

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：34521

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K11513

研究課題名(和文) 環境因子が運動時の持久能力と体温調節に及ぼす影響：日射量と気流の複合的作用

研究課題名(英文) Combined and separate effects of solar radiation and air velocity on endurance exercise capacity and thermoregulation in the heat

研究代表者

大谷 秀憲 (Otani, Hidenori)

姫路獨協大学・医療保健学部・教授

研究者番号：00412023

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の結果から、暑熱環境下の運動時には、高日射量+弱風時では高日射量+強風時、日射無し+弱風時および日射無し+強風時よりも持久性運動能力が低下し、深部体温と皮膚温の上昇による体温調節系と心臓血管系の負担が増大することが明らかとなった。さらに、高日射量+弱風時は他の条件に比べ、温熱感(暑さの感覚)と疲労感の上昇が高くなることが確認された。熱放散量は、気流の強弱の影響よりも日射の有無の影響の方が影響力が大きく、高日射量条件下では日射による熱吸収により、体内に熱が流入することが確認された。暑熱環境下の運動時には、日射量が多く気流が少ない条件下では、熱中症を発生する危険性が高くなることが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の結果から、暑い環境下での運動や労働などの身体活動時には、日差しが強く風が弱い時は日差しが弱く風が弱い時や日差しが弱く風が強い時よりも体温が上昇しやすく、また、心臓への負担も増大するため、熱中症を発生する危険性が高くなることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The results of the present study indicate that combining high solar radiation and lower airflow have negative effects on thermoregulatory and cardiovascular strain and endurance exercise capacity than when combining high solar radiation and higher airflow and combining no solar radiation and lower/higher airflow during exercise-heat stress. Perceived thermal stress and fatigue are increased in combining high solar radiation and lower airflow compared with other conditions. The rate of total heat loss is affected by the differences in solar radiation than that in airflow in this study. Participants may have suffered a net heat gain from the environment using a solar simulator in conditions of combined high solar radiation and lower/higher airflow. These findings suggest that individuals exercising in the heat should recognize that a combination of an increase in solar radiation and a decrease in airflow may be at a relatively higher risk for developing exertional heat-related illness.

研究分野：運動生理学

キーワード：暑熱環境 身体活動 日射量 気流 体温調節 熱中症

1. 研究開始当初の背景

ヒトの運動能力と体温調節能は、身体を取り巻く外部環境の影響を受けることが知られている。なかでも、温熱環境の4要素と呼ばれる気温、湿度、日射、気流は特に影響力が強いことが知られている。

これまでに研究代表者らは、気温 30 の暑熱環境下において、湿度 (24%, 40%, 60%, 80% : Eur J Appl Physiol. 2012) 日射量 (0, 250, 500, 800 W/m² : Eur J Appl Physiol. 2016 [若手研究 B, 2014~2015 年度採択課題]) 気流 (0, 10, 20, 30 km/h : Appl Physiol Nutr Metab. 2018) の違いが 70%最大酸素摂取量強度の自転車エルゴメーター運動時における持久性能力と体温調節に及ぼす影響について検討した。その結果、暑熱環境下の運動時には、湿度の増加、日射量の増加、気流の減少に伴い持久性能力 (運動継続時間) と体温調節能が低下し、熱中症の危険性が高くなることを報告している。しかし、これまでに、これらの環境因子の複合的な作用が暑熱環境下の運動時における持久性能力と体温調節能に対してどのような効果をもたらすかについては検証が行われていなかった。

2. 研究の目的

日射量と気流の複合的な作用が、暑熱環境下の運動時における持久性能力と体温調節に及ぼす影響について検証することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 被験者

成人男性 10 名とした。

(2) 環境設定

気温 30、湿度 50% に設定した。

(3) 実験条件

日射量と気流の設定を、800 W/m² + 30 km/h (高日射量 + 強風)、800 W/m² + 10 km/h (高日射量 + 弱風)、0 W/m² + 30 km/h (日射無し + 強風)、0 W/m² + 10 km/h (日射無し + 弱風) の 4 条件に設定した。

(4) 運動負荷

自転車エルゴメーター運動を 70%最大酸素摂取量強度で疲労困憊に到達するまで実施した。

(5) 着衣条件

短パン、ソックス、運動靴を着用し、上半身は裸とした。

(6) 測定項目

運動継続時間、深部体温 (直腸温) 皮膚温 (胸部、上腕部、大腿部、下腿部)、皮膚血流量、血圧、心拍数、主観的運動強度、温熱感、体重とした。

(7) 算出項目

平均皮膚温、平均血圧、蒸発性熱放散量、非蒸発性熱放散量、総熱放散量とした。

(8) 実験手順

被験者は実験準備室で各測定器具の貼付を行った後、人工気象室に入室し 10 分間の座位安静を保持した。座位安静の終了後、運動を開始した。自転車エルゴメーターのペダル回転数は 60 回 / 分に規定し、運動は被験者が疲労困憊に到達するまで実施した。本研究では、サーカディアンリズムの影響を考慮し、実験はそれぞれ別の日の同じ時間帯に実施した。また、前の実験の影響を除外するため、各実験は最低でも 7 日間の間隔を空けて条件は順不同で行った。

4. 研究成果

(1) 運動継続時間

運動継続時間 (±SD) は、高日射量 + 弱風条件が 35 ± 7 分であり、高日射量 + 強風条件 (43 ± 6 分) 日射無し + 強風条件 (61 ± 9 分) 日射無し + 弱風条件 (46 ± 9 分) よりも有意な低値 (P < 0.05) を示した。また、高日射量 + 強風条件と日射無し + 弱風条件が日射無し + 強風条件よりも有意な低値 (P < 0.05) を示した。

また、高日射量条件 (高日射量 + 弱風と高日射量 + 強風) が日射無し条件 (日射無し + 弱風と日射無し + 強風) よりも有意な低値 (P < 0.05) を示し、弱風条件 (高日射量 + 弱風と日射無し + 弱風) が強風条件 (高日射量 + 強風と日射無し + 強風) よりも有意な低値 (P < 0.05) を示した。

(2) 深部体温

深部体温は、高日射量条件が日射無し条件よりも有意な高値 ($P<0.05$) を示した。また、弱風条件が強風条件よりも有意な高値 ($P<0.05$) を示した。

(3) 平均皮膚温

平均皮膚温は、高日射量条件が日射無し条件よりも有意な高値 ($P<0.05$) を示したが、弱風条件と強風条件の間には差が認められなかった。

(4) 心拍数

心拍数は、高日射量条件が日射無し条件よりも有意な高値 ($P<0.05$) を示した。また、弱風条件が強風条件よりも有意な高値 ($P<0.05$) を示した。

(5) 皮膚血流量、平均血圧

皮膚血流量と平均血圧は、条件間に有意な差は認められなかった。

(6) 熱放散量

非蒸発性熱放散量は、高日射量条件が日射無し条件よりも有意な低値 ($P<0.05$) を示した。また、蒸発性熱放散量は、弱風条件が強風条件よりも有意な低値 ($P<0.05$) を示した。総熱放散量は、高日射量条件が日射無し条件よりも有意な低値 ($P<0.05$) を示した。

(7) 水分バランス

全身発汗量、体重減少量、水分摂取量は、条件間に有意な差は認められなかった。発汗速度は、高日射量条件が日射無し条件よりも有意な高値 ($P<0.05$) を示し、弱風条件が強風条件よりも有意な高値 ($P<0.05$) を示した。

(8) 主観的運動強度、温熱感

主観的運動強度は、高日射量条件が日射無し条件よりも有意な高値 ($P<0.05$) を示したが、弱風条件と強風条件の間には差が認められなかった。

温熱感は、高日射量条件が日射無し条件よりも有意な高値 ($P<0.05$) を示し、弱風条件が強風条件よりも有意な高値 ($P<0.05$) を示した。

本研究の結果から、暑熱環境下の運動時には、高日射量 + 弱風 ($800 \text{ W/m}^2 + 10 \text{ km/h}$) 条件では高日射量 + 強風 ($800 \text{ W/m}^2 + 30 \text{ km/h}$) 条件、日射無し + 弱風 ($0 \text{ W/m}^2 + 10 \text{ km/h}$) 条件および日射無し + 強風 ($0 \text{ W/m}^2 + 30 \text{ km/h}$) 条件よりも持久性運動能力が低下した。また、高日射量条件は日射無し条件よりも、弱風条件は強風条件よりも深部体温と皮膚温の上昇による体温調節系と心臓血管系の負担が増大することが明らかとなった。さらに、高日射量条件は日射無し条件よりも、弱風条件は強風条件よりも温熱感 (暑さの感覚) が高くなることが確認された。熱放散量は、気流の強弱の影響よりも日射の有無の影響の方が影響力は大きく、高日射量条件下では日射による熱吸収により、体内に熱が流入することが確認された。

本研究により、暑熱環境下の運動時には、日射量が強く気流が少ない条件下では、体温調節系の負担が増大し、熱中症を発生する危険性が高くなることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Otani Hidenori, Kaya Mitsuharu, Tamaki Akira, Goto Heita, Tokizawa Ken, Maughan Ronald J	4. 巻 229
2. 論文標題 Combined effects of solar radiation and airflow on endurance exercise capacity in the heat	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physiology & Behavior	6. 最初と最後の頁 113264 ~ 113264
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physbeh.2020.113264	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 Otani Hidenori, Goto Takayuki, Kobayashi Yuki, Shirato Minayuki, Goto Heita, Hosokawa Yuri, Tokizawa Ken, Kaya Mitsuharu	4. 巻 15
2. 論文標題 Greater thermoregulatory strain in the morning than late afternoon during judo training in the heat of summer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 0242916 ~ 0242916
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0242916	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 Otani Hidenori, Kaya Mitsuharu, Tamaki Akira, Hosokawa Yuri, Lee Jason K. W.	4. 巻 64
2. 論文標題 Solar radiation and the validity of infrared tympanic temperature during exercise in the heat	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Biometeorology	6. 最初と最後の頁 39 ~ 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00484-019-01791-1	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 Otani Hidenori, Lee Jason K. W.	4. 巻 66
2. 論文標題 The use of sun-shade on safe heat exposure limit on a sunny summer day: a modelling study in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Biometeorology	6. 最初と最後の頁 731 ~ 740
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00484-021-02232-8	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 Otani Hidenori, Fukuda Makoto, Tagawa Takehiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Cooling Between Exercise Bouts and Post-exercise With the Fan Cooling Jacket on Thermal Strain in Hot-Humid Environments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 640400 ~ 640400
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2021.640400	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 大谷秀憲	4. 巻 35 (7)
2. 論文標題 熱中症研究最前線 (1) : 湿度と気流が暑熱環境下の運動時における熱中症の危険性に及ぼす影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 コーチング・クリニック	6. 最初と最後の頁 46 ~ 51
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 大谷秀憲	4. 巻 35 (8)
2. 論文標題 熱中症研究最前線 (2) : 日射量及び日射と気流の複合作用が暑熱環境下の運動時における熱中症の危険性に及ぼす影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 コーチング・クリニック	6. 最初と最後の頁 42 ~ 47
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 大谷秀憲	4. 巻 35 (9)
2. 論文標題 熱中症研究最前線 (3) : 夏季快晴時の日射の日内変動が高校の部活動練習時における熱中症の危険性に及ぼす影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 コーチング・クリニック	6. 最初と最後の頁 38 ~ 43
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 大谷秀憲	4. 巻 35 (10)
2. 論文標題 熱中症研究最前線(4): 概日(サーカディアン)リズムと水分補給量が暑熱環境下の運動時における熱中症の危険性に及ぼす影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 コーチング・クリニック	6. 最初と最後の頁 40~45
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5件(うち招待講演 2件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Hidenori Otani, Mitsuharu Kaya, Akira Tamaki, Heita Goto, Ken Tokizawa, Ronald J. Maughan
2. 発表標題 A combination of solar radiation and airflow influences endurance capacity and thermoregulatory strain during exercise in the heat
3. 学会等名 The 22nd International Congress of Biometeorology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hidenori Otani
2. 発表標題 Effects of solar radiation on thermoregulation and work performance in the heat
3. 学会等名 The 5st International Commission on Occupational Health Scientific Committee on Thermal Factors Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hidenori Otani
2. 発表標題 High solar radiation exposure reduces self-regulated work intensity in the heat
3. 学会等名 The 33rd International Congress on Occupational Health (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大谷秀憲, 賀屋光晴, 玉木彰, 後藤平太, 時澤健, Ronald J. Maughan
2. 発表標題 日射と気流の複合作用が暑熱環境下の運動時における体温調節と持久性パフォーマンスに及ぼす影響
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大谷秀憲
2. 発表標題 環境条件が暑熱環境下の運動時における体温調節と持久性パフォーマンスに及ぼす影響
3. 学会等名 第35回運動と体温の研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021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
研究分担者	時澤 健 (Tokizawa Ken) (00454083)	独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所・人間工学研究グループ・上席研究員 (82629)	
研究分担者	後藤 平太 (Goto Heita) (10709603)	九州共立大学・スポーツ学部・講師 (37101)	

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			
英国	University of St Andrews			
シンガポール	National University of Singapore			