

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：14303

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17622

研究課題名（和文）強輻射熱環境における体温調節反応を考慮した新しい熱中症予防対策の検討

研究課題名（英文）A new preventive measures against exertional heat illness based on thermoregulatory responses in intense radiant heat environments

研究代表者

山下 直之（Yamashita, Naoyuki）

京都工芸繊維大学・基盤科学系・准教授

研究者番号：70800738

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は日射の有無が安静時や運動時の体温調節反応に及ぼす影響を検討した。日射がある場合（日向、湿球黒球温度28℃）と日射はないが湿球黒球温度が同程度の場合（日陰、湿球黒球温度28℃）とでは、安静時およびリンベント自転車を用いた低強度運動時の直腸温の上昇度は大きくは変わらないことが示唆された。しかし、日射があるとより暑く不快に感じることで、そして発汗量が増加するため積極的な水分補給が必要であることが示唆された。一方、リンベント運動時の運動強度が最大の60%と高くなると、日射がある場合には直腸温が有意に高くなるため、特に1時間を超える運動では後半から終盤にかけて注意が必要であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、日射が体温調節反応に及ぼす影響を明らかにし、運動時の体温管理に重要な知見を提供するものである。具体的には、日射がある場合（日向、湿球黒球温度28℃）と日射はないが湿球黒球温度が同程度の条件（約28℃）、および日陰（湿球黒球温度25℃）での安静時や低強度運動時においては、直腸温の上昇度には大きな差がないことが示唆された。しかし、日射のある場合には暑さや不快感が増し、発汗量が多くなるため、積極的な水分補給が必要である。一方、運動強度が最大酸素摂取量の60%になると、日射がある場合には運動の終盤に直腸温が有意に高くなるため、特に1時間以上の運動時には後半から終盤にかけて注意が必要である。

研究成果の概要（英文）：This study investigated the effects of the presence or absence of simulated solar radiation (both, wet-bulb globe temperature, WBGT, was set at approximately 28°C) on metabolic, cardiovascular, and thermoregulatory responses at rest and during low- and moderate-intensity exercise. The results showed that the increase in rectal temperature at rest and during low-intensity exercise was not significantly different in the presence or absence of simulated solar radiation. However, it became greater at higher exercise intensities. These responses in core temperature elevation appear to be partially compensated by increased thermoregulatory responses, i.e., increased sweat rate responses. However, the subjects subjectively felt hotter and more uncomfortable in the presence of solar radiation. These results suggested that abundant fluid restoration is required during rest and exercise in the presence of solar heat loads.

研究分野：運動生理学・環境生理学

キーワード：熱中症予防 日射 体温調節 歩行 走運動 脱水

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

気候変動、ヒートアイランド化等の要因により熱中症の発生件数は増加しており、熱中症予防への関心も高まっている。しかし、熱中症救急搬送者数は減少していない。熱中症疑いによる救急搬送者数のうち、屋外で発生した熱中症疑いによる救急搬送者数は全体の3割におよぶ。また、スポーツ活動中に発生した熱中症も屋外競技選手も多い。そこで、本研究では屋外活動中の熱中症予防に着目した。

屋外晴天時は日射(光線)からの熱負荷が高い。温度、湿度、日射や気流を考慮した温度指標である湿球黒球温度は屋外用と屋内用の計算式があるが、屋外用の湿球黒球温度は、 $湿球 \times 0.7 + 黒球 \times 0.2 + 乾球 \times 0.1$ の式により算出される。このように屋外用湿球黒球温度を構成する各温度の内、日射や気流の影響を考慮する黒球は20%を占めるため、上述のように光線からの熱負荷は低いといえる。アメリカスポーツ医学会が示している既存の熱中症ガイドラインを含め暑熱負荷による体温調節反応の総説論文(Sawka et al., 2011)や運動能力への影響をまとめた総説論文(Cheuvront et al., 2010)では、多くの実験が屋内実験室にて温度と湿度を調節した暑熱環境にて実験していたものを採用している。温度や湿度(湿球)気流は多くの研究で用いられているものの、光線からの輻射熱や温度や湿度、気流の要因を統合した指標(多くは湿球黒球温度を使用している)を用いた研究は多くはない(Périard et al., 2021)。日射の影響を検討した先行研究では、屋外で実験したため気流や気温が安定してない(Neilsen et al., 1988)。また屋内で実験したものもあるが、運動時間が30分程度である(Otani et al., 2016)。そのため、30分を超えるような運動をした場合の体温調節反応については多くはわかっていない。

2. 研究の目的

実生活を考えると、日射にさらされた状態で安静にしている場合(例えばスポーツ観戦中)、軽い運動をしている場合、または中強度の運動をしている場合など、さまざまな条件が想定される。このような状況で日射を模した光線に曝されたときの体温調節反応が、温湿度を調節して屋外を模した湿球黒球温度を設定した温熱生理実験室内の体温調節反応と異なるか否かについてはあまりわかっていない。さらに同程度の温湿度環境にて日射を模した光線からの輻射熱負荷がある場合とない場合とで体温調節反応が異なるか否かについても十分な知見がないため、これらの環境条件にて、安静、低強度および中程度の運動強度での運動の体温調節反応を検討することを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

本研究は以下の3つの実験を行った。

実験1. 安静時暑熱暴露実験、実験2. 低強度運動実験、実験3. 中強度実験

いずれの実験も環境条件は、A. 光線および温度と湿度で湿球黒球温度を28°C程度に設定した条件(日射あり条件) B. 温度と湿度を調整して湿球黒球温度を28°Cに設定した条件(日射なし条件) C. A条件と同じ温湿度であるが光線による熱負荷のない設定(湿球黒球温度約25°C)した条件(対照条件)とした。

この3つの条件にて、実験1では60分間の椅座位安静、実験2では最大酸素摂取量の30%の負荷に設定した自転車こぎ運動を60分間、実験3では最大酸素摂取量の60%の負荷に設定した自転車こぎ運動を60分間行った。その間に、代謝(酸素摂取量)体温調節(核心温、皮膚温、前腕および胸部の局所発汗量と皮膚血流量、循環応答(心拍数と血圧)の各々の指標を測定した。さらに、温熱感覚、温熱的快適性、そして主観的作業強度(実験2と3のみ)をそれぞれ聞き取った。また実験前後に体重を測定することで体重減少量を算出した。

4. 研究成果

実験 安静時暑熱暴露実験

60分間の椅座位暑熱暴露の結果、直腸温、平均皮膚温変化については、日射あり条件が最も高く暑熱暴露前に比較して約0.1°C上昇したが日射なし条件は暑熱暴露前に比較してほぼ変わらなかった。一方の対照条件では暑熱暴露前に比較して約0.1°C低下した(それぞれ $P < 0.05$)。平均皮膚温でも日射あり条件が日射なし条件および対照条件に比較して有意に高い値を示し、日射なし条件は対照条件に比較して有意に高い値を示した。したがって、平均体温も同様の変化を示した。局所発汗量、皮膚血流量の変化は日射あり条件が日射なし条件、対照条件と比較して有意に高かった($P < 0.05$)。心拍数は日射あり条件と日射なし条件が対照条件と比較して有意に高値を示したが($P < 0.05$)、平均動脈血圧については条件間に有意な差がなかった。体重減少量については日射あり条件が最も多く、次いで日射なし条件、そして対照条件の順であった。温熱感覚と温熱的快適性も同様に日射あり条件が最も暑く、そして不快に感じ、次いで日射なし条件、そして対照条件の順であった。

実験 低強度運動実験

各々の環境条件にて最大酸素摂取量の 30%に相当する負荷にて自転車こぎ運動を 60 分間行った。その結果、直腸温はすべての条件で同様の变化を示し、安静時に比較して約 0.4°Cしたが、条件間に有意な差はなかった。一方の平均皮膚温では日射あり条件と日射なし条件が対照条件に比較して有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。したがって、平均体温も平均皮膚温と同様の变化を示した。酸素摂取量は条件間で有意な差はなかった。心拍数では日射あり条件が日射なし条件および対照条件に比較して有意に高い値を示した。また double product も条件間に有意な差はなかった。局所発汗量については、日射あり条件が最も高く、次いで日射なし条件、対照条件の順であった。主観的作業強度、温熱感覚、温熱的快適性についても日射あり条件が日射なし条件および対照条件と比較して有意に高い値を示した。一方で、日射なし条件と対照条件との間には有意な差はなかった。体重減少量については日射あり条件が最も多く、次いで日射なし条件、そして対照条件の順であった。

中強度実験

60 分間の暑熱暴露の間、最大酸素摂取量の 60%に相当する自転車こぎ運動を行った。その結果、酸素摂取量はいずれの条件も有意な差がなかった。心拍数については、運動終盤でのみ日射あり条件が日射なし条件と対照条件に比較して有意に高い値を示した。平均動脈血圧および double product は条件間に有意な差がなかった。体温については、直腸温ではいずれの条件も運動中盤までは有意な差はなく約 1.0°C上昇したものの、運動終盤では日射あり条件が日射なし条件と対照条件に比較して有意に高値を示した。平均皮膚温については、日射あり条件と日射なし条件が対照条件に比較して有意に高い値を示した。平均体温については、直腸温の変化を反映し運動終盤でのみ日射あり条件と日射なし条件が対照条件に比較して有意に高い値を示した。前腕および胸部発汗量については、前腕発汗量は、日射あり条件と日射なし条件が対照条件に比較して有意に高値を示した。一方の胸部発汗量は日射あり条件が日射なし条件と対照条件に比較して有意に高値を示した。体重減少量については日射あり条件が日射なし条件および対照条件と比較して有意に多く、また日射なし条件は対照条件に比較して有意に多く結果となった。主観的作業強度、温熱感覚については日射あり条件が日射なし条件と対照条件に比較して有意に高い値を示した。一方の温熱的快適性については、日射あり条件が日射なし条件と対照条件に比較して有意に高い値を示した。

本研究では日射がある場合（日向を想定、湿球黒球温度 28 ）とない場合（日陰を想定、湿球黒球温度約 25 ）とで安静、歩行を想定した低強度運動を行っても直腸温の上昇度は 2 つの条件間ではあまり変わらないことが示唆された。湿球黒球温度が同様の値（約 28 ）であっても、日射のある場合とない場合でも、安静時および歩行を想定した低強度運動時には同様に直腸温の上昇度は 2 つの条件間ではあまり変わらないことが示唆された。これは、体温調節反応の亢進（発汗量の増大）によるものであることが示唆された。したがって、日射のある環境ではより積極的な水分補給の必要性が示唆された。一方の主観的感覚では、日射がある環境での他の環境条件と比較してよりきつく、より暑く、そしてより不快に感じることを示唆された。

一方、運動強度が最大酸素摂取量の 60%になると、日射のある条件ではその他の条件と比較して運動の終盤に直腸温が有意に高くなることが示唆された。したがって、運動時間が 1 時間に及ぶ場合には特に運動の後半から終盤にかけて注意が必要であることが示唆された。また、発汗量も日射がある場合には他の条件よりも多くなることが示唆されたため、日射のある場合では積極的な水分補給が必要であることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔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 山下 直之, 逸見 俊太, 久米雅, 伊藤 僚, 芳田 哲也
2. 発表標題 授業見学者を想定した暑熱環境での模擬的日射暴露の有無が体温調節反応におよぼす影響
3. 学会等名 日本体育・スポーツ・健康学会 第72回大会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 山下 直之, 逸見 俊太, 久米雅, 芳田 哲也
2. 発表標題 暑熱環境での日射を模した輻射熱暴露の有無が低強度運動時の体温調節反応におよぼす影響
3. 学会等名 日本体育・スポーツ・健康学会第73回大会
4. 発表年 2023年～2024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
研究協力者	久米 雅 (Kume Masashi) (70551993)	京都文教短期大学・幼児教育学科・教授 (44305)	

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
---------	---------