

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：30107

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K20032

研究課題名（和文）屋外暑熱環境下における最適な身体冷却法の探索的研究-輻射熱に着目して-

研究課題名（英文）Exploratory Research on Optimal Body Cooling Strategies in Outdoor Hot Environments - Focusing on Solar radiation -

研究代表者

内藤 貴司 (Naito, Takashi)

北海学園大学・法学部・講師

研究者番号：20806278

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）：本研究の目的は屋外暑熱環境下において、体温動態および持久的運動能力に及ぼす種々の輻射熱の影響を明らかにすること、高輻射熱における種々の身体冷却の影響を明らかにすることであった。本研究の結果から、暑熱環境下に日光による輻射熱が加わると、皮膚温が持久的運動能力の決定要因になること、運動前のアイススラリー摂取と送風冷却による複合的な身体冷却は、アイススラリー摂取のみと比べ持久性運動能力の有意な改善を導かないことが明らかとなった。運動間のアイススラリー摂取および送風冷却は、腹部からの深部体温の推定値、鼓膜温と平均皮膚温をアイススラリー摂取のみに比べ低下させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は競技場面における運動能力向上のみならず、社会に対する炎天下での農作業や熱中症予防などの安全な生涯スポーツの実施に貢献できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study were to (1) clarify the effects of various types of solar radiation on body temperature dynamics and endurance exercise capacity in outdoor heat, and (2) clarify the effects of various types of body cooling in high solar radiation. The results of this study revealed that (1) skin temperature is a determinant of endurance exercise capacity when solar radiation from sunlight is added to a hot environment, and (2) combined body cooling by ice slurry ingestion and fan cooling before exercise did not lead to significant improvement in endurance exercise capacity compared to ice slurry ingestion alone. (3) Ice slurry ingestion and fan cooling between exercise reduced deep body temperature estimates from the abdomen, tympanic temperature and mean skin temperature compared to ice slurry ingestion alone.

研究分野：運動生理学、環境生理学

キーワード：輻射熱 日射量 晴天 身体冷却 深部体温 平均皮膚温 運動能力

1. 研究開始当初の背景

今日、世界中の気温が徐々に上昇する中で、スポーツ活動は高温下での運動が強いられている。高温下で運動を継続すると、深部体温は過度に上昇し、持久的運動能力を惹起するため、身体の温度をうまく調節することが重要である。そこで申請者らは、高温下(気温 35℃、相対湿度 30%)でアイススラリー(微小な氷と水が混ざった水溶液)摂取による身体冷却が深部体温を低下させることにより、身体に貯めることができる貯熱量を増加させ(Naito et al., 2017)、持久的運動能力の低下を抑制することを明らかにした(Naito & Ogaki, 2017)。しかし、この研究を含む冷却研究のほとんどは実験室での測定で得られた知見である。

暑さを決定する要因は、気温や湿度に加えて屋外では日射量(以下: 輻射熱)がある。環境省や日本スポーツ協会は湿球黒球温度(Wet-Bulb Globe Temperature, 以下: WBGT)を暑さ指数として発表しており、WBGTは「 $WBGT(°C) = 0.7 \times \text{湿球温度(湿度の指標)} + 0.2 \times \text{黒球温度(輻射熱の指標)} + 0.1 \times \text{乾球温度(気温)}$ 」で算出されている。この公式から、輻射熱は気温よりも係数が2倍あり、暑さを決める重要な要因の一つと考えられる。これまでに輻射熱の上昇は深部体温の上昇に寄与すること(Otani et al., 2016)が報告されているが、この研究も実験室での検討である。実験室での輻射熱の検討は照射装置からの一方向照射のため、照り返しがなく本来模さなければならぬ日光下の条件を反映できていない。輻射熱を伴う暑熱下において、持久的運動能力の低下は皮膚温上昇の関与も考えられる。皮膚温の上昇は深部体温-皮膚温の温度格差を減少させ、体外への熱の移動を制限させる。この熱移動の制限は、更なる深部体温上昇を惹起する。故に、輻射熱の度合いは皮膚温および深部体温動態を変化させる可能性が考えられる。一方、申請者が用いてきた冷却方略のアイススラリー摂取は深部体温を低下させることには有効であるが、皮膚温を低下させることはできない。皮膚温を低下させる身体冷却方略を併せることで、深部体温の過度な上昇を防ぐことができると予想される。したがって、輻射熱を伴う屋外暑熱下では深部体温の上昇に加えて皮膚温の上昇も抑制する更なる身体冷却法の探索が必要となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は屋外暑熱環境下において、体温動態および持久的運動能力に及ぼす種々の輻射熱の影響を明らかにすること、高輻射熱における種々の身体冷却の影響を明らかにすること、間欠的運動時の体温動態に及ぼす種々の身体冷却の影響を明らかにすることとした。

3. 研究の方法

研究1: 7名の男性被験者は、日光下(快晴: 輻射熱約 1000 W/m²)もしくは日陰下(曇天: 約 300 W/m²)で自転車エルゴメーターを用いて60%V_{O2}max強度で疲労困憊まで運動を行った。自転車エルゴメーターは、運動開始時に方位角(太陽に対する身体の向き)を0°になるように設定した。2条件はランダムな順で実施し、1週間以上の期間を空けて行った。体温動態は直腸温、上腕温、胸部温、大腿温および下腿温を測定した。全ての実験内容は国立スポーツ科学センターの倫理審査委員会で認められ、被験者には十分説明を実施し、同意のもと行った。

研究2: 7名の男性被験者は、運動開始30分前から5分ごとに6回の体重1kg当たり1.25gの常温の飲料摂取(CON)、アイススラリーの摂取(ICE)もしくはアイススラリーの摂取に加えて送風冷却(IAF)のいずれかを実施した。その後、日光下(快晴: 輻射熱約 1000 W/m²)で自転車エルゴメーターを用いて主観的運動強度(Rating of perceived exertion: RPE, Borg scale) 15で45分間の自転車運動を行った。自転車エルゴメーターは、運動開始時に方位角(太陽に対する身体の向き)を0°になるように設定した。2条件はランダムな順で実施し、1週間以上の期間を空けて行った。体温動態は直腸温、上腕温、胸部温、大腿温および下腿温を測定した。持久的運動能力は回転数、負荷、平均パワー出力で評価した。全ての実験内容は国立スポーツ科学センターの倫理審査委員会で認められ、被験者には十分説明を実施し、同意のもと行った。

研究3: 6名の男性被験者は、テニス競技を想定した間欠的運動を実施した。間欠的運動のプロトコルは、26.6mを6秒間で走り切り(平均時速16 km/h)、その後休息を20秒間取るように設定する。この26秒間の運動と休息のサイクルを1ポイントとする。1ゲームは6ポイント、1セットは8ゲームで設定し、4セットで構成する。国際テニス連盟の規則に準拠し、奇数ゲーム間に90秒、セット間に120秒の休息を設定した。身体冷却

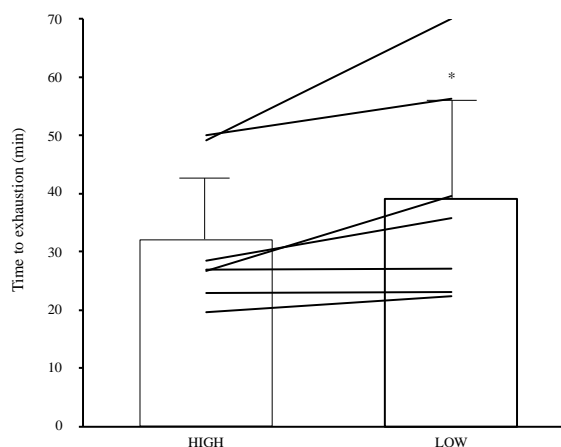


図1 疲労困憊までの時間

は2試行を実施し、被験者はゲームおよびセット間の休息時にICE試行では体重1 kg当たり1 gのアイススラリー(-1)を摂取し、COM試行ではICE試行と同様の飲料摂取に加えて、送風衣服を着用した。全ての実験内容は福山市立大学の倫理審査委員会で認められ、被験者には十分説明を実施し、同意のもと行った。

4. 研究成果

研究：疲労困憊までの運動時間は、快晴下が曇天下に比べ有意に短かった(図1)。深部体温である直腸温は輻射熱の影響を受けない、一方で平均皮膚温は快晴下で有意に高値を示し、特に上腕温、大腿温および下腿温で有意な差が認められた(図2)。したがって、暑熱環境下に日光による輻射熱が加わると、皮膚温が持続的運動能力の決定要因になることが示唆された。

研究：運動前の直腸温はICEおよびIAF条件がCON条件よりも低い傾向が見られた。一方で、平均皮膚温は3条件で同様であった。運動中の直腸温はICE条件がCONおよびIAF条件に比べ、低い傾向が見られた。平均パワー出力はICE条件がCONおよびIAF条件に比べ、高い傾向がみられた。主観的指標は3条件で同様であった。したがって、運動前のアイススラリー摂取と送風冷却の複合仕様は、今回の研究では送風冷却による恩恵はなく、仮説とは異なる研究結果となった。運動前の身体冷却において、送風冷却では冷却機序である汗の蒸発の促進がなかったことが要因として考えられた。

研究：運動間のアイススラリー摂取および送風冷却は、腹部からの深部体温の推定値、鼓膜温と平均皮膚温をアイススラリー摂取のみに比べ低下させた。加えて、温熱感覚や温熱不快感をアイススラリー摂取のみに比べ低減させることが示された。

本研究の結果から暑熱環境下に加えた輻射熱は晴天などでその値が高い場合、曇天よりも皮膚温の上昇や深部-皮膚温度較差を狭めるため、持続性運動能力を低下させることから、輻射熱がない場合に比べ更なる暑さ対策が必要ながら、運動前のアイススラリー摂取による体内冷却と送風冷却による体外冷却の複合は体温動態および運動能力を改善しないことが示された。一方で、運動間によるこれらの冷却は深部体温および平均皮膚温の上昇を抑制し、有用である可能性が示唆された。これらの知見は競技場面における運動能力向上のみならず、社会に対する炎天下での農作業や熱中症予防などの安全な生涯スポーツの実施に貢献できると考えられる。

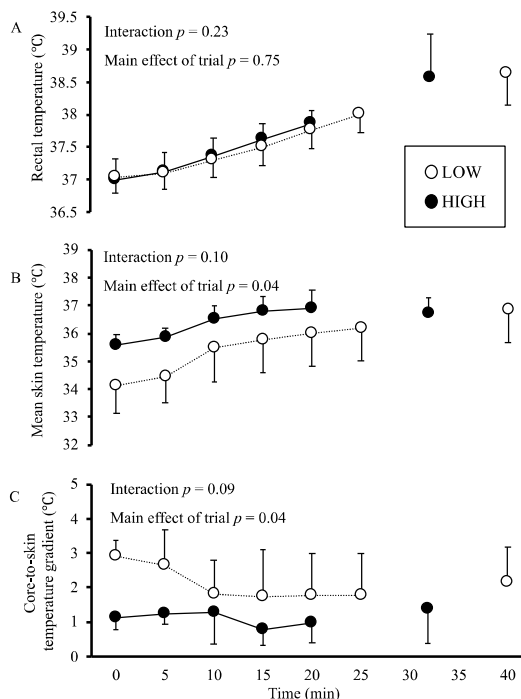


図2 体温動態

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 0件）

1. 著者名 NAITO Takashi, SAITO Tatsuya, MURAIISHI Koji, TAKAHASHI Hideyuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparison of the effects of high and low levels of solar radiations on exercise capacity in hot outdoor environments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23736/S0022-4707.22.13627-3	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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 内藤貴司、斎藤辰哉、村石光二、高橋英幸
2. 発表標題 屋外暑熱環境下における輻射熱の違いが種々の体温動態および持久性運動能力に及ぼす影響
3. 学会等名 北海道体育学会70周年兼第60回記念学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内藤貴司
2. 発表標題 高輻射熱を伴う屋外暑熱環境下における 運動前のアイススラリー摂取が自己制御運動強度に及ぼす影響
3. 学会等名 九州体育・スポーツ学会第72回大会
4. 発表年 2023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
---------	---------