.4°C ）または温水（ 30.9°C ）を摂取させると、アイススラリー条件において核心温が有意に低下し、完走時間が15秒改善したと報告した。

アイススラリーの摂取には身体冷却によるエルゴジェニック効果とともに水分補給としての役割も期待される。水分補給に関してはこれまで数多くの研究がなされており、食塩0.1～0.2%、糖質4～8%を含んだ飲料（いわゆるスポーツ飲料）が運動能力の維持および熱中症予防に適していることが示されている（川原ら, 2013）。したがって、スポーツ飲料をアイススラリーの状態で摂取すると、身体冷却と同時に効果的に水分補給ができ、さらに運動能力が改善すると考えられる。しかしながら、先行研究ではその組成については着目されておらず、組成の違いが運動能力に及ぼす影響についてはまだ明らかになっていない。

そこで本研究では、アイススラリーの組成の違いが持久性運動能力に及ぼす影響について検討することを目的とした。

【方法】

被験者は体育会トライアスロン部に所属する運動鍛錬者8名（年齢： 22.8 ± 1.28 歳、身長： $1.73 \pm 0.03\text{m}$ 、体重： $60.1 \pm 4.15\text{kg}$ 、BMI： 20.1 ± 1.28 、最大酸素摂取量（ $\text{VO}_{2\text{max}}$ ）： $57.9 \pm 6.9\text{ml/kg/min}$ ）であった。実験を行うにあたり、被験者に実験の目的および危険性についての十分な説明

を行い、実験の被験者となることの同意を得た。実験は、広島大学大学院総合科学研究科倫理委員会の承認を得て行った。

本実験に先立ち、 $\text{VO}_{2\text{max}}$ の測定とファミリアライゼーションを行った。 $\text{VO}_{2\text{max}}$ の測定では、常温環境下において2分毎に20Wずつ運動負荷を増加させる漸増負荷テストを自転車エルゴメーターを用いて行った。

すべての実験は室温 30°C 、湿度80%に設定した環境下で自転車エルゴメーター（COMBI社製、POWERMAX-VII）を使用して行った。実験当日の体調を統一するため、被験者には実験前日から激しい運動およびアルコール、カフェインの摂取を控え、実験開始の3時間前までに食事を済ませるように依頼した。また、実験開始時の水和状態を統一するために、実験開始の2時間前に水500mlを摂取させた。各試行は4日以上の間隔をあげ、サーカディアンリズムを考慮して各被験者につき同一の時間帯で実験を行った。実験は無作為化クロスオーバーデザインで、 37°C のスポーツ飲料（大塚製薬、ポカリスエット、糖質6.7%）を摂取するCON条件、無糖シロップ（守山乳業株式会社、ノンカロリーシロップ、糖質0%）で風味づけしたアイススラリーを摂取するWS条件、スポーツ飲料で作成したアイススラリーを摂取するSS条件の3条件を行った。

被験者は、実験準備室に到着後、血液サンプルを採取した。その後、尿比重および全身体重を測定し、直腸温プローブの挿入を終えると、皮膚温プローブおよび心拍数モニターを装着した。実験室に移動し、安静時の測定を行った後、予備実験で測定した最大酸素摂取量の30%（ $30\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ）で5分間のウォーミングアップを行った。その後、飲料摂取期間として30分間の安静期間を設けた。被験者は飲料摂取期間中、座位安静状態で5分毎に 1.5g/kg ずつ各条件の飲料を摂取した。なお、 37°C のスポーツ飲料の作成には恒温槽（AS ONE社製、THERMAL ROBO TR-2AR）を用い、アイススラリーはスラリーマシン（Margaritaville社製、DM1000）を用いて作成した。飲料摂取

期間が終了すると、65% VO_{2max}, 90rpmの運動強度で疲労困憊に至るまでの運動を開始した。疲労困憊の定義は、心拍数が200拍/分または直腸温が39.5℃に達するか、言葉による励ましを受けても90rpmを維持できなくなったときとした。運動継続時間や各指標についての被験者へのフィードバックは一切行わなかった。

生理的指標として直腸温、平均皮膚温、心拍数、尿比重、全裸体重、血液サンプルを測定した。直腸温は直腸温測定用潤滑剤ヌルゼリー (Teimoku Medix社製) をサーミスタープローブ用ゴムカバー (日機装サーモ株式会社製) を装着したサーミスタープローブ (日機装サーモ株式会社製) の先に塗り、直腸内に10~12cm挿入して測定した。皮膚温は胸部、上腕部、大腿部、前額部それぞれにサーミスタープローブをテープで貼りつけて測定した。直腸温及び身体各部位の皮膚温はデータ収集型温度計 (Gram Corporation社製, LT-8A) を用いて5分毎に計測した。また平均皮膚温はRoberts (1977) の式を用いて算出した。算出式は以下のとおりである。

$$T_{sk} = 0.43 \times T_1 + 0.25 \times T_2 + 0.32 \times T_3$$

(Tsk: 平均皮膚温, T₁: 胸部温度, T₂: 上腕部温度, T₃: 大腿部温度)

心拍数はハートレートモニター (POLAR社製, RS800CX) を用いて実験中5分毎に測定した。

体重は、体重計 (A&D社製, UC-300) を用いて裸体で、また尿比重は尿比重計 (Atago社製, デジタル尿比重屈折計 UG-D) を用いて実験前後に測定した。

主観的指標として、温熱感覚 (Thermal Sensation: TS) をGagge (1969) のスケールを用いて実験中5分毎に、主観的運動強度 (Rating of Perceived exertion: RPE) をBorg (1973) のスケールを用いて運動中5分毎に測定した。

血液サンプルは、3種類の採血管 (SEKISUI社製, インセパック II-D) に看護師が血液を採取し、その後、業者 (福山臨床検査センター) に分析を依頼することで実験前後の血中Na濃度、血糖値、ヘモグロビン値、ヘマトクリット値を測定し、血

漿量、血液量を算出した。算出方法は以下の式を用いた (Dill et al. 1974)。実験前の血液量は100%として実験後と比較検討した。

$$BVA = BVB \left(\frac{HbB}{HbA} \right)$$

$$CVA = BVA \left(\frac{HctA}{HctB} \right)$$

$$PVA = BVA - CVA$$

$$\Delta BV (\%) = 100 (BVA - BVB) / BVB$$

$$\Delta PV (\%) = 100 (PVA - PVB) / PVB$$

(BV: 血液量, PV: 血漿量, CV: 赤血球量, A: 運動後, B: 運動前, BVB = 100)

実験結果はすべて平均値±標準偏差で示した。体重および尿比重、運動パフォーマンス、血液サンプルは1要因 (条件) の繰り返しのある分散分析を用い、直腸温、皮膚温、心拍数、温熱感覚、主観的運動強度は、2要因 (条件×時間) の繰り返しのある分散分析を用いて、SPSS (Ver.17.0) より分析した。有意差が認められた場合には、体重および、尿比重、血液サンプルは対応のあるT検定を、それ以外の指標はTurkeyのHSD検定により、各群間の差の検定を行った。有意水準は5%未満とした。本研究では、ウォーミングアップ開始時の値をベースラインとした。

【結果】

実験時の環境条件は、CON条件で室温30.8±1.1℃、湿度70.3±10.0%、WS条件で室温30.9±0.8℃、湿度67.7±9.7%、ICE条件で室温30.8±1.3℃、湿度71.8±9.4%であり、条件間に有意な差は観察されず、どの条件においても同様な環境条件で実験が行われた。

各条件における運動継続時間を図1-A、各条件における被験者ごとの運動継続時間を図1-Bに示した。運動継続時間は、CON条件で38.8±9.0分、WS条件で36.2±6.5分、SS条件で37.2±8.3分であり、条件間で有意な差は観察されなかった。

直腸温の継時的変化を図2-A、ベースラインから運動開始時までの直腸温変化量を図2-Bに示した。直腸温は、CON条件およびSS条件において運動20分から回復まで、WS条件において運動

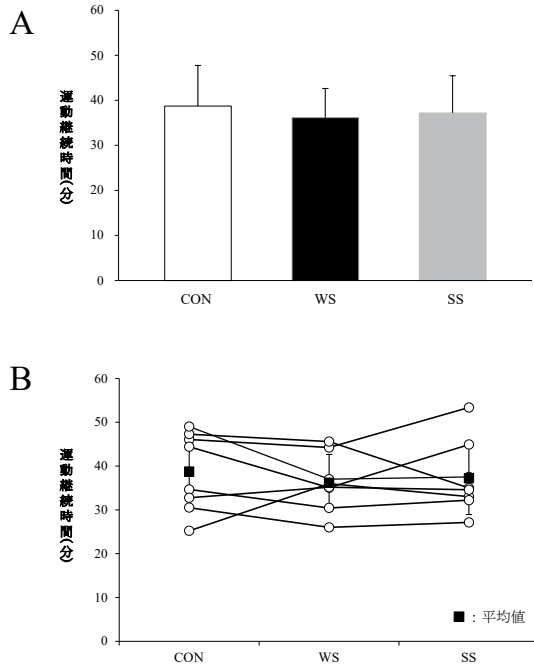


図1 運動継続時間 平均値 (A) および各被験者の値 (B)
値は平均値±標準偏差 (n=8) で示している。

25分から回復までベースラインと比較して有意に上昇し ($p < 0.001$)。各条件における疲労困憊時の直腸温はCON条件で $38.97 \pm 0.73^\circ\text{C}$ 、WS条件で $38.84 \pm 0.38^\circ\text{C}$ 、SS条件で $39.12 \pm 0.49^\circ\text{C}$ であった。WS条件においてのみ、運動開始時における直腸温がCON条件と比較して有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。運動開始時における直腸温変化量は、WS条件およびSS条件でCON条件と比較して有意に大きい値を示した ($p < 0.001$)。前額部皮膚温の継時的変化を図3-A、ベースラインから運動開始時までの前額部皮膚温変化量を図3-Bに示した。前額部皮膚温は、各条件において運動10分から回復まで、ベースラインと比較して有意に上昇したが ($p < 0.05$)、条件間で有意な差は見られなかった。しかしながら、運動開始時における前額部皮膚温変化量は、WS条件およびSS条件でCON条件と比較して有意に大きい値を示した (WS条件： $p < 0.05$ 、SS条件： $p < 0.01$)。平均皮膚温は、各条件において運動10分から回復まで有意に上昇した ($p < 0.01$)。しかしながら、条件間における差は観察されなかった。

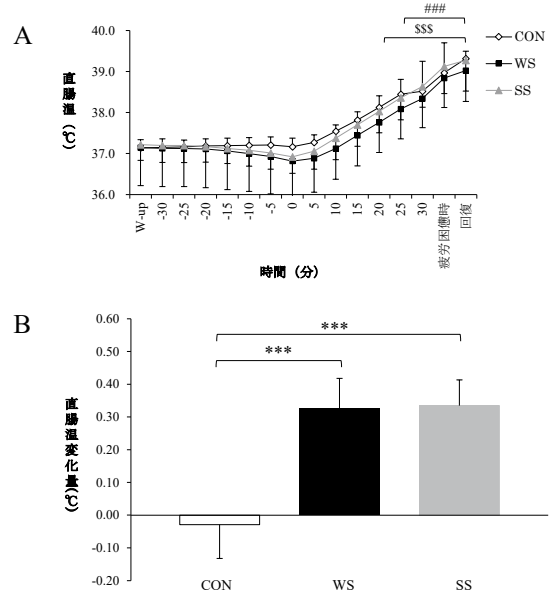


図2 直腸温の継時的変化 (A) および直腸温変化量 (B)
値は平均値±標準偏差 (n=8) で示している。
###はCON条件およびSS条件、\$\$\$はWS条件におけるベースラインとの有意差 ($p < 0.001$)、***はCON条件との有意差を示す ($p < 0.001$)。

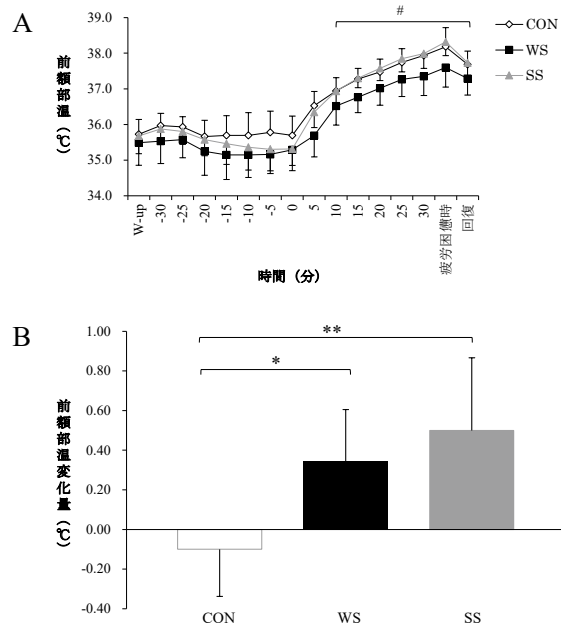


図3 前額部温の継時的変化 (A) および前額部温変化量 (B)
値は平均値±標準偏差 (n=8) で示している。
#は各条件におけるベースラインとの有意差 ($p < 0.05$)、*、** はCON条件との有意差を示す (それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.01$)。

心拍数は、どの条件においてもウォーミングアップ後の-30分および運動5分から回復まで有意に高い値を示した ($p < 0.001$)。しかしながら、条件間で有意な差は観察されなかった。

実験前後における体重および尿比重、血液サンプルの変化を表1に示した。全裸体重は、実験前がCON条件： $63.26 \pm 5.12\text{kg}$ 、WS条件： $62.96 \pm 5.12\text{kg}$ 、SS条件： $62.84 \pm 5.29\text{kg}$ であったのに対し、実験後はCON条件： $62.07 \pm 5.19\text{kg}$ 、WS条件： $61.99 \pm 5.06\text{kg}$ 、SS条件： $61.81 \pm 5.29\text{kg}$ であり、実験前後で有意に減少したが ($p < 0.001$)、条件間で差は観察されなかった。尿比重においては、SS条件で実験後に有意に増加し ($p < 0.05$)、WS条件で実験後に増加する傾向が見られたが ($p = 0.05$)、条件間で差は観察されなかった。尿比重はどの条件においても実験後に脱水状態とされる値には達していなかったが、体重減少量はCON条件で $2.3 \pm 0.8\%$ 、WS条件で $2.1 \pm 0.8\%$ 、SS条件で $2.2 \pm 0.6\%$ と過度な脱水とされる値 (ACSM, 2007) を示した。血中Na濃度は、実験前後および条件間で有意な差は観察されなかった。血糖値はSS条件において実験後に有意に増加し ($p < 0.05$)、CON条件において実験後に増加する傾向が見られたが ($p = 0.09$)、条件間で有意な差は観察されなかった。血液量は、CON条件およびSS条件において実験後に有意に減少したが ($p < 0.01$)、条件間で差は観察されなかった。血漿量は、CON条件およびSS条件に

おいて実験後に有意に減少したが ($p < 0.01$)、条件間に有意な差は観察されなかった。

主観的運動強度 (RPE) の継時的変化を図4-A、温熱感覚 (TS) の継時的変化を図4-Bに示した。RPEは、WS条件の運動30分においてベースラインと比較して有意に上昇したが、条件間においては有意な差は観察されなかった。TSは、各条件において運動10分から回復まで有意に上

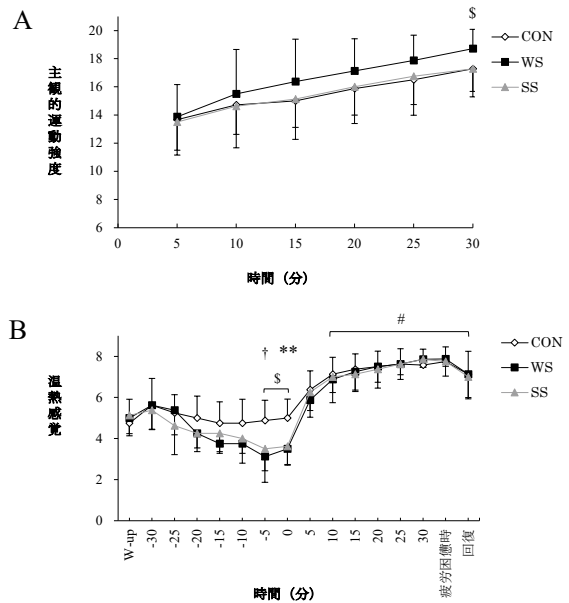


図4 主観的運動強度 (A) および温熱感覚 (B) の継時的変化

値は平均値±標準偏差 (n=8) で示している。
 #は各条件におけるベースラインとの有意差 ($p < 0.05$)、\$はCON vs WS ($p < 0.05$)、**はCON vs SS ($p < 0.01$)、†はCON vs SSにおける統計的傾向 ($p < 0.1$) を示す。

表1 水和状態および血液サンプルの変化

	CON		WS		SS	
	運動前	運動後	運動前	運動後	運動前	運動後
体重 (kg)	63.26 ± 5.12	$62.07 \pm 5.19^{***}$	62.96 ± 5.12	$61.99 \pm 5.06^{***}$	62.84 ± 5.33	$61.81 \pm 5.29^{***}$
尿比重 (g/ml)	1.005 ± 0.005	1.009 ± 0.006	1.012 ± 0.009	1.014 ± 0.008 †	1.011 ± 0.008	$1.015 \pm 0.008^*$
血中Na濃度 (mEq/L)	141.9 ± 1.6	142.3 ± 1.3	141.0 ± 0.8	141.3 ± 1.7	141.0 ± 1.7	$141. \pm 2.2$
血糖値 (mg/dl)	86.7 ± 8.9	$91.4 \pm 12.3^\dagger$	84.9 ± 9.6	91.9 ± 12.2	78.3 ± 14.1	$91.3 \pm 5.7^*$
血液量 (%)	100	$96.4 \pm 2.2^{**}$	100	97.0 ± 5.5	100	$95.1 \pm 3.6^{**}$
血漿量 (%)	55.1 ± 1.5	$52.4 \pm 2.4^{**}$	55.3 ± 2.9	52.7 ± 3.7	54.8 ± 1.8	$51.1 \pm 3.5^*$
体重減少量 (%)		2.3 ± 0.8		2.1 ± 0.8		2.2 ± 0.6

値は平均値±標準偏差 (n=8) で示している。

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ は運動前との有意差, †は運動前と比較したときの統計的傾向 ($p < 0.1$) を示す。

昇した ($p < 0.05$)。また、WS条件の-5分と運動開始時、SS条件の運動開始時においてCON条件と比較して有意に低い値を示し ($p < 0.01$)、SS条件の-5分においてCON条件よりも低い値を示す傾向が見られた ($p = 0.05$)。

【考察】

本研究では、アイススラリーの組成の違いが持久性運動能力に及ぼす影響について検討することを目的として、37℃のスポーツ飲料 (CON条件) または糖-電解質を含まないアイススラリー (WS条件)、糖-電解質を含むスポーツ飲料で作成したアイススラリー (SS) の3条件を設定し、調査を行った。その結果、運動能力および血液サンプルにおいては条件間で有意差は観察されなかった。しかしながら、運動開始時における主観的温熱感覚はアイススラリーを摂取した2条件で有意に低下し、直腸温変化量および前額部皮膚温変化量もWS条件およびSS条件で有意に大きな値を示した。

本研究では、7.5g/kgのアイススラリー摂取によって運動開始時における直腸温変化量が有意に大きな値を示したにも関わらず、運動能力に改善が見られなかった。その原因として、運動強度が高すぎたため運動継続時間が想定よりも短かったこと、また運動終了が体温の限界によるものでなく末梢性の要因であったことが考えられる。本研究では、50～60分の運動継続時間を想定して65% VO_{2max} の運動強度で実験を行った。これは、Wegmann et al. (2012) によるプレクーリングとスポーツパフォーマンスに関するレビュー論文において、プレクーリングは長期間の運動で効果が増加する傾向があるが、60分を超えると効果が減少してしまう可能性があることが示唆されていたためである。本研究と同じ運動強度で実験を行ったLee et al. (2008) の研究では、運動継続時間が約53分であり、冷水摂取によるプレクーリングの効果を示している。Lee et al. (2008) の研究と本研究の研究に参加した被験者のトレーニングレベル

に差はなかった (VO_{2max} : Lee et al. = 57.8 ± 5.6 ml/kg/min, 本研究 = 57.9 ± 6.9 ml/kg/min) が、自転車運動のペダル回転数は本研究で90rpm以上とLee et al. (70～90rpm) よりも高く、相対的な運動強度が高かったと考えられる。また、Lee et al. (2008) は運動中にも水分補給をしていたが、本研究では運動中の水分補給は行っておらず、体重減少率もLee et al. (2008) が0.2%前後であるのに対し、本研究では2%を超えている。以上のことから、本研究では危機的限界体温への到達ではなく脚部の疲労と脱水などの末梢性の要因により運動が終了し、またその運動継続時間が短すぎたことから、アイススラリー摂取による直腸温低下の効果が現れなかったと考えられる。実際に、アイススラリーによるエルゴジェニック効果を示したほかの研究と比べて、本研究のアイススラリー条件における運動終了時の直腸温は低かった (Siegel et al., 2010: 39.36 ± 0.41 ℃, 本研究: 39.01 ± 0.46 ℃)。

本研究では、アイススラリーの組成の違いに着目し、その水分補給効果を検討した。しかしながら、血中ナトリウム濃度および血糖値に有意な差は観察されなかった。Sharwood et al. (2002) は、鉄人トライアスロンレース中における体重変化や血清レベルとパフォーマンスについて調査した研究の中で、レース参加者はレース後に平均して5.2%脱水しており、そのうち53%が血清ナトリウム濃度の増加を示したことが報告されている。また、Morgan et al. (2004) は、2時間の自転車運動に伴う脱水によって血清ナトリウムおよび血漿アルドステロン濃度が有意に増加したことを報告している。アルドステロンは腎臓におけるナトリウムの再吸収を促進するホルモンであり、ナトリウムの再吸収の促進を通じて水分の保持にも関与している。以上のことから、脱水はアルドステロンの放出を促進し、腎臓におけるナトリウムの再吸収を促進することで、血清ナトリウム濃度を上昇させると考えられる。しかしながら、本研究では脱水していたにも関わらず血清ナトリウム濃度の上昇は見られなかった。Sharwood et al. (2004) は、脱水による血清ナトリウム濃度の上昇が体重

の5%を超えた群で観察されたことを報告している。本研究における脱水量はいずれの条件においても2%程度であったため、どの条件においても脱水による血清ナトリウム濃度の上昇が観察されなかったと考えられる。今後、本研究のようにスポーツ飲料の摂取によるナトリウムの補給効果を調査する場合は、運動中にも水分補給を行うなど脱水の影響を除く必要があることが示唆された。一方で、Deuster and Singh (1993) は、65% VO_{2max} での2時間の運動時に、水または7%の糖-電解質飲料を運動開始から30分毎に摂取させ、水分補給に対する血漿成分の反応を調査したところ、血清ナトリウム濃度にはわずかな増加しか観察されなかったと報告している。本研究においても、スポーツ飲料を摂取したCON条件、SS条件ではわずかにしか増加しておらず、脱水の影響を取り除いたからといって、条件間に差が現れたか否かについては疑問である。

Arkininstall et al. (2004) およびWeltan et al. (1998) は、運動前における筋グリコーゲン量が代謝に及ぼす影響を調査し、運動継続時間が長くなると運動前の筋グリコーゲン量に関わらず血液中のグルコースの利用量が増加することを示している。また、同様に田畑ら (1989) は、長時間運動中の血糖値の変化が主観的運動強度に与える影響を調査した研究の中で、血糖値は運動開始後60分まで運動前と差が見られなかったことを報告している。したがって、運動継続時間が平均37分であった本研究では、WS条件においても運動によって血糖値が低下しなかったと考えられる。また、血糖値は糖質摂取後30～60分の間に120～150mg/dlまで上昇する (奥および柴田, 2008)。本研究では、SS条件において実験後に有意に上昇し、CON条件において上昇する傾向が見られたが、上昇後の値はCON条件で 91.4 ± 12.3 mg/dl、SS条件で 91.3 ± 5.7 mg/dlと糖質摂取後に観察される値よりもはるかに低かった。したがって、CON条件およびSS条件においても血糖値は上昇しなかったと判断される。本研究では実験後の採血が飲料摂取後30分程度とまだ血糖値の上昇が見られていない時点

だったため、CON条件およびSS条件においても差が観察されなかったと考えられる。

アイススラリーの摂取によって、運動開始時における直腸温変化量はCON条件と比較して有意に大きな値を示した。しかしながら、本研究における直腸温変化量は約0.3℃と冷たい飲料の摂取によるエルゴジェニック効果を示したいくつかの先行研究で観察されたものよりも小さかった (Siegel et al., 2010, Siegel et al., 2012)。Siegel et al. (2012) は、暑熱環境下におけるアイススラリーの摂取と冷水浴によるプレクーリングが運動能力に及ぼす影響を調査した研究の中で、アイススラリーの摂取による直腸温変化量が0.43℃と、彼らの先行研究で観察された0.66℃よりも小さかった原因として環境条件の違いを挙げている。彼らは以前の研究では快適環境下 (～24.5℃) でアイススラリーを摂取させていたのに対し、その後の研究では温暖環境下 (約34℃) で摂取させたため、熱交換率が異なり、環境からより熱を吸収してしまったため、アイススラリーの摂取による直腸温変化量が小さくなったと説明している。本研究においてもアイススラリーの摂取は温暖環境下で行われたため、同様なメカニズムで直腸温変化量が小さくなったと説明できる。加えて、本研究では摂取前にウォーミングアップを行っており、それによって産生された熱を低下させる必要もあったため、さらに直腸温変化量が小さくなったと考えられる。

本研究では、我々の先行研究 (Onitsuka et al., 2015) と同様に、前額部皮膚温の変化量がアイススラリーの摂取によって増大することが観察された。したがって、アイススラリーの摂取は脳温を低下させるが、組成の違いはその変化に影響を及ぼさないことが示唆される。

主観的温熱感覚 (TS) は運動開始時において有意に低下した。本研究においても、直腸温の低下と求心性フィードバック情報の変更が要因であると考えられる。本研究においてもTSが低下した時間と直腸温が低下した時間はほぼ一致しており、直腸温とTSの間に有意な相関が見られる (r

= 0.520, $p < 0.001$) ことから、アイススラリーの摂取による直腸温の低下がTSの低下に寄与していると考えられる。また、本研究においても直腸温の有意な低下が見られない時点でもTSが有意に低下していることから、ヒトにおいても口腔や食道、腹部領域に温度受容器が存在し、アイススラリーの摂取によってそれらが冷感覚を受容することで、体内の温度状態に関する求心性フィードバック情報を実際の直腸温よりも低く伝え、TSが低下したと考えられる。Siegel et al. (2010) および Siegel et al. (2012) は同様のメカニズムで主観的運動強度 (RPE) も低下すると報告している。しかしながら、本研究では条件間で差が観察されなかった。Siegel et al. (2010, 2012) の研究では、RPEが測定され始めた時間はアイススラリーの摂取終了から15分後である。温度受容器の冷感覚受容によって変更された求心性フィードバックが脳に伝えられるまでにそれだけ時間がかかるのか疑問である。また、RPEの低下はTSの低下が観察された時間とほとんど一致しており、アイススラリーの摂取によるものではなくTSの低下と関連があるように見える。以上のことから、RPEの低下は、アイススラリーの摂取による温度受容器の冷感覚受容そのものによってではなく、それを介したTSの低下によって生じたものであると考えられる。本研究では、直腸温の低下が小さく、TSも運動開始時のみでしか低下しなかったため、RPEに差が現れなかったと考えられる。

アイススラリーの摂取はこれまで一般的に用いられてきたプレクーリング方法と同様の効果を示すだけでなく、大型の設備や大量の水、電力も必要としない、より実用的なプレクーリング方法である。一方で、アイススラリーの摂取によって疲労困憊時における直腸温が有意に高くなり、危険な体温レベルまでアスリートが運動を継続してしまう可能性も示されている (Siegel et al., 2010, 2012)。しかしながら、本研究と同様にそれらの研究では、運動中に水分補給を行っていなかった。したがって、実際のスポーツ現場では運動中にもアイススラリーを摂取することで体温が危険

なレベルに到達するのを防ぐことができ、またさらなるエルゴジェニック効果を発揮することができるかもしれない。実際に、ニュージーランドではアイススラリー用の保冷ボトルが発売され、運動中への応用も検討されている。今後、アイススラリーによる身体冷却を現場へ応用するためさらなる研究が必要とされる。

結論として、本研究では、設定した運動強度が高すぎたため運動継続時間が想定よりも短くなり、アイススラリーの摂取による運動能力の改善が見られず、組成による違いも観察することができなかった。今後、運動強度や運動中の水分補給などを検討することで、アイススラリー状のスポーツ飲料摂取が運動能力に及ぼす影響について明らかにすることができるだろう。

【参考文献】

- 1) American College of Sports Medicine; Michael NS, Louise MB, Randy E, Ronald JM, Scott JM, Nina SS (2007) American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc*, 39, 377-390.
- 2) Arkinstall MJ, Bruce CR, Clark SA, Rickards CA, Burke LM, Hawley JA (2004) *Regulation of fuel metabolism by preexercise muscle glycogen content and exercise intensity*, *J Appl Physiol*, 97, 2275-2283.
- 3) Borg GA, (1973) Perceived exertion: a note on "history" and methods, *Med. Sci. Sports. Exerc*, 5, 90-93.
- 4) 奥恒行, 柴田克己 (2008) 『基礎栄養学 (改訂第2版)』南江堂.
- 5) 川原貴, 井上芳光, 小松裕, 田中英登, 中井誠一ら (2013), 『熱中症予防ガイドブック』.
- 6) Deuster PA and Singh A (1993) *Responses of plasma magnesium and other cations to fluid replacement during exercise*, *J Am Coll Nutr*, 12, 286-93.
- 7) Dill DB, Costill DL (1974) *Calculation of*

- percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration*, J Appl Physiol, 37.
- 8) Gagge AP, Stolwijk JA, Hardy JD (1969) Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures, Environ. Res, 1, 1-20.
- 9) Lee JK, Shirreffs SM, Maughan RJ (2008) *Cold drink ingestion improves exercise endurance capacity in the heat*, Med Sci Sports Exerc, 40, 1637-1644.
- 10) Morgan RM, Patterson MJ, Nimmo Ma (2004) *Acute effects of dehydration on sweat composition in men during prolonged exercise in the heat*. Acta Physiol Scand, 182, 37-43.
- 11) Onitsuka, S., Zheng, X., Hasegawa, H. (2015) *Ice slurry ingestion reduces both core and facial skin temperatures in a warm environment*, J. Therm. Biol. 51, 105-109.
- 12) Roberts MF, Wenger CB, Stolwijk JA, Nadel ER (1977) *Skin blood flow and sweating changes following exercise training and heat acclimation*, J Appl Physiol, 43, 133-137.
- 13) Sharwood KA, Collins M, Goedecke JH, Wilson G, Noakes TD (2002) *Weight changes, sodium levels, and performance in the south African ironman triathlon*, Clinical J Sports Med, 12, 391-399.
- 14) Siegel R, Mate J, Brearley MB, Watson G, Nosaka K, Laursen PB (2010) *Ice slurry ingestion increases core temperature capacity and running time in the Heat*, Med Sci Sports Exerc, 42, 4, 717-725.
- 15) Siegel R, Mate J, Watson G, Nosaka K, Laursen PB (2012) *Pre-cooling with ice slurry ingestion leads to similar run times to exhaustion in the heat as cold water immersion*, J Sports Sci, 30, 155-165.
- 16) 田畑 泉, 柴山 秀太郎 (1989) 「長時間運動中の血糖値の変化が主観的運動強度 (RPE) に与える影響」『日本体育学会大会号』第40回, pp.346.
- 17) Wegmann M, Faude O, Poppendieck W, Hecksteden A, Frohlich M, Meyer T (2012) *Pre-cooling and sports performance*, Sports Med, 42, 545-564.
- 18) Weltan SM, Bosch AN, Dennis SC, Noakes TD (1998) *Preexercise muscle glycogen content affects metabolism during exercise despite maintenance of hyperglycemia*, Am J Physiol, 274, E83-E88.
- 19) Yeo ZW, Fan PW, Nio AQ, Byrne C, Lee JK (2012) *Ice slurry on outdoor running performance in Heat*, Int J Sports Med, 33, 859-866.