

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K19599

研究課題名（和文）暑熱下における運動間の休息中の暑さ対策の新提案-身体冷却法の組み合わせに着目して

研究課題名（英文）New proposal of body cooling strategy between exercise bouts in the heat

研究代表者

柳岡 拓磨（Yanaoka, Takuma）

広島大学・人間社会科学研究科（教）・准教授

研究者番号：20846951

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：地球温暖化の進行とともに、熱中症の問題はさらなる深刻化が想定され、科学的知見に基づいた熱中症予防対策の検討が急務である。そこで本研究では、運動間の休息中に行う身体外部・内部冷却の組み合わせが体温、運動能力に与える影響をメカニズムも含め明らかにすることを目的とした。実験室ベースの実験によって、男性ではアイススラリー摂取およびクーリングベスト着用の組み合わせによって、無冷却条件と比較し、その後の深部体温が低下し、持久的運動パフォーマンスが改善された。一方で、女性では深部体温は低下したものの、持久的運動パフォーマンスの改善は認められなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化の進行とともに、熱中症の問題はさらなる深刻化が想定される。本研究では、熱中症予防策として実用性が高い身体外部・内部冷却を組み合わせることが、スポーツ選手の熱中症予防策として有効が検討した。その結果、本研究で用いたアイススラリー摂取およびクーリングベスト着用の組み合わせは、男性・女性ともに熱中症リスクを低下させるが、男性でのみ運動パフォーマンスを改善させることが明らかとなった。スポーツ現場において、身体外部・内部冷却を組み合わせることで熱中症を予防できるが、女性の運動パフォーマンス改善にはより積極的な対策が必要であろう。

研究成果の概要（英文）：With the progression of global warming, evidence-based guidance on interventions for preventing the adverse effects of heat stress becomes more important to prevent heat related illness. Therefore, this study aimed to clarify the effects of a combination of external and internal cooling between exercise bouts on body temperature and endurance exercise performance. Laboratory-based studies showed that, in males, the combination of ice slurry ingestion and wearing a cooling waistcoat reduced body core temperature and improved endurance exercise performance compared to the control condition. In contrast, in females, body core temperature was reduced but endurance exercise performance was not improved in females.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：暑熱環境 ハーフタイム 運動能力 体温 体格 性差 熱中症予防

1. 研究開始当初の背景

熱中症による救急搬送者数は急増しており、直近の5年間で約2倍となっている(消防庁2018)。地球温暖化の進行とともに、熱中症の問題はさらなる深刻化が想定され、科学的知見に基づいた熱中症予防対策の検討が急務である。スポーツ活動における熱中症は運動による深部体温の過度な上昇が主な原因であり、運動誘発性高体温は中枢・末梢性疲労を誘発し、運動能力を低下させる(Hasegawaら2014)。従って、暑熱環境下におけるスポーツ活動では、深部体温の過度な上昇を抑制するための暑さ対策を講じる必要がある。

身体冷却は暑さ対策の手法の一つであり、運動前もしくは運動中の有効な身体冷却法の検討が広く行われてきた。例えば、運動前の身体冷却では冷水浴、運動中の身体冷却ではクーリングベストの着用などが有効な冷却法であることが明らかとなっている(Bongersら2015)。一方、サッカーのハーフタイムに代表される運動間の休息と身体冷却に着目した報告は少ない。運動間の休息における身体冷却は、1) 短時間で深部体温を低下させ、運動能力を改善すること、2) 競技者に負担をかけず、応用が容易な手法である必要がある。

近年、身体内部・外部冷却を組み合わせることで身体冷却の相乗効果が得られることが報告された(Bongersら2017)。身体内部冷却の手法であるアイススラリー(氷と液体が混合したシャワーベット飲料)の摂取は、1) 直腸温・脳温を低下させ(Onitsukaら2015・2018)、2) 口腔や胃腸の温度受容器からの求心性フィードバックを改善することで、中枢性疲労を軽減し(Siegelら2011)、3) 水分・電解質の補給が可能(鬼塚ら2015)であることから、暑さ対策として注目されている。また、身体外部冷却の手法であるクーリングベストの着用は、1) 皮膚温を低下させ、2) 運動能力を改善する(Chaenら2019)。また、これらの2つの身体冷却法は、実際に臨床応用されている(Périardら2017)。しかし、先行研究において、これらの身体冷却法を組み合わせた場合の効果は示されていない。

また、ヒトの体温調節機能には性差が認められる。女性は男性と比較し、骨格筋量が少なく、体脂肪率が高い(Gagnonら2009)。これらの身体特性は身体冷却効果に大きな影響を与え、女性は男性と同様の身体冷却を行った際の冷却効果が大きい(Brunoら2009)。しかし運動能力に着目すると、男性では運動能力を改善するとされる身体冷却を女性に行った場合、運動能力は改善されないと報告されている(Zimmermanら2016)。同一研究内で男女を比較した研究がないため、身体冷却と運動能力に関わる性差のメカニズムは明らかにされておらず、運動能力改善の為の方策は不明である。身体冷却に関する学術的発展および女性アスリートへの科学的サポートを向上させていくためには、身体冷却の効果に関する性差のメカニズムを明らかにし、女性に対する身体冷却に関する情報発信を行う必要がある。

2. 研究の目的

前述の研究背景より、本研究の目的は、1) 運動間の休息中に行うアイススラリーの摂取とクーリングベストの着用の組み合わせが体温、運動能力に与える影響を明らかにすること、2) 運動間の休息中の身体冷却に関する性差を明らかにすることである。

3. 研究の方法

複数の研究から得られた総合的な知見を示すため、統合した方法と研究成果を示す。

(1) 被験者

運動習慣のある男性16名、女性8名を対象にし、被験者全員が非喫煙者であった。男性参加者は、AD/BM値によって、低AD/BM(Low:n=8)群と高AD/BM(High:n=8)群に分類された。さらに、最大酸素摂取量(V_{O2max})は男性グループ間で一致させた。女性群は月経周期が規則的で、経口避妊薬は使用しなかった。

(2) 研究デザイン

身体的特徴および V_{O2max} を測定するための予備テスト(visit 1)および本試験の練習試技(visit 2)の後、被験者は2つの本試験(visit 3および4)をランダム化クロスオーバーデザインで実施した。本試験の練習試技と各実験は少なくとも3日おきに行われ、概日リズムに関連した変動を防ぐため、各参加者の1日の同じ時間(±1時間)に行われた。女性被験者は、月経周期の2日目から10日目の間に本試験を実施した。被験者は、各実験前の24時間に摂取した食事と飲み物を再現するよう求められた。被験者は、各実験の24時間前から激しいトレーニング、アルコールとカフェインの摂取を控え、各実験の前には水を飲む以外は3時間絶食した。脱水状態を維持するため、被験者は各実験前夜に1Lの水を飲むように指示された。本研究は、暑熱順化の可能性を最小限にするため、冬季に実施された。

(3) 本試験のプロトコル

すべての被験者は、ウォーミングアップを実施したのち、 V_{O2max} の55%で25分間の定常負荷サイクリングとそれに続く5分間のタイムトライアル(TT)で構成される計30分の運動を2回

行った(前半と後半).TT では,被験者は持続可能な最高努力を5分間維持するように求められた.外部からのフィードバックは,TT中の経過時間に限定された.前・後半の間には15分間のハーフタイムが設けられた.本試験はすべての暑熱環境下(室温:35,相対湿度:50%)で行われた.

(4) 冷却介入

15分間のハーフタイム中に,参加者はCON(体重あたり5.0gの常温の飲料摂取)またはCOOL(体重あたり5.0gのアイスラリー摂取と冷却ベスト着用の併用)のいずれかに割り付けられた.アイスラリーは,100mLあたりそれぞれ6.2g,49mg,20mgの糖質,ナトリウム,カリウムを含む市販のスポーツドリンク(ポカリスエット,大塚製薬,日本)から作成した.CONの飲料も,同じ成分であった.冷却ベストには首,上半身,背中,脇腹を覆う8つのポケットがあり,そこに8つのアイスパックを挿入した.ベストの着脱に1分を要したため,実際の冷却時間は14分であった.

(5) 測定項目

TT中の平均出力(MPO)は,サイクリングエルゴメーター(POWERMAX-V3 PRO,コナミスポーツライフ,日本)に内蔵されたアプリケーションを用いて測定した.

深部体温の指標として,直腸温(Tre)を1分間隔で測定した.

4. 研究成果

(1) 運動パフォーマンス

図1は,TT中のMPOを示している.トライアル×時間の交互作用は,Low群($p<0.05$)では見られたが,High群($p>0.05$)とFemale群($p>0.05$)では見られなかった.Low群では,2回目のTT中の平均出力は,1回目のTTと比較して,CON($p<0.05$)では有意に低下したが,COOL($p>0.05$)では低下しなかった.2回目のTT中の平均出力はCOOLの方がCONよりも高かったが,試験間に有意差は認められなかった($p>0.05$).

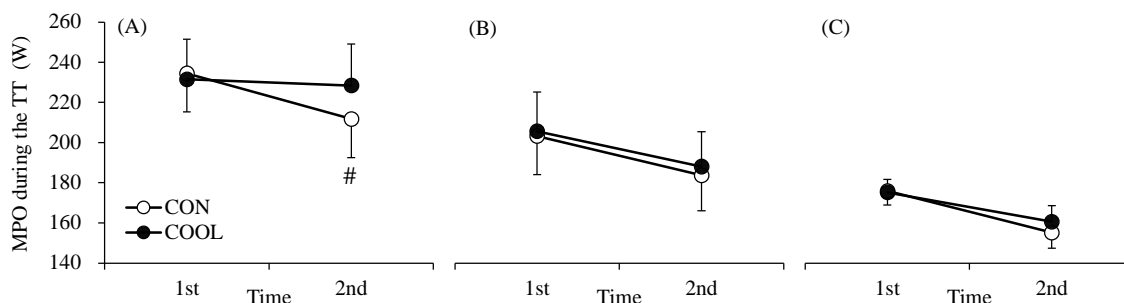


図1. Low群(A), High群(B), Female群(C)におけるタイムトライアル(TT)中の平均パワー出力(MPO).

値は平均値±標準誤差で示した(低:n=8,高:n=8,女性:n=8).

前・後半間のTTにおける有意な差($p<0.05$).

(2) 直腸温

図2にTreの反応を示す.Treに関する試行×時間の交互作用は,Low群($p<0.05$)とFemale群($p<0.05$)で認められたが,High群では認められなかった($p>0.05$).COOLは,CONと比較して,Low群においてハーフタイム中にTreを有意に減少させた($p<0.05$).このTreの低下は後半終了時まで持続した($p<0.05$).Female群では,COOLは,CONと比較して,後半中にTreを有意に減少させたが($p<0.05$),ハーフタイム中には減少させなかった($p>0.05$).

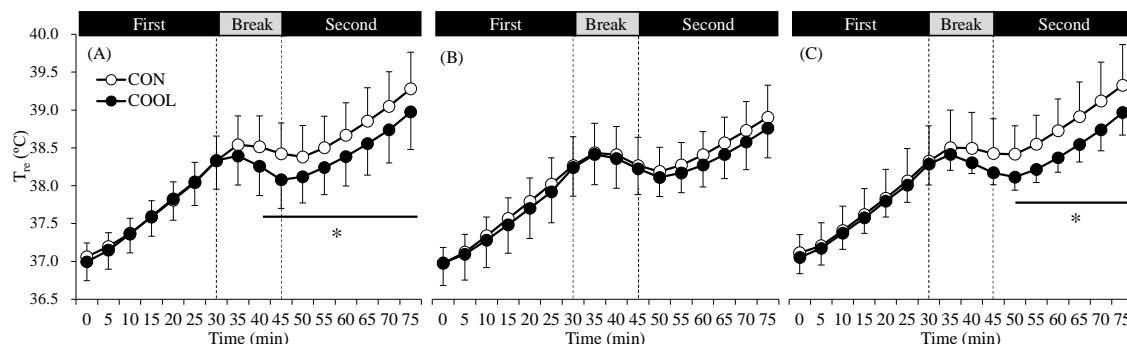


図2. Low群(A), High群(B), Female群(C)における直腸温(Tre).

値は平均値±標準偏差で示した(Low群:n=8,High群:n=8,Female群:n=7).

* 条件間での有意な差($p<0.05$).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yanaoka Takuma, Iwahashi Manami, Hasegawa Hiroshi	4. 巻 109
2. 論文標題 Effects of mixed-method cooling between exercise bouts on thermoregulation and cycling time-trial performance in the heat	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Thermal Biology	6. 最初と最後の頁 103329
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jtherbio.2022.103329	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 黒川 泰嗣, 岩橋 眞南実, 柳岡 拓磨, 和田 恵里佳, 長谷川 博	4. 巻 71
2. 論文標題 高体温誘発性過換気が発生する運動時のサージカルマスク着用が体温調節及び呼吸指標に与える影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 体力科学	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 黒川 泰嗣, 岩橋 眞南実, 柳岡 拓磨, 長谷川 博	4. 巻 71
2. 論文標題 暑熱環境下における鼻呼吸が持久性運動時の動脈血二酸化炭素分圧へ与える影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 体力科学	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hasegawa Hiroshi, Nakamura Rei, Chaen Yudai, Yanaoka Takuma, Iwahashi Manami	4. 巻 69
2. 論文標題 Effect of temperature for cooling leg on intermittent exercise performance during half-time in a hot environment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 307～316
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7600/jspfsm.69.307	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 長谷川博, 柳岡拓磨	4. 巻 37
2. 論文標題 スポーツ現場におけるアイシングの活用を再考する -飲む アイススラリー-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 臨床スポーツ医学	6. 最初と最後の頁 1326 ~ 1329
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 柳岡拓磨, 長谷川博	4. 巻 37
2. 論文標題 スポーツ現場におけるアイシングの活用を再考する -着ける クーリングベスト&保冷剤-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 臨床スポーツ医学	6. 最初と最後の頁 1330-1333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 沼田麗, 柳岡拓磨, 長谷川博, 黒坂志穂, 黒川泰嗣.
2. 発表標題 暑熱下におけるアイススラリー摂取がソフトボールの投手の深部体温に与える影響
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柳岡拓磨, 岩橋真南実, 黒川泰嗣, 長谷川博
2. 発表標題 暑熱環境下のハーフタイムにおける身体混合冷却効果は、体格が大きい集団で高い
3. 学会等名 第35回運動と体温の研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳岡拓磨, 岩橋真南実, 黒川泰嗣, 長谷川博
2. 発表標題 暑熱下における身体混合冷却の効果は体格によって異なる
3. 学会等名 第76回日本体力医学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yanaoka T, Iwahashi M, Kurokawa Y, Hasegawa H
2. 発表標題 A comparison of mixed-method cooling effects between different body surface area-to-body mass ratio groups in the heat.
3. 学会等名 2021 Sports Medicine Australia Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳岡拓磨, 岩橋真南実, 黒川泰嗣, 長谷川博
2. 発表標題 暑熱環境下におけるハーフタイム中の身体内部・外部冷却を用いた混合冷却が高強度運動パフォーマンスに与える影響
3. 学会等名 第9回日本アスレティックトレーニング学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳岡拓磨, 岩橋真南実, 黒川泰嗣, 長谷川博
2. 発表標題 体格特性が暑熱下におけるハーフタイム中の身体冷却効果に及ぼす影響
3. 学会等名 第75回日本体力医学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩橋眞南実, 柳岡拓磨, 黒川泰嗣, 長谷川博
2. 発表標題 暑熱環境下における運動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
3. 学会等名 第75回日本体力医学会
4. 発表年 2020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
---------	---------