

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：33111

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2021

課題番号：19K24280

研究課題名（和文）運動時低体温症の発症メカニズムの解明-運動時温度感覚に着目して-

研究課題名（英文）Elucidation of the mechanisms of hypothermia during exercise - Focusing on the thermal sensation during exercise

研究代表者

藤本 知臣（Fujimoto, Tomomi）

新潟医療福祉大学・健康科学部・講師

研究者番号：70847798

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、運動時低体温症の発症メカニズムの1つとして皮膚や身体深部からの温度入力が増加する可能性に着目し、運動やそれに関連する運動指令および筋機械受容体の働きが常体温時および体温低下時の温度感覚に及ぼす影響を検討した。成果として、1) 特に体温低下時の全身の温度感覚は運動時によって鈍化すること、2) 運動指令および筋機械受容体は常体温時の全身および皮膚の温度感覚に影響を及ぼさない可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒトが寒さから身を守る行動には身体各部からの温度情報を基に寒さを感じる事が重要である。我々の研究結果から、運動中には体温が低下しても“寒い”という感覚を感じにくくなる事が運動時低体温症の発症メカニズムである可能性が示唆された。しかしながら、この温度感覚の鈍化には運動指令や筋機械受容体といった運動関連要因は関連しない可能性が示唆された。これらより、運動時低体温症を防ぐためには、事前に体温を十分に高めておくことや、寒さを感じる前に上着を着用し体温の低下を防ぐことが重要であることが示唆されます。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focused on the possibility that thermal input from the skin and deep body parts changes during exercise as one of the triggering mechanisms of exercise-induced hypothermia, and examined the effects of exercise and exercise-related central commands and muscle mechanoreceptor function on thermal sensation during normothermia and hypothermia.

Our results suggest that 1) whole-body thermal sensation, especially during hypothermia, is blunted during exercise, and 2) exercise-related commands and activation of muscle mechanoreceptors may not affect whole-body and skin thermal sensations during normothermia.

研究分野：運動生理学

キーワード：運動時低体温症 ふるえ 温度感覚 運動指令 筋機械受容器

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、競技人口が増加しているトライアスロンにおけるスイムやオープンウォータースイミングなどの屋外水中スポーツが低水温環境下で行われる。これらの水中運動時には、運動によって筋において多量の熱を産生しているにもかかわらず、低体温症に陥ることで競技の継続が困難になり (Castro et al. 2009)、時には命を落とす危険さえある。そのため、低水温環境下における屋外水中スポーツ競技の安全性および運動パフォーマンス向上のためには、運動時低体温症の発症を防ぐことが非常に重要である。

ヒトの体温は産熱と放熱のバランスによって調節されており、寒冷に暴露されることで体温が低下すると、体温調節反応であるふるえなどが生じることで熱を産生し、体温を維持する。近年、申請者らの研究グループは、水中運動時において深部体温が低下する独自の実験モデルを用いて、体温が低下した際に生じるふるえの特性について検討し、安静時と比較して運動時には体温低下時にふるえの開始が遅れ(ふるえの体温閾値が変化する)、運動時にも関わらず生じる低体温症の発症要因の1つである可能性を示した (Fujimoto et al. 2019)。体温調節反応の閾値の変化は主に体温調節中枢によるものであることから、我々は運動時低体温症の発症に皮膚や身体深部からの温度入力が減弱している可能性を考えたが、その点については明らかではない。そこで本研究では、運動時温度感覚と運動関連要因の影響に着目して、運動時低体温症の発症メカニズムの解明と予防法の開発につながる知見を得ることを目指した。

2. 研究の目的

本研究では、運動時の温度感覚と運動関連要因の影響に関して以下の課題を設定し、検討した。

(1) 運動が体温低下時の温度感覚に及ぼす影響

・運動が皮膚温や深部体温低下時の温度感覚にどのような影響を及ぼすかを検討する。

(2) 運動指令および筋機械受容器が温度感覚に及ぼす影響

・運動時には脳などの高位中枢から生じる運動指令や活動筋からのフィードバック情報が生理応答に影響を及ぼすことから、これらが温度感覚にどのような影響を及ぼすかを検討する。

3. 研究の方法

(1) 運動が体温低下時の温度感覚に及ぼす影響

11名の健康な成人男性を対象に、水温18℃の冷水環境下において安静浸水を行う Rest 条件と低強度自転車運動(負荷30-60W, 回転数30rpm)を行う Exercise 条件の2条件を行った。各条件において、浸水直前の陸上安静時(Land)、浸水開始後5-25分目(Tes-0.0)、体温が0.5及び1.0℃低下した時点(Tes-0.5, -1.0)で全身の温度感覚および局所皮膚温冷覚閾値を測定した。浸水はTes-1.0時点の測定が終了するか、被験者が寒さに耐えきれなくなるまでとした。その他の測定項目は食道温(深部体温の指標)、皮膚温、換気量、酸素摂取量、動脈血圧、心拍数とした。全身の温度感覚は0(我慢できないほど寒い)から8(我慢できないほど暑い)までの9ポイントの温度感覚表を用いて測定した。また、局所皮膚温度感覚はペルチェ素子でできた皮膚温冷覚測定装置を用いて行い、温かさ及び冷たさを感じ始めた時点の皮膚温度と測定開始時の皮膚温度の差分を局所皮膚温度感覚の指標として用いた。

(2) 運動指令および筋機械受容器が温度感覚に及ぼす影響

3名の健康な成人男性を対象に、安静を維持する Rest 条件、自発的に低強度自転車運動(負荷0W, 回転数60rpm)を行う Active-Ex 条件、及び対象者がペダルに足を乗せた状態で研究補助者がペダルを回転数60rpmで回転させる Passive-Ex 条件の3条件において、前腕部における局所皮膚温度感覚測定を行った。測定項目は、全身の温度感覚、局所皮膚温冷覚閾値、皮膚温、心拍数、動脈血圧、下肢筋群(大腿直筋、大腿二頭筋長頭、前脛骨筋、腓腹筋内側頭)の筋活動とした。局所皮膚温度感覚はペルチェ素子でできた皮膚温冷覚測定装置を用いて行い、温かさ及び冷たさを感じ始めた時点の皮膚温度と測定開始時の皮膚温度の差分を局所皮膚温度感覚の指標として用いた。

4. 研究成果

(1) 運動が体温低下時の温度感覚に及ぼす影響

本研究では、運動時における熱産生が生じていても深部体温が徐々に低下するように、低強度運動モデルを用いて実験を行った。その結果、浸水後の食道温は両条件で同様に低下し、各深部体温レベルで条件間の差は見られなかった。平均皮膚温は浸水直後に大きく低下し、その後は一定のレベルを維持した。また、各深部体温レベルで条件間の差は見られなかった。これらのことから、本研究においては Rest 及び Exercise 条件で同様の体温状態であったことが示唆される。

局所皮膚冷覚は、部体温レベルおよび条件間の差は見られなかったことから、深部体温の低下および本研究で用いたような低強度の運動には影響を受けない可能性が示唆された(図1)。全

身の温度感覚は、皮膚温や食道温の低下に伴っていずれの条件においても浸水後に徐々に低下し、Tes-1.0時点においてRest条件よりもExercise条件で高値を示した(図2)。これは、深部体温の低下によって生じる全身の温度感覚が低強度運動によって鈍化したことが示唆される(Fujimoto et al. 2021)。

(2) 運動指令および筋機械受容器が温度感覚に及ぼす影響

本研究では、Passive-Ex条件で筋機械受容器のみが働き、Active-Ex条件では運動指令および筋機械受容器のいずれも働くことから、RestおよびPassive-Ex条件の比較によって筋機械受容器の影響を検討でき、Passive-ExおよびActive-Ex条件の比較によって運動指令の影響を検討できると考えた。

まず、筋機械受容器の働きが局所皮膚温度感覚に及ぼす影響について、温覚および冷覚のいずれの指標においてもRestおよびPassive-Ex条件で差は見られなかった。このことは、本研究で用いたような低強度の運動時には筋機械受容器の働きが局所皮膚温度感覚に影響を及ぼさない可能性を示唆している(図3A, B)。

また、運動指令が局所皮膚温度感覚に及ぼす影響について、温覚および冷覚のいずれの指標においてもPassive-ExおよびActive-Ex条件で差は見られなかった。このことは、本研究で用いたような低強度の運動時には運動指令も局所皮膚温度感覚に影響を及ぼさない可能性を示唆している(図3A, B)。

本研究は、対象者3名のみでしか検討できておらず、今後は対象者を追加して更なる検討を行う必要がある。また、本研究では運動指令および筋機械受容器の働きの両方が影響すると考えられるActive-Ex条件においても温覚および冷覚のいずれもRest条件と差が見られなかった。そのため、今後はRestおよびActive-Ex条件で差が見られるような実験プロトコルを使用して、運動指令と筋機械受容器の働きの影響を検討していく。

<得られた成果の国内外における位置づけとインパクト>

本研究では、運動時低体温症の発症メカニズムの解明と予防法の開発につながる知見を得ることを目指し、運動中に体温が低下する場合の温度感覚と、温度感覚に影響を及ぼしうる運動関連要因として運動指令および筋機械受容器の働きが温度感覚に及ぼす影響について検討した。研究課題(1)で得られた成果は、運動が温度感覚の減弱(体温の低下を感じにくくなる)ふるえ熱産生の減弱(体温調節反応が生じにくくなる)といった経路を介して運動時低体温症の発症に影響を及ぼしている可能性を示唆している。このことから、特に低温環境下における登山、スキーや水辺活動(水中レジャーやダイビングなど)においては運動中に体温が低下しないように処置することや、「寒さ」を感じる前に事前に温浴や防寒着の着用を行うことが重要であり、本研究の成果を利用することで運動時低体温症の予防につなげることができる。一方、依然として運動時に温度感覚が減弱するメカニズムについては不明な点が残されており、研究課題(2)を継続するとともに新たな要因について検討していく必要

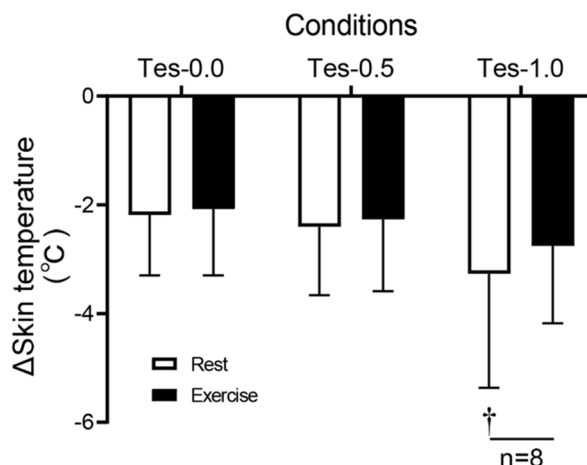


図1. 各深部体温レベルにおける局所皮膚冷覚
† P < 0.05, vs. Rest条件におけるTes-0.0

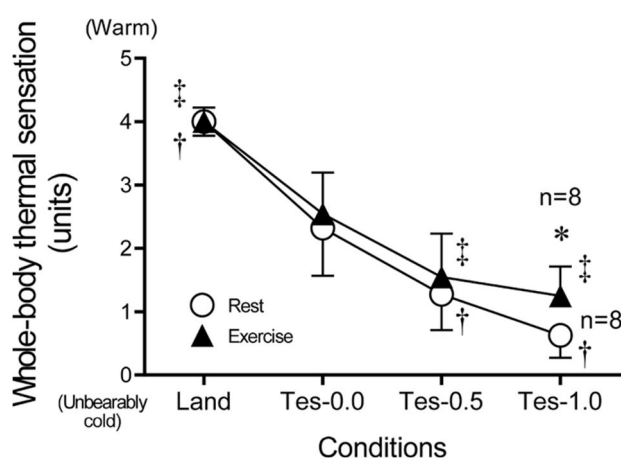


図2. 各深部体温レベルにおける全身温度感覚
* P < 0.05, vs. Rest, † P < 0.05, vs. Rest条件におけるTes-0.0

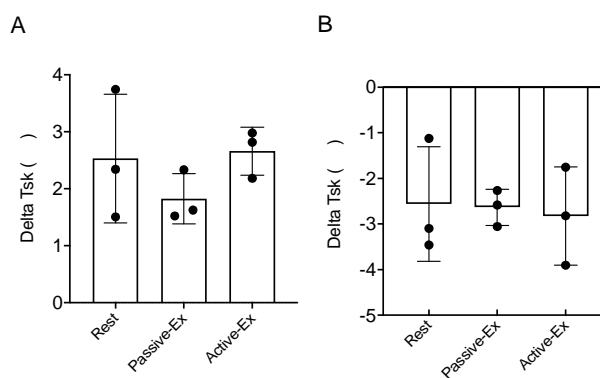


図3. 局所皮膚温覚(A)および冷覚(B)

がある。なお、研究課題(1)の成果については、すでに当該分野におけるトップジャーナルに掲載されていることから、国際的にも高く評価されていると考えられる。

<今後の展望>

ヒトの寒さに曝された時には、適切な体温調節反応が生じることで体温を維持し、必要な生命活動を継続することができる。しかしながら、体温調節反応の発生メカニズムについては依然として不明な点が多く残されている。近年、温度を感知して活性化される温度感受性 TRP チャンネルがノーベル賞を受賞したことで脚光を浴びている。しかしながら、ヒトの TRP チャンネルが体温調節反応に及ぼす影響についてはこれまでほとんど明らかになっていない。そのため、今後はヒトの体温調節反応に温度感受性 TRP チャンネルがどのように貢献しているか、また、運動時や寒冷純化による体温調節反応の変化に温度感受性 TRP チャンネルがどのように関わっているかを明らかにすることで、寒冷環境下での運動時の安全性や運動パフォーマンスの向上につながる方策を検討していく必要がある。

<引用文献>

1. Castro RR, Mendes FS, Nobrega AC. Risk of hypothermia in a new Olympic event: the 10-km marathon swim. *Clinics (Sao Paulo)*.64:351-356. 2009
2. Fujimoto T, Tsuji B, Sasaki Y, Dobashi K, Sengoku Y, Fujii N, Nishiyasu T. Low-intensity exercise delays the shivering response to core cooling. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 316:R535-R542. 2019
3. Fujimoto T, Fujii N, Dobashi K, Cao Y, Matsutake R, Takayanagi M, Kondo N, Nishiyasu T. Effects of low-intensity exercise on local skin and whole-body thermal sensation in hypothermic young males. *Physiol Behav*. 240:113531. 2021

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 Fujimoto Tomomi, Fujii Naoto, Dobashi Kohei, Cao Yinhang, Matsutake Ryoko, Takayanagi Masataka, Kondo Narihiko, Nishiyasu Takeshi	4. 巻 240
2. 論文標題 Effects of low-intensity exercise on local skin and whole-body thermal sensation in hypothermic young males	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physiology & Behavior	6. 最初と最後の頁 113531 ~ 113531
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physbeh.2021.113531	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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Tomomi Fujimoto, Naoto Fujii, Kohei Dobashi, Yinhang Cao, Ryoko Matsutake, Takeshi Nishiyasu.
2. 発表標題 The effects of low-intensity exercise on local and whole-body thermal sensations in hypothermic resting humans.
3. 学会等名 18th International Conference on Environmental Ergonomics（国際学会）
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 藤本 知臣, 藤井 直人, 土橋 康平, 曹 銀行, 松竹 涼子, 近藤 徳彦, 西保 岳
2. 発表標題 低強度運動が体温低下時の局所および全身温度感覚に及ぼす影響
3. 学会等名 第74回 日本体力医学会大会
4. 発表年 2019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
---------	---------