

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H03241

研究課題名(和文) 暑熱環境下における運動能力低下に関する中枢性作用機序の解明と熱中症予防対策

研究課題名(英文) The role of central mechanism of exercise capacity decline in the heat and the prevention of heat illness in sports

研究代表者

長谷川 博 (Hasegawa, Hiroshi)

広島大学・総合科学研究科・教授

研究者番号：70314713

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は神経生理的手法、体温・循環調節系的手法を用いて、暑熱環境下における持久性運動能力の低下のメカニズムをヒト及び動物実験の両方から検討した。具体的には、動物を用いた実験において、異なる環境下の運動時の脳内神経伝達物質、核心温、体温調節反応の詳細を観察した。カフェインの運動能力向上には、線条体領域におけるドーパミン作動性神経の活性が関与していること、低濃度のカフェインはヒトの運動時の高体温による危険性が少ない用量であることなどを明らかにした。さらに、身体内部及び外部冷却による深部体温および運動能力への影響について検討できた。これらの成果を熱中症予防や競技力向上に関する提言として発信した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で用いた実験手法は、他の研究にはない独創的な方法を同時かつ正確に用いたことで、暑熱環境下における運動能力低下に関する生理的要因を多方面から分析することができた。また、研究成果を国内外で学会発表や論文として発表することができ、さらにはこれらの研究成果を熱中症セミナー等の活動においても研究資料やガイドブックを用いてわかりやすく公表することで、エビデンスベースの実践的な暑さ対策として広く提案することができた。これらの基礎・応用実験に関する体系的な研究の実施は、暑熱環境下での安全なスポーツ活動の実施とアスリートの競技力向上に寄与しうる内容に繋がるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study clarified the mechanism of the decrease in endurance exercise performance in the heat using neurophysiological method and thermoregulatory and circulatory methods from both human and animal experiments. We also proposed a new prevention of heat illness method. Specifically, in experiments using animals, brain neurotransmitters during exercise in different environments could be measured. We could observe the details of core temperature and thermoregulatory responses. In human experiments, the effects of internal and external cooling on core body temperature, brain temperature, and exercise performance could be examined. In addition, these results were transmitted as recommendations for heat illness prevention and competitiveness improvement.

研究分野：スポーツ生理学

キーワード：体温 熱中症 暑熱環境 運動能力

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

運動時の疲労の発現には多くの要因が複雑かつ相互に関連し、近年は核心温や脳温の上昇も運動の限界に関わる重要な要因として考えられている。すなわち、運動時に惹起される高体温は暑熱耐性の制限因子となり、末梢および中枢神経系を介して疲労感を誘発し、持久性運動能力の低下、ひいては熱中症を引き起こす。中枢性の要因として脳内神経伝達物質の増減や脳血流の低下などが注目され、中枢性メカニズムの解明は熱中症予防や運動能力の制限因子を探る上で重要である。さらには身体冷却などの方法も運動時の暑熱対策として注目されている。しかし、運動能力向上に関する中枢性のメカニズムや具体的な暑熱対策の効果や安全性は明らかになっていなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的はヒトおよび動物実験の両方から、これまでに確立してきた神経生理的手法、体温・循環調節系手法を用いて、暑熱環境下における持久性運動能力の低下の中枢性メカニズムを明らかにし、新たな熱中症予防策を提案することであった。

3. 研究の方法

- (1) 動物を用いた実験では、異なる環境下における運動時の脳内神経伝達物質、核心温、体温調節反応の詳細について、テレメトリー法(無線式小型体温計)、脳内マイクロダイアリシス(微量透析)-HPLC法(液体クロマトグラフィー)、呼吸代謝測定法を組み合わせた実験系を用いて検討した。さらに低濃度のカフェインが神経伝達物質、運動能力、体温調節反応に及ぼす影響について検討した。
- (2) ヒトを用いた実験では、主に国立スポーツ科学センターと共同で、アイススラリーの摂取が脳温に及ぼす影響について磁気共鳴スペクトロスコピー法を用いて検討した。また、暑熱下での低濃度(3mg/kg)のカフェイン摂取による運動能力向上に関わる体温および認知機能への影響と競技現場への応用、高体温による運動能力および認知機能低下における脳循環調節の関与、身体冷却などの実践的暑熱対策の効果と安全性を検討した。

4. 研究成果

- (1) 動物を用いた実験ではトレッドミルチャンバーを用いて、異なる環境下における運動時の脳内神経伝達物質、核心温、体温調節反応の詳細について、テレメトリー法、脳内マイクロダイアリシス-HPLC法、呼吸代謝測定法を組み合わせた実験系を用いて測定できた(図1)。また、エルゴジェニック効果として期待されているカフェインの中枢作用について、脳特定部位における神経伝達物質動態が評価できるマイクロダイアリシス法、低ストレス条件で深部体温が測定できるテレメトリー法、熱産生の直接的な指標として酸素摂取量が測定できる小動物代謝計測法を組み合わせた実験系を用いて、実験を行うことができた。主な結果として、カフェインの運動能力向上効果には線条体領域におけるドーパミン作動性神経の活性が関与していること、低濃度のカフェインは運動時の高体温による危険性が少ない用量であることなどを明らかにすることができた。

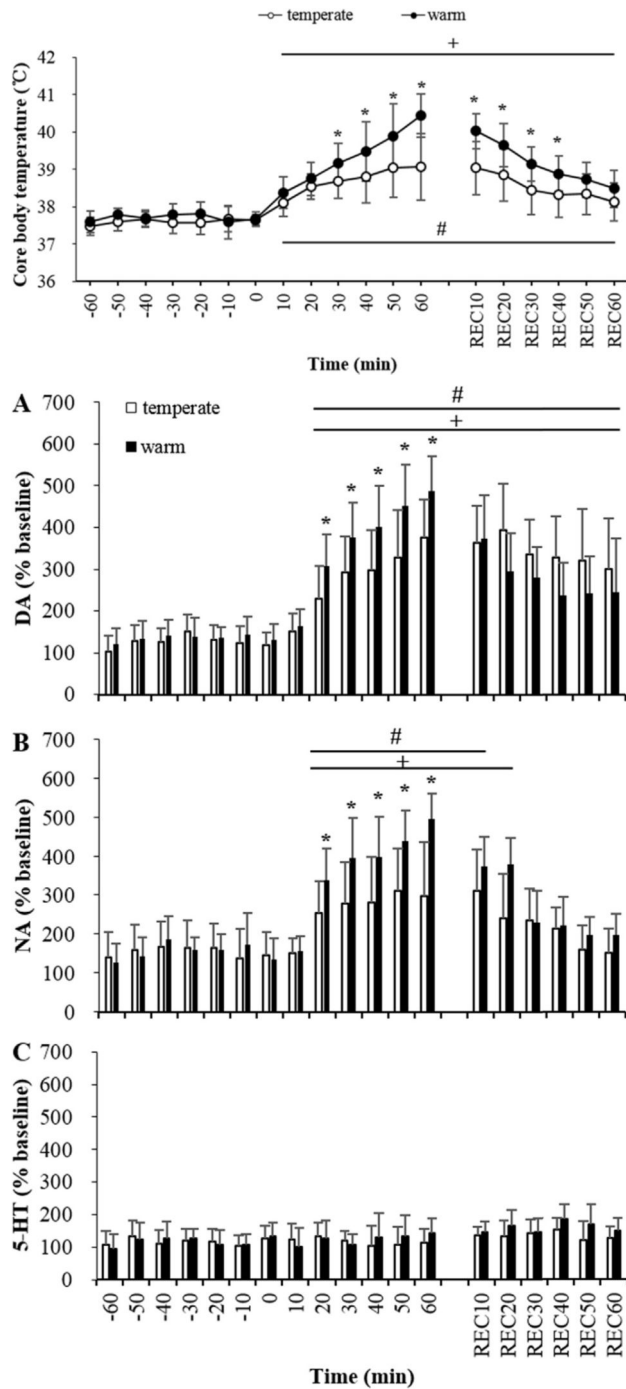


図1 異なる環境下における深部体温および脳内神経伝達物質の変化 (Journal of Thermal Biology, 2018)

(2) ヒトを用いた実験では、アイススラリーの摂取が脳温に及ぼす影響について磁気共鳴スペクトロスコピー法を用いて検討した結果、アイススラリーの摂取は直腸温や温熱感覚を低下させるとともに、脳温も低下させることが明らかとなった(図2)。また、高温環境が持久性運動中の脳および筋肉の循環動態に及ぼす影響を検討するため、これまでの体温調節系の指標に加え、大腿部皮膚血流量、中大脳動脈血流速度、大腿部筋血流量、大腿部筋酸素飽和度を新たに測定項目として加えることができた。高温環境では体温調節のため、皮膚に血流が分配されることにより脳血流が低下するが筋血流には影響を及ぼさないことが示唆された。さらに運動前のアイススラリー摂取が中枢性疲労に及ぼす影響について脳認知機能の指標や身体冷却を用いた暑さ対策による脳冷却の可能性について検討できた。また、身体外部および内部冷却効果が持久性運

動能力，間欠的運動能力，脳認知機能に及ぼす影響について検討することができた．これらの研究成果を国内外で学会発表すると共に，論文として出版することができた．さらに，研究成果を学会におけるシンポジウムや熱中症セミナー等の活動においても研究資料やガイドブックを用いてわかりやすく公表することで，エビデンスベースの実践的な暑さ対策として広く提案することができた．

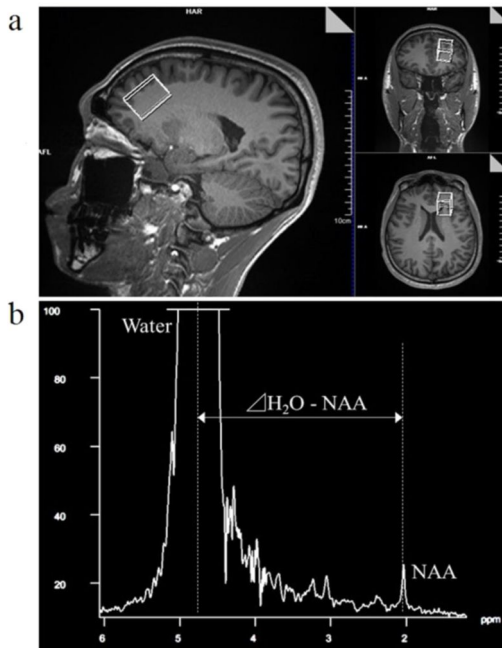


図2 アイススラリー摂取が脳温に及ぼす影響 (Scientific Report, 2019)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 長谷川博	4. 巻 25
2. 論文標題 スポーツにおける実践的暑さ対策とその応用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 NSCAジャパン機関誌ストレングス&コンディショニング	6. 最初と最後の頁 2-10
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 長谷川 博, 鬼塚純玲	4. 巻 35
2. 論文標題 暑熱環境下のパフォーマンスへの影響と身体冷却. 臨床スポーツ医学	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 臨床スポーツ医学	6. 最初と最後の頁 670-674
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 長谷川博	4. 巻 32
2. 論文標題 暑熱環境下で行うべき体温上昇と脱水の戦略的リカバリー	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コーチングクリニック	6. 最初と最後の頁 4-7
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 Onitsuka S, Nakamura D, Onishi T, Arimitsu T, Takahashi H, Hasegawa H.	4. 巻 9
2. 論文標題 Ice slurry ingestion reduces human brain temperature measured using non-invasive magnetic resonance spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Report	6. 最初と最後の頁 2757
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-018-21086-6.	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 Zheng X, Takatsu S, Ishikawa R, Hasegawa H.	4. 巻 71
2. 論文標題 Moderate intensity, exercise-induced catecholamine release in the preoptic area and anterior hypothalamus in rats is enhanced in a warm environment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Thermal Biology	6. 最初と最後の頁 12-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jtherbio.2017.11.003. Epub 2017 Nov 9.	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 該当する

1. 著者名 Chaen Yudai, Onitsuka Sumire, Hasegawa Hiroshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Wearing a Cooling Vest During Half-Time Improves Intermittent Exercise in the Heat	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 711-711
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00711	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14件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Chaen Y, Shiramoto A, Shiraishi, A, Hasegawa H.
2. 発表標題 Wearing a cooling vest during half-time improves intermittent exercise performance in the heat
3. 学会等名 23th Annual Congress of European College of Sports Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 茶園雄大, 鬼塚純玲, 長谷川 博.
2. 発表標題 暑熱環境下でのハーフタイムにおけるクーリングベスト着用は間欠的運動能力を改善する
3. 学会等名 第73回日本体力医学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川博
2. 発表標題 スポーツにおける競技力向上と熱中症予防のための身体冷却
3. 学会等名 朝日新聞スポーツシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川博
2. 発表標題 競技現場におけるクーリングベストの有効性
3. 学会等名 JISS 暑熱対策セミナー 東京2020 オリンピック・パラリンピックに向けた暑熱環境対策 ～身体冷却の実際～（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川博
2. 発表標題 2020年に向けた暑熱環境対策の現在 「研究者からの最新研究 - 身体冷却-」.
3. 学会等名 第25回日本運動生理学会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鬼塚純玲, 中村大輔, 大西貴弘, 有光琢磨, 高橋英幸, 長谷川 博.
2. 発表標題 暑熱環境下におけるアイススラリーの摂取はヒトの脳温を低下させる
3. 学会等名 第72回日本体力医学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 牧野舜, 福原幸樹, 三上幸夫, 木村浩彰, 長谷川 博.
2. 発表標題 異なる温度環境下における下肢切断者の運動体温調節反応 健常者との比較から .
3. 学会等名 第72回日本体力医学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長谷川博
2. 発表標題 最新研究を基に効果的な暑さ対策と熱中症予防を目指す
3. 学会等名 ALL HIROSHIMA SPORTS SUMMIT (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長谷川博
2. 発表標題 暑熱環境下における運動パフォーマンスと暑さ対策 - 最新研究を基に効果的な暑さ対策を目指す -
3. 学会等名 第5回NSCA国際カンファレンス (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長谷川 博, 中村 励, 茶園雄大, 篠崎大祐, 内海有香.
2. 発表標題 暑熱環境下でのハーフタイム時における脚部冷却温度の違いが間欠的運動パフォーマンスに及ぼす影響.
3. 学会等名 第74回日本体力医学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sugane H, Chaen Y, Hasegawa H.
2. 発表標題 Influence of high temperature environment on circulatory dynamics of brain and active muscle during endurance exercise.
3. 学会等名 The 24th Annual Congress of European College of Sports Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川 博
2. 発表標題 スポーツにおける熱中症予防と競技力向上のための暑さ戦略
3. 学会等名 第15回とくしまスポーツ懇話会 徳島県あわスポーツ・医科学強化プロジェクト(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川 博
2. 発表標題 スポーツにおける熱中症予防と競技力向上のための身体冷却
3. 学会等名 第74回日本体力医学会スポンサーシンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川博
2. 発表標題 スポーツにおける熱中症と実践的暑さ対策
3. 学会等名 広島県トレーナー協会 身体を守る教育セミナー(招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 長谷川博	4. 発行年 2018年
2. 出版社 杏林書院	5. 総ページ数 177
3. 書名 ステップアップ運動生理学	

1. 著者名 川原貴, 高橋英幸, 長谷川博 監修	4. 発行年 2017年
2. 出版社 独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター	5. 総ページ数 43
3. 書名 競技者のための暑熱対策ガイドブック	

1. 著者名 Zheng X, Hasegawa H	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 221
3. 書名 Physical activity and the brain	

1. 著者名 長谷川博	4. 発行年 2017年
2. 出版社 講談社	5. 総ページ数 3
3. 書名 「暑い環境下でも高いパフォーマンスを発揮する方法とは？」もっと使えるスポーツサイエンス	

〔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
研究 分 担 者	中村 大輔 (Nakamura Daisuke) (20735964)	立教大学・コミュニティ福祉学部・特任准教授 (32686)	
研究 分 担 者	石渡 貴之 (Ishiwata Takayuki) (40435235)	立教大学・コミュニティ福祉学部・教授 (32686)	