

## 暑熱下における休息間の身体冷却が 女性の運動パフォーマンスに及ぼす影響

広島大学大学院 長谷川 博  
(共同研究者) 同 柳 岡 拓 磨  
同 岩 橋 眞南実

### **Effect of Cooling Between Exercise Bouts on Female Exercise Performance in The Heat**

by

Hiroshi Hasegawa, Takuma Yanaoka, Manami Iwahashi  
*Graduate School of Humanities and Social Sciences,  
Hiroshima University*

#### ABSTRACT

The purpose of this study was to examine the effect of body cooling between exercise bouts on high-intensity exercise performance in the heat. In a randomized crossover design, eighteen (9 males and 9 females) habitually trained subjects performed two (first and second half) cycling exercises with a 15-minute rest (half-time; HT) in the heat (35°C, 50% relative humidity). The first and second half exercises consisted of 25-minute constant-paced cycling (55% of maximal oxygen uptake) and a 5-minute time trial, respectively. During HT, the participants were assigned to CON condition (ingesting 5g/kg of fluid at room temperature) or COOL condition (ingesting 5g/kg of ice slurry and wearing a cooling vest which can cool the neck, upper body, back, and side). In males, the mean power output during time trial in the second half was significantly improved in the COOL condition compared with the CON condition, but this improvement was not observed in females. In the cool condition, physiological and

subjective indicators in the HT and second half improved in both males and females. These results suggest that there was a gender difference in the effect of body cooling during the HT in the heat. In conclusion, the combination of internal and external cooling used in this study may reduce the risk of heat-related illness, but may not improve high-intensity exercise performance in females.

## 要 旨

本研究の目的は、暑熱下における運動間の休息中に行う身体冷却が女性の高強度運動パフォーマンスに与える影響を検討することであった。運動習慣のある女性9名、男性9名を対象に、暑熱下（室温35℃、相対湿度50%）における2試行の無作為化交差試験を実施した。本試験では、15分間の運動間の休息（HT）を挟む、30分間の自転車運動を2回（前・後半）行った。HTでは、安静座位（CON）またはクーリングベストの着用・体重あたり5 gのアイススラリーの摂取の併用（COOL）のいずれかを行った。主評価項目は前・後半終了前5分間のタイムトライアル（TT）パフォーマンスとした。運動間の休息中の身体冷却によって、男女ともに生理的指標および主観的指標が改善した。男性は後半のTTパフォーマンスが高い値で維持されたが、女性では改善されなかった。本研究で用いた身体内部・外部冷却の併用は、女性の熱中症の発症リスクを軽減する可能性があるものの高強度運動パフォーマンスを改善しないことが示された。

## 緒 言

女性のスポーツ参加の促進・支援は、スポーツ庁が平成29年に掲げた「第2期スポーツ基本計画」の11本の一つの柱である<sup>1)</sup>。すなわち、運動愛好家からトップアスリートまでの女性選手への支援は、国家をあげた重要な課題であるといえる。一方で、スポーツ科学分野において、女性に着目

した研究は非常に少ない。また近年は、地球温暖化や異常気象等の影響により夏季におけるスポーツ環境が悪化し、熱中症事故が増大しているが、女性へ向けた熱中症予防や競技力向上のための暑さ対策の考案は極めて遅れている。

暑熱環境下での運動では、過度な核心温の上昇、心循環系ストレスの増加、主観的感覚の悪化によって運動パフォーマンスの低下や熱中症が発生する。それらを予防するために、身体冷却を行うことが重要である。身体冷却のタイミングや方法は様々な運動形態に合わせて多く検討されてきた<sup>2)</sup>。運動前に身体冷却を行うプレクーリングは、運動開始前の核心温を低下させることで運動中に発生する熱ストレスの減少を誘発し、持久性運動パフォーマンスを改善するが<sup>3)</sup>、その効果は運動中に消失することが多数報告されている<sup>4)</sup>。一方で球技系競技のハーフタイム（HT）やインターバルなどに代表される短時間の運動間の休息に着目すると、報告数が少なくさらなるエビデンスの蓄積が必要である。運動間の休息中は冷却介入が可能であることに加え、試合の後半に高強度運動パフォーマンスが低下することが報告されているため<sup>5)</sup>、重要な冷却介入のタイミングであると考えられる。運動間の休息中に冷却を行った限られた先行研究では、HTに実践的な方法での運動パフォーマンスの向上と体温の低下を同時に達成できていないため<sup>6-8)</sup>、その双方に有効かつ実践的な冷却方法を検討する必要がある。

身体冷却に関する上述の先行研究は、男性を対象に行われている<sup>6-8)</sup>。しかし、体温調節反応あ

るいは身体組成には性差があることが報告されているため<sup>9)</sup>、男性で行われた冷却介入を女性に適用した際に、同じ効果が得られるかは明らかでない。実際に、男性のサイクリングタイムトライアルパフォーマンスを改善させた運動前のクラッシュアイス摂取による身体冷却は、女性の運動パフォーマンスを改善させなかったという研究もあり<sup>10)</sup>、同じ冷却法でも性別により、得られる結果が異なる可能性がある。したがって、同一研究内で性差を比較することによって、女性へ向けた適切な身体冷却法を検討する必要がある。

そこで本研究では、暑熱環境下における運動間の休息中に行う実践的な身体内部および外部冷却が女性の高強度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。

## 1. 研究方法

### 1.1 被験者

本研究は、運動習慣のある健康な若年成人男性9名、女性9名の計18名を対象とした。被験者には、最初の研究室の訪問時に、書類と口頭によるインフォームドコンセントを行い、実験に参加することへの同意を得た。また、被験者は実験開始24時間前からアルコールおよびカフェインの摂取を控え、実験開始2時間前までに食事を済ませた。本研究は、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、実施した(認証番号: 01-27)。

### 1.2 実験手順

本研究は1回の予備実験とファミリーアライゼー

ションを行った後、HT中に座位安静を保つ条件(CON)、HT中にアイススラリーの摂取およびクーリングベストを着用する条件(COOL)の2回の本実験から構成した。本実験は、4日以上の間隔をあけて行い、サーカディアンリズムを考慮し同一の時間帯で行った。また、女性において月経周期に基づく体温変動、ホルモンによる体温調節反応への影響を考慮し、卵胞期(月経開始後1日~10日)に統一して行った。本実験は、カウンターバランスを考慮し、2つの条件の順序をランダムに行った。

### 1.3 実験プロトコル

研究室への最初の訪問時に最大酸素摂取量( $VO_{2max}$ )の測定を実施した。 $VO_{2max}$ を測定する前に体成分分析装置(In Body 270, InBody Japan, Japan)を用いて身体組成を測定した。その後、被験者は、自転車エルゴメータ(POWERMAX-V3, Konami, Japan)を用いて常温環境下(室温22℃, 相対湿度50%)で $VO_{2max}$ を測定するために漸増負荷試験を実施した。漸増負荷試験は、100Wから運動を開始し、運動負荷を1分ごとに20W増加させ、疲労困憊まで行った。最大酸素摂取量は漸増負荷試験を通して、30秒ごとにエアロモニタ(AE-310S, Minato Medical Science, Japan)を用いて測定した。また、2回目の訪問時にファミリーアライゼーションを実施した。ファミリーアライゼーションは、本実験のCONと同じ環境条件、プロトコルで実施した。本実験のプロトコルを図1に示した。被験者は尿比重、裸体重の測定を済ませた後、暑熱環境(室温35℃, 相対湿度50%)

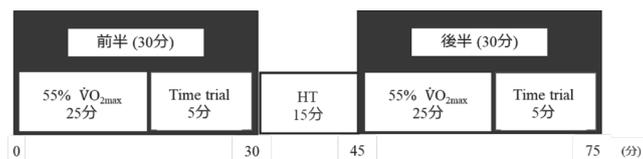


図1 実験プロトコル  
HT: ハーフタイム

に設定した人工気象室に入室し、10分の安静を保ち、40% VO<sub>2max</sub>の運動強度で3分間のウォーミングアップを行った。ウォーミングアップ終了後、25分間の定常負荷運動と5分間のタイムトライアルから構成された30分間の前半の運動を行った。定常負荷運動は、55% VO<sub>2max</sub>の運動強度で、60回転/分を維持するように指示した。タイムトライアルでは、50% VO<sub>2max</sub>の運動強度で、最大努力の回転数で自転車運動を行うことを指示し、残り時間のみを教示した。前半の運動終了後、HT中に人工気象室内でCONまたはCOOLを行った。HT終了後、前半と同様の運動を後半の運動として行った。前半および後半の15分間経過時に体重あたり2.5gの室温(32.3 ± 0.7℃)の水を摂取した。

#### 1. 4 身体冷却介入

CONでは、HT中に人工気象室内で座位安静を保った。HT開始直後および7.5分経過時にそれぞれ体重あたり2.5gの室温のスポーツドリンク(32.6 ± 0.9℃; Pocari Sweat, Otsuka Pharmaceutical, Japan)を摂取した。COOLでは、HT中にアイススラリーの摂取およびクーリングベスト(Cooling Vest, Mizuno, Japan)の着用を行った。HT開始直後および7.5分経過時にそれぞれ体重あたり2.5gのアイススラリー(-1.2 ± 0.2℃, スポーツドリンク[Pocari Sweat, Otsuka Pharmaceutical, Japan]を使用してミキサー[TM8200, Tescom, Japan]で作成)を摂取し、さらにクーリングベストを着用した。本研究で使用したクーリングベストは、頸部および体幹部を冷却できるものであり、着衣および脱衣のため、着用時間は14分間であった<sup>6)</sup>。

#### 1. 5 測定項目

運動パフォーマンス

高強度運動パフォーマンスとして、タイムトラ

イアル中の平均パワーを30秒ごとに測定した。

#### 1. 6 生理的指標

直腸温は、潤滑剤ヌルゼリー(Teimoku Medicinex, Japan)をサーミスタープローブ用ゴムカバー(Nikkiso therm, Japan)が装着された直腸温サーミスタープローブ(LT-ST08-21, Nikkiso therm, Japan)を、直腸内に10~12cm挿入して測定した。皮膚温は胸部・上腕部・大腿部にサーミスタープローブ(LT-ST08-12, Nikkiso therm, Japan)をテープで貼り付け測定した。また、平均皮膚温を3点法<sup>11)</sup>を用いて算出した(平均皮膚温 = 0.43 × 胸部 + 0.25 × 上腕部 + 0.32 × 大腿部)。直腸温および各皮膚温はデータ収集型温度計(LT-8A, Gram Corporation, Japan)を用いて1分ごとに測定した。心拍数はハートレートモニター(Polar V800, Polar Electro, Finland)を用いて1秒ごとに測定した。

#### 1. 7 主観的指標

主観的運動強度(rating of perceived exertion: RPE)はBorgの15段階のスケールを用いて、運動時に5分ごとに測定した<sup>12)</sup>。熱知覚の指標として、温熱感覚(thermal sensation: TS)をOlsen&Bragerのスケール(-6: very cold ~ 6: very hot)を用いて試験を通して5分ごとに測定した<sup>13)</sup>。

#### 1. 8 統計分析

すべての値は平均値 ± 標準偏差で示した。被験者の身体特性は対応のないt検定を用いて分析した。平均パワー、直腸温、平均皮膚温、心拍数、RPE、TSの経時的変化は男性・女性それぞれ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.25.0)によって分析した。交互作用が認められた場合には、Bonferroniの事後検定により、各条件間の差の検定を行った。有意水準

は5%未満とした。

## 2. 結果

### 2.1 身体特性

男性と比較し、女性では、身長、除脂肪体重、体表面積、最大酸素摂取量が有意に低く、体脂肪率が有意に高かった(表1)。

### 2.2 運動パフォーマンス

後半のタイムトライアルパフォーマンスは女性

表1 身体特性

	男性	女性	P値
年齢(yr)	21.2±2.6	21.2±1.1	1.000
身長(cm)	170.5±5.5	161.3±7.6*	0.010
体重(kg)	64.4±10.1	57.3±6.9	0.102
除脂肪体重(kg)	54.3±7.0	44.1±5.5*	0.004
体脂肪率(%)	16.4±3.8	23.1±2.0*	0.000
体表面積(m <sup>2</sup> )	1.75±0.15	1.60±0.13*	0.045
体表面積/体重(cm <sup>2</sup> /kg)	271.7±11.1	280.7±7.2	0.489
最大酸素摂取量(mL/kg/min)	52.7±4.1	43.6±5.3*	0.001

において条件間に有意差が認められなかった一方で、男性はCOOLにおいて、CONと比較し、高値を示した(図2)。

### 2.3 生理的指標

#### 2.3.1 体温

直腸温は、女性において60分、65分、70分にCONと比較してCOOLで有意に低値を示した。男性の直腸温は、50分から後半終了時までCONと比較してCOOLで有意に低値を示した(図3A, B)。

平均皮膚温は、男女ともに35分から50分までCONと比較してCOOLで有意に低値を示した。

#### 2.3.2 心拍数

心拍数は、女性において35分、40分、45分にCONと比較してCOOLで有意に低値を示した。

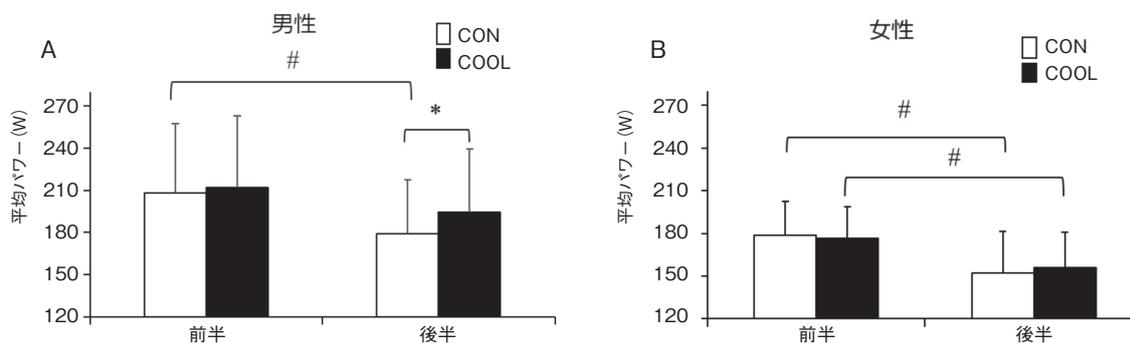


図2 タイムトライアルパフォーマンス(A:男性, B:女性)  
値は平均±標準偏差, #前半 vs 後半, \*CON vs COOL(いずれも p < 0.05)。

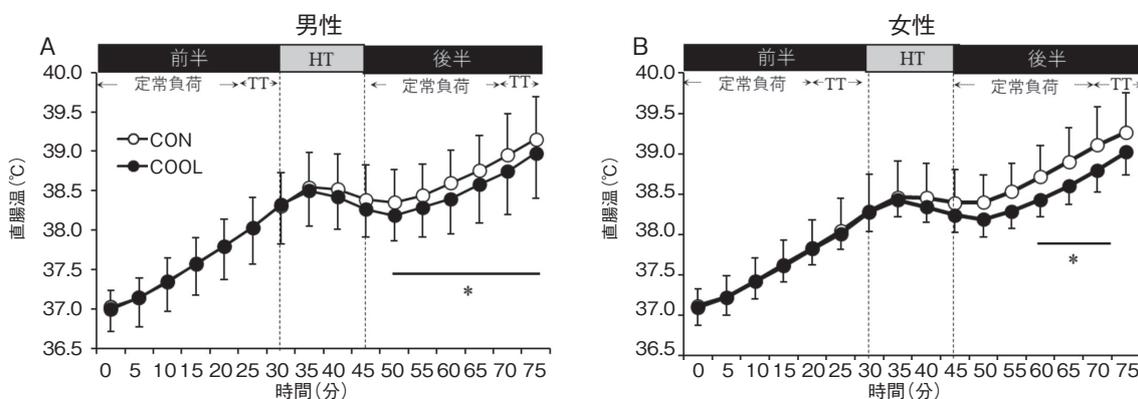


図3 直腸温の経時的変化(A:男性, B:女性)  
値は平均±標準偏差, \*CON vs COOL(p < 0.05), HT: ハーフタイム, TT: タイムトライアル。

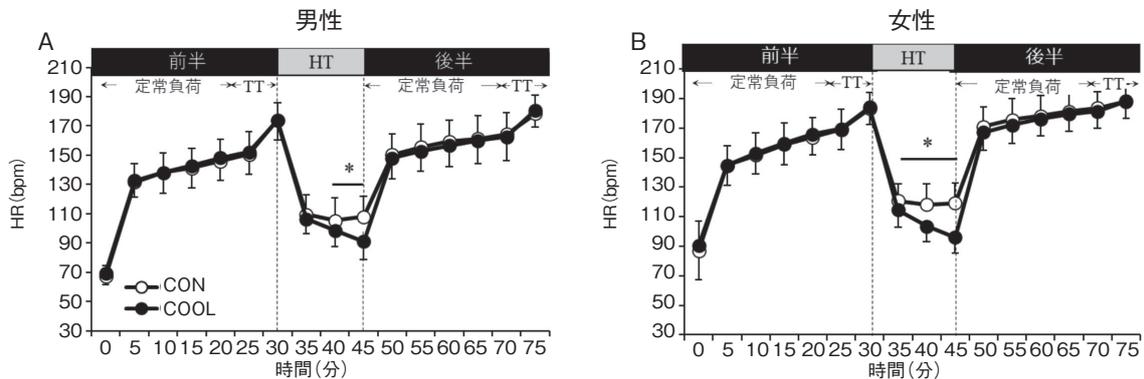


図4 心拍数(HR)の経時的変化(A:男性, B:女性)  
 値は平均±標準偏差, \*CON vs COOL(P<0.05), HT: ハーフタイム, TT: タイムトライアル.

男性は、40分、45分にCONと比較してCOOLで有意に低値を示した(図4)。

### 2. 3. 3 主観的指標

RPEは、女性において50分、55分においてCONと比較してCOOLで有意に低値を示した。男性は、50分から70分のタイムトライアル開始時までCONと比較してCOOLで有意に低値を示

した(図5A, C)。

TSは、女性において35分から55分までCONと比較してCOOLで有意に低値を示した。男性は、35分から70分のタイムトライアル開始時までCONと比較してCOOLで有意に低値を示した(図5B, D)。

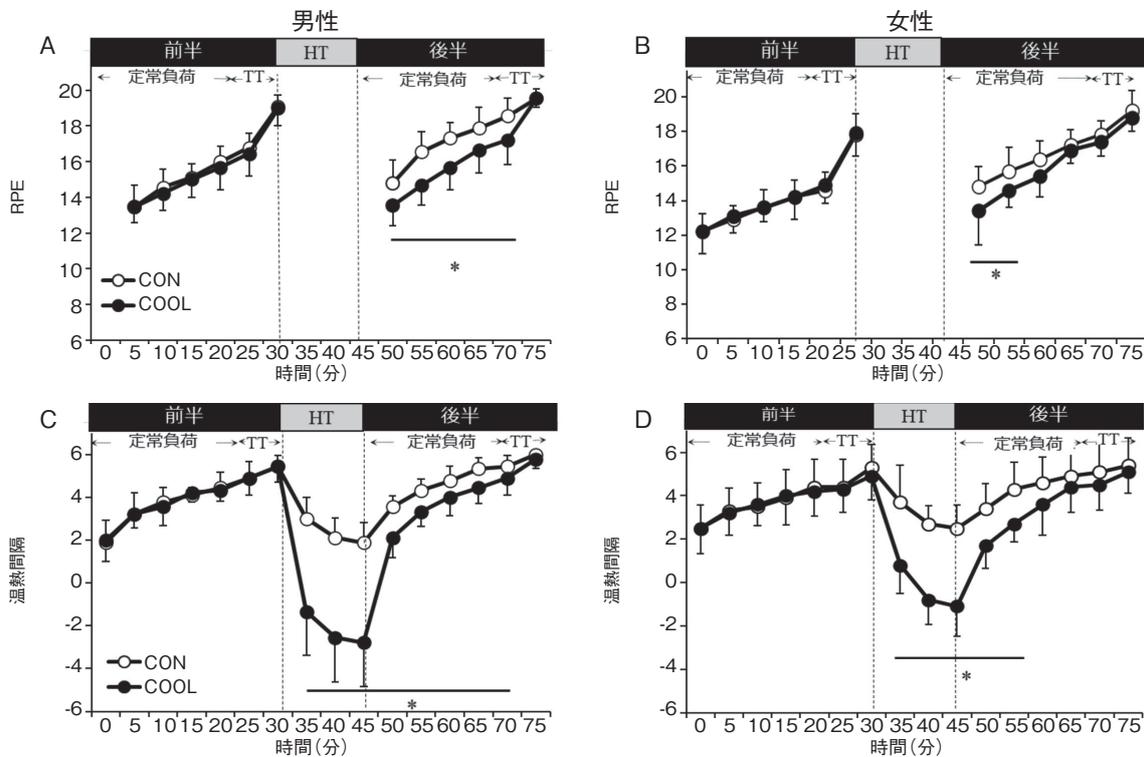


図5 主観的運動強度(A:男性, B:女性)および温熱感覚(C:男性, D:女性)の経時的変化  
 値は平均±標準偏差, \*CON vs COOL(p<0.05), HT: ハーフタイム, TT: タイムトライアル.

### 3. 考 察

本研究は、暑熱環境下における運動間の休息中のアイススラリーの摂取およびクーリングベスト着用による身体冷却が女性の高強度運動パフォーマンスに及ぼす影響を同一研究内で男性と比較した。その結果、身体冷却によって、生理的指標や主観的感覚が男女ともに改善された一方で、女性の高強度運動パフォーマンスは改善されなかった。暑熱環境下での過度な体温上昇、心循環系ストレスの増加、主観的指標の悪化は運動パフォーマンスの低下ひいては熱中症を引き起こす要因であるため、それらを改善することは重要である。本研究での運動間の休息中の身体冷却は、男女ともに生理的指標および主観的指標を改善させるには有効であるが、運動パフォーマンスへの効果には性差があることが示された。

暑熱環境下における運動パフォーマンス低下の要因として過度な体温上昇、心循環系ストレスの増大および主観的感覚の悪化があげられる<sup>14)</sup>。それらを予防するための実践的な暑さ対策として身体冷却があげられる。本研究では、身体内部および外部の両方からより実践的な方法で身体冷却を実施した結果、男性の運動パフォーマンスを改善させたが、女性の運動パフォーマンスは改善されなかった。直腸温は身体冷却によって、男女ともに後半の上昇が抑制され、タイムトライアル開始時にも、COOLで低値を示していた(図3A, B)。平均皮膚温および心拍数は身体冷却によって、男女ともに改善は見られたものの、後半の運動が始まるとその効果は消失し、タイムトライアル開始時には条件間に有意な差は認められなかった。これらの生理的指標がタイムトライアル開始時に男女で同様の傾向がみられた一方で主観的指標は、タイムトライアル開始時に男性と女性で異なっていた。男性は、主観的運動強度および温熱感覚の改善が維持されていたが、女性はその効果が消失

していた。近年、温熱感覚がセルフペース運動やタイムトライアルの重要な因子であり<sup>15)</sup>、特に運動初期段階よりも運動終了時に向けた温熱感覚の改善が、パフォーマンスを維持するために効果的であると示されている<sup>16)</sup>。したがって、女性のパフォーマンスを向上させるためには、生理的指標だけでなく、パフォーマンス発揮時まで持続する主観的感覚の改善が重要であることが示唆された。

これまで多くの研究が、男性を対象に身体冷却効果を検証してきた。本研究は、同一研究内で性差を比較しながら女性への身体冷却効果を検証した貴重な研究である。女性と男性では、身体特性、発汗効率、血液量、ホルモンなどに違いがあり、体温調節反応あるいは身体冷却効果が異なる可能性がある<sup>9)</sup>。Zimmermanらによって行われたアイススラリーを運動前に摂取する女性を対象とした先行研究では、直腸温を0.7℃有意に低下させたが、運動パフォーマンスは改善しなかった<sup>17)</sup>。この要因として、深部のみを冷却したことによって、深部から皮膚への温度勾配が低下し、熱を周囲に移動する能力が低下することで核心温の上昇率が高くなることを関連づけている<sup>17)</sup>。一方、身体内部および外部の両方から冷却を行った本研究では、HT終了時から実験終了時まで直腸温の上昇率はCOOLで高くならなかったが、高強度運動パフォーマンスは改善されなかった。そのため、核心温の上昇率が女性の運動パフォーマンスに影響しないという可能性が示された。本研究で着目した運動間の休息は、前半の運動後のリカバリーという点で、運動後の冷却介入であるとも捉えられる。Kenny&Jayは、女性は男性と比べて、運動によって活性化された筋の温度だけではなく、食道温を下げる能力が低いことを報告している<sup>18)</sup>。本研究の冷却法では、身体冷却によって直腸温の大幅な低下は引き起こさなかったものの、後半の上昇を抑制したため、熱中症予防の観

点では、有効であるかもしれない。また、男性と同じ量や時間のアイススラリーの摂取およびクーリングベストの着用を実施しても、冷えすぎによる不快感等を訴える参加者がいなかったことを考慮すると、女性へ向けた冷却戦略として今後も注目すべきである。つまり、運動パフォーマンス向上のためには、より大きな主観的感覚の改善および生理的指標の改善を引き起こすような冷却効率の高い冷却方法やアイススラリーの摂取量の増加の検討が必要である。

本研究では、暑熱環境下での体温調節反応および運動パフォーマンス向上に対する身体冷却効果を検討するために、定常負荷運動とタイムトライアルを組み合わせた運動プロトコルを実施した。Bradleyらは、後半終了間際のみならず、後半の立ち上がりの運動パフォーマンスが低下することを報告している<sup>5)</sup>。また、本研究でも後半の終盤よりも開始時に身体冷却効果が表れていた。したがって、今後の研究では、後半全体のパフォーマンスの測定および実際の競技現場に近い運動を模倣したプロトコルによる身体冷却効果の検討が必要である。

#### 4. 結 論

本研究では、暑熱環境下における運動間の休息中の身体冷却が女性の運動パフォーマンスおよび体温調節反応に及ぼす影響を同一研究内で男性と比較した。身体内部・外部冷却は男女ともに生理的指標や主観的感覚を改善させた一方で、女性の高強度運動パフォーマンスは改善させなかった。暑熱環境下での運動間の休息中の身体冷却効果には性差がある可能性があり、女性への適切な暑さ対策を今後も検討する必要がある。

#### 謝 辞

本研究に対して、助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深く  
デサントスポーツ科学 Vol.42

感謝いたします。また、被験者として協力いただいた皆様に感謝いたします。

#### 文 献

- 1) “Japan スポーツ庁「第2期スポーツ基本計画」”
- 2) Gibson O.R., James C.A., Mee J.A., Willmott A.G., Turner G., Hayes M., Maxwell N.S., Heat alleviation strategies for athletic performance: a review and practitioner guidelines., *Temperature*, 7, 3-36(2020)
- 3) Bongers C.C., Thijssen D.H., Veltmeijer M.T., Hopman M.T., Eijssvogels T.M., Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: a meta-analytical review., *Br. J. Sports Med.*, 49, 377-384(2015)
- 4) Tyler C.J., Sunderland C., Cheung S.S., The effect of cooling prior to and during exercise on exercise performance and capacity in the heat: a meta-analysis., *Br. J. Sports Med.*, 49, 7-13(2015)
- 5) Bradley P.S., Sheldon W., Wooster B., Olsen P., Boanas P., Krstrup P., High-intensity running in English FA Premier League soccer matches., *J. Sports Sci.*, 27, 159-168(2009)
- 6) Chaen Y., Onitsuka S., Hasegawa H., Wearing a cooling vest during half-time improves intermittent exercise in the heat., *Front Physiol.*, 10: 711(2019)
- 7) Onitsuka S., Ueno T., Zheng X., Hasegawa H., Effect of ice slurry ingestion during half-time breaks on intermittent exercise capacity and thermoregulation in the warm environment., *Gazz Medica Ital Arch per le Sci. Mediche.*, 174: 113-121(2015)
- 8) Peiffer J.J., Abbiss C.R., Watson G., Nosaka K., Laursen P.B., Effect of a 5-min cold-water immersion recovery on exercise performance in the heat., *Br. J. Sports Med.*, 44: 461-465(2010)
- 9) Gagnon D., Dorman L.E., Jay O., Hardcastle S., Kenny GP., Core temperature differences between males and females during intermittent exercise: physical considerations., *Eur. J. Appl. Physiol.*, 105, 453-461(2009)
- 10) Zimmermann M.R., Landers G.J., Wallman K.E., Crushed ice ingestion does not improve female cycling time trial performance in the heat., *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, 27, 67-75(2017)
- 11) Roberts M.F., Wenger C.B., Stolwijk J.A., Nadel

- E.R., Skin blood flow and sweating changes following exercise training and heat acclimation., *J. Appl. Physiol.*, **43**: 133-137 (1977)
- 12) Borg G.A., Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* **14**: 377-381, 1982()
  - 13) Olesen B.W., Brager G.S., A better way to predict comfort: the new ASHRAE standard 55-2004., *ASHRAE J.*, 20-26 (2004)
  - 14) Sawka M.N., Leon L.R., Montain S.J., Sanna L.A., Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress., *Compr. Physiol.*, **1**, 1883-1928 (2011)
  - 15) Schlader Z.J., Simmons S.E., Stannard S.R., Mündel T., Skin temperature as a thermal controller of exercise intensity., *Eur. J. Appl. Physiol.*, **111**, 1631-1639 (2011)
  - 16) Stevens C.J., Thoseby B., Sculley D.V., Callister R., Taylor L., Dascombe B.J., Running performance and thermal sensation in the heat are improved with menthol mouth rinse but not ice slurry ingestion., *Scand. J. Med. Sci Sports*, **26**, 1209-1216 (2016)
  - 17) Zimmermann M.R., Landers G.J., The effect of ice ingestion on female athletes performing intermittent exercise in hot conditions., *Eur. J. Sport Sci.*, **15**, 407-413 (2015)
  - 18) Kenny G.P., Jay O., Sex differences in postexercise esophageal and muscle tissue temperature response., *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, **29**, R1632-R1640 (2007)