

令和 6 年 4 月 18 日現在

機関番号：51101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11515

研究課題名（和文）温熱モデルを用いた学校体育授業で見られる熱中症の要因解明および予防

研究課題名（英文）Thermal strain assessment of Japanese KOSEN students during endurance running and its prevention

研究代表者

横田 実世（Yokota, Miyo）

八戸工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：70827451

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では体育の持久走中の熱ストレスレベルを環境および生理学的な観点から評価した。計61名の男子高専生が屋外運動場を1500m走った。環境と心拍数を計測し温熱モデルを使って生理学的なストレスレベルを推測した。暑さ指数が安全であっても多くの学生の生理学的なストレスレベルは高い傾向にあることが判明した。暑さ指数計と温熱モデルを使うことで持久走中の熱ストレスを把握することは熱中症予防対策となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年温暖化などで熱中症について重視されている。現在主な熱中症予防として「暑さ指数」で知られるWBGT値に基づいたガイドラインが使われているが、内的要因（例：普段の運動量、脱水症状など）によっても熱中症は左右される。本研究では体育授業で熱中症になりやすい持久走において学生の心拍数を測定し、それを温熱数値モデルで人体に影響する熱ストレスを数値化し解明した。暑さ指数が安全であっても持久走者の熱ストレスレベルは大きく熱中症のリスクが高いことが分かった。長年の慣習である持久走の運営方法の見直し（例：水分補給、暑熱順化、心拍数計でのモニタリングなど）が重要である。

研究成果の概要（英文）：In this study, the thermal strain levels of the Japanese KOSEN students during endurance running (ER) tests were evaluated in both environmental and physiological aspects. A total of 61 male students participated in an outdoor ER test. The volunteers ran a self-paced 1500 m on a track. Collected data including real-time heart rates of the students and environmental condition were used to estimate physiological strain levels (PSL) using a thermal model. Although the WBGT was classified as safe to exercise, many students' PSL were high, suggesting a significant risk for heat-related illness. Using both WBGT and thermal modeling improves understanding of the thermal status of runners and helps to mitigate the risk for heat illnesses.

研究分野：Biological Anthropology, Ergonomics

キーワード：熱中症 体育授業 持久走 高専生 温熱モデル 心拍数モニター

1. 研究開始当初の背景

近年の温暖化に伴い熱中症において大きな健康問題として職業安全および教育機関で取り上げられている。現在学校での熱中症予防のガイドライン体育の授業を含めては暑さ指数(WBGT) (厚生労働省、2018)を使っているにもかかわらず近年の気候変動に伴い運動に関する行事や体育授業において熱中症の事例は年々増加している。八戸工業高等専門学校 八戸高専 でも体育の授業において熱中症関連で具合が悪くなり保健室に学生が来るケースが報告されている。特に持久走においては春学期の比較的涼しい時期に行くことで熱中症のリスクを回避するが、それでも近年において持久走中および後に熱中症関連で具合が悪くなった学生の症例があった。1クラス約40名からなる高専の授業では学生はクラスメイトからのプレッシャーなどもあり著しく症状が出るまで教員に報告しない傾向にある。また教員も運動場における持久走において学生全員にくまなく留意を促すことは難しい。上記にあげた暑さ指数は主に気温・湿度・輻射熱を考慮した「外的環境」だけを指標としたものであり、個人の生理学的な要素や運動・生活習慣など様々な「内的要因」も熱中症に関連すると考えられる。本研究では体育授業中の持久走における高専生の熱ストレスレベルをリアルタイムの心拍数と非侵襲的温熱数理モデル(Yokota & Berglund, 2006)を使って分析しWBGTと比較した。

2. 研究の目的

本研究では温熱数理モデルを用いて人体に影響する熱ストレスを解析した。生理学的熱ストレスレベルは心拍数や直腸温を使って評価されることが多いが、直腸温をプローブで計測することは非常に侵襲的で難しい。また遠隔操作ビルも侵襲的で値段が高い。そこで本研究では、非侵襲的に測定できる外的因子(服、環境温度など)と内的因子(人体計測・心拍数)をインプットすることで持久走中の直腸温を簡単に時系列でシミュレートできる温熱モデルを使い、それを被験者の身長・体重、生活状況などのアンケート結果や持久走中の動きと照らし合わせて熱ストレスレベル、熱中症の傾向および内的要因を解明し、その予防対策を図った。

3. 研究の方法

熱ストレスレベルおよび熱中症傾向の把握を以下の2つのアプローチで検証した。なお実験に伴う準備・計測・アンケートのプロセスは図1に時系列で示している。

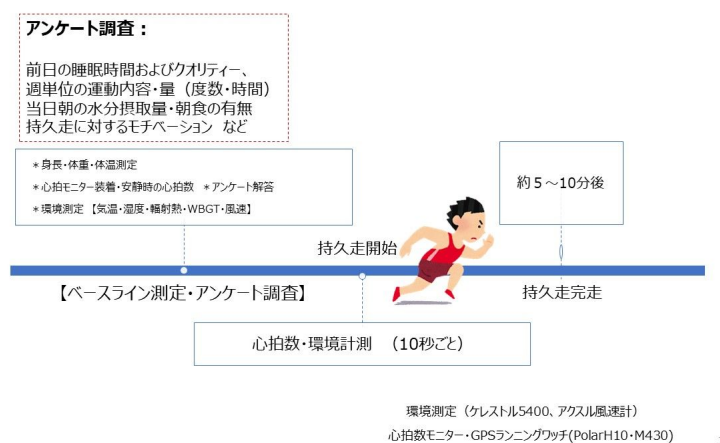


図1 実験に伴うプロセス

温熱モデルを使った熱ストレスレベルの検証

合計61名の八戸高専男子1,2学年生(身長:169.7±4.8cm、体重:60.9±10.7kg)がそれぞれの体育授業で新体力テストの一環で持久走を行った。Tシャツと短パンで各々が自分のペースで1500mを約5~10分間で完走するようにした。持久走の事前に被験者の安静時の心拍数、体温を測り、同時に前日の睡眠時間、当日走る前の水分摂取量、普段の運動量、持久走に対するモチベーションなどのアンケート調査を行い、完走時に時間と被験者の気分をスケールで測定した。持久走中に測定した心拍数と環境(気温・湿度・WBGTなど)を温熱モデルにインプットし直腸温を時系列で推測した。図2は温熱モデルの概略図である。本研究で使った温熱モデルは人体をシリンダーに見立てて深部と皮膚層に覆われたシンプルな2ノードモデルである。インプットの一部に心拍数を使い熱量換算することで直腸温度を推測できる仕組みになっている(Yokota &

Kawabata, 2024). 予測した直腸温と心拍数をもとに換算した生理学的ストレス係数(PSI、Moran et al., 1998)と暑さ指数を使い被験者の熱ストレスレベルを把握した. また線形回帰分析で完走時間と走行前の水分量摂取、週の運動量、PSI や WBGT における相関関係を検証した.

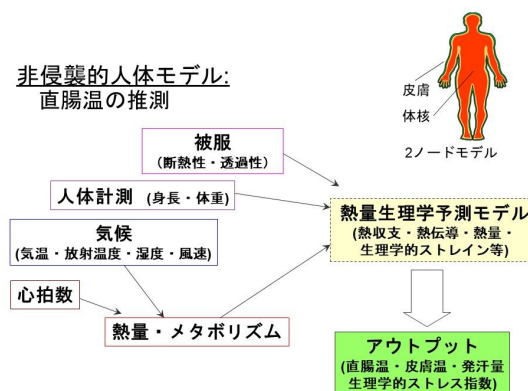


図2 非侵襲的温熱モデルの概要

フィニッシュラインでの持久走者の体調状況把握

特に中学3年生で受験のためにスポーツを行う頻度が下がり、持久走に不慣れで入学して来る1学年に焦点を当てて中等度熱中症(1度)の症状である「気分の不快」、「吐き気」に注目し(澤田、2015), 持久走直後の気持ち悪さの度合いと環境要因、学生の身体的特徴、身体能力、生活習慣との関連を検討した. 1学年男子学生33名(身長: 169.6 ± 5.3 cm, 体重: 58.0 ± 7.2 kg)が新体力テストの1500m持久走に参加した. 持久走後の自己申告による「気持ち悪さ」の度合いにより、「普通」、「やや気持ち悪い」と申告したグループ(G1)、「気持ち悪い」、「非常に気持ち悪い」と申告したグループ(G2)の2グループに分けた. 持久走後の体調不良の度合いと学生の身体的特徴、身体能力、生活習慣との関連を検討するため、学内外の運動クラブへの所属、持久走前の体調はFisherの正確検定、それ以外の項目(研究対象者の身体的特徴、持久走に関する測定項目、身体活動量(IPAQ-SF 日本語版、村瀬他., 2002))についてはMann-Whitney検定を用いて検討した.

4. 研究成果

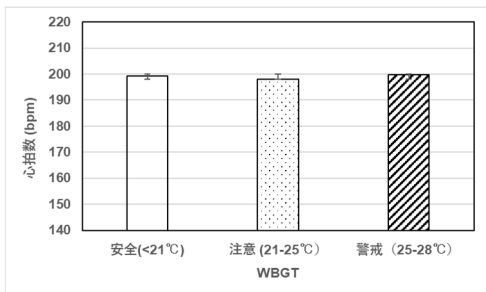
温熱モデルを使った熱ストレスレベルの検証:

それぞれのクラスで行われた持久走の暑さ指数は開始当初は安全から注意喚起レベルであったが終了時には20.8から28とほぼ安全から嚴重警戒近くまでの運動指針であった. 完走時の熱ストレス係数PSIは10スケール中の5.8~9.1と中間から高いストレスレベルであった. 図3は持久走フィニッシュライン時の心拍数、直腸温と熱ストレスレベル(PSI)をWBGTのカテゴリー別でまとめたものである. 特に注目すべき点は暑さ指数が安全区域を示しているも持久走中は多くの学生の心拍数は200bpm近くにまで上がり、モデルによる直腸温は38℃にまで推測された. また熱ストレスレベルも7.0以上と非常に生理学的負荷が最大限に近いことがわかった. 線形回帰分析では完走時間と走行前の水分量摂取やPSIには相関関係がなく、週の運動量とWBGTとは大きく関与していた($p < 0.05$). その他の内的要因パラメータ(例: BMI、前日の睡眠時間)においては持久走者間の差異は見られなかったため分析から除外した.

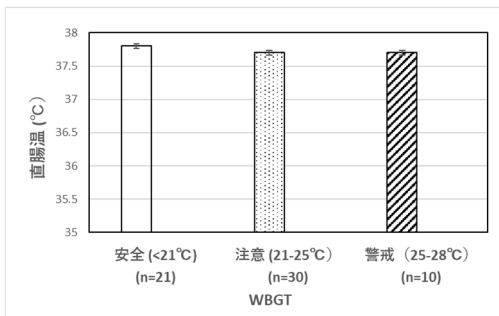
フィニッシュラインでの持久走者の体調状況把握

「気持ち悪い・非常に気持ち悪い」と答えたG2に研究対象者の約3分の1が該当し、G1の持久走タイムはG2と比較して統計学的に短い傾向にあった($p = 0.001$). また、G2の持久走実施前における安静時心拍数は中央値が91.8拍/秒であり、G1と比較して高値であった($p = 0.002$)(川端&横田、2024). 持久走タイムや安静時心拍数は持久走時の熱中症発症リスクを認識するためのパラメータとなる可能性が高い. また、新体力テストの持久走は、有酸素性持久力を評価する項目であり、G1の持久走タイムはG2と比較して有意に短いことを踏まえると、G1の高い有酸素持久力が、熱中症リスクを低下させたことが示唆された. また、低い有酸素持久力を改善する対策としては、学内外の運動クラブへの所属を促すことや、学生自ら運動を行うように意識付けすることが重要である. これに加えて、持久走実施前に高い安静時心拍数(90拍/秒)が見られた場合は当該学生を注意深く見守ることや、持久走の延期を検討することを推奨する.

a. 心拍数



b. 直腸温



c. PSI

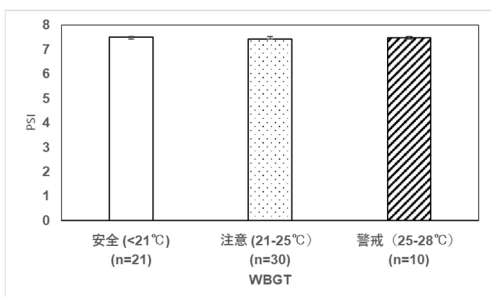
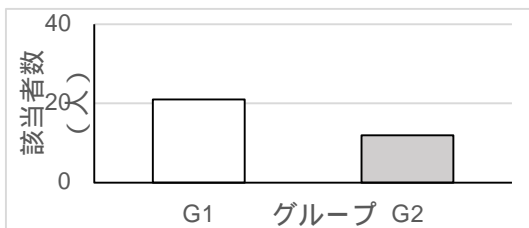


図3 WBGT カテゴリーと持久走フィニッシュラインにおける平均心拍数(a)、直腸温(b)、PSI(c).



G1：グループ1（普通・やや気持ち悪い）、G2：グループ2（気持ち悪い・非常に気持ち悪い）

図4 持久走フィニッシュ時の持久走者の体調状況

5. 考察

1 クラス約 40 名からなる体育授業中の持久走において学生はピアプレッシャーなど著しく症状が出るまで教員に報告しない傾向にあり、また教員も運動場における持久走において学生全員にくまなく留意を促すことは難しい。さらに長年の慣習で体育教員と学生間の暗黙の了解で持久走中に水分補給をする状況・環境づくりに乏しい傾向も多くみられる。持久走における方法の見直し（例：こまめな水分補給、棄権しやすい環境づくり、心拍数センサーを使ったスクリーニング・持久走の準備として暑熱順化など）または持久走に置き換わ

る体力テスト(例:屋内でも行えるシャトルランテスト)の導入および評価が今後必要である。

<引用文献>

- 1) 川端 良介、 横田 実世.日本高専学会誌、29(1)、51-56、2024.
- 2) 厚生労働省 <https://www.mhlw.go.jp/content/11303000/000483089.pdf> 2019.
- 3) Moran DS、 Shitzer A、 Pandolf KB. *American Journal of Physiology* 1998;275:R129-R134.
- 4) 村瀬訓生、 勝村俊仁、 上田千穂子、 井上 茂、 下光輝一.厚生の指標、 49 : 1-9、 2002.
- 5) 澤田晋一 杏林書院、 2015.
- 6) Yokota M & R. Kawabata、 *Journal of sport and human performance* 12(1)、 21-31、 2024.
- 7) Yokota M & LG Berglund、 Natick、 MA: USARIEM Technical Report. T06-03、 2006.

6.主な発表論文など

【雑誌論文 (計2件)】

1. 川端 良介、 横田 実世、 高等専門学校生を対象とした持久走における熱中症の発症予防対策に関する考察.日本高専学会誌、29(1)、51-56、2024.
2. Miyo Yokota、 Ryosuke Kawabata、 Evaluation of WBGT guidelines to assess thermal strain during endurance running of Japanese high school students. *Journal of sport and human performance*、 12(1)、 21-31、 2024.

【学会発表 (計6件)】

1. Miyo Yokota、 Ryosuke Kawabata(2023) Is WBGT index as the current heat guideline good enough to avoid heat stress?: An evaluation of the thermal strains of Japanese high-school KOSEN students during endurance running tests The 13th Asia Conference on Kinesiology (AKC2023)
2. 川端良介、横田実世 (2023) 保健体育実技内における持久走の熱中症発生要因の検討 第31回 体力・栄養・免疫学会 日本大学
3. 横田実世、川端良介(2023) 体育授業における高専生の持久走と熱ストレスレベル 第31回日本体力医学会東北地方会 岩手大学
4. 川端良介、横田実世(2022) 高等専門学校生を対象とした持久走における熱中症の発症予防対策における考察 東北体育・スポーツ学会 弘前大学
5. 横田実世、川端良介 (2022) 高専生のクラブ活動における持久走と熱ストレスレベル 日本体力医学会東北地方会第30回大会(オンライン)
6. 横田実世(2022)高専生のクラブ活動における熱ストレスレベル:進捗状況 オンライン北東北女性研究者交流会・女性ロールモデル研究会

7. 研究組織

(1) 研究代表者

横田実世 (Yokota, Miyo)
福井県立大学 地域経済研究所 教授
研究者番号: 70827451

(2) 研究分担者

川端良介 (Kawabata, Ryosuke)
弘前大学 教育学部 准教授
研究者番号: 10734973

(3) 連携研究者

なし

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 川端 良介、 横田 実世	4. 巻 29(1)
2. 論文標題 、高等専門学校生を対象とした持久走における熱中症の発症予防対策に関する考察.	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 日本高専学会誌	6. 最初と最後の頁 51-56
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 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 -

1. 著者名 Miyo Yokota, Ryosuke Kawabata	4. 巻 12(1)
2. 論文標題 Evaluation of WBGT guidelines to assess thermal strain during endurance running of Japanese high school students.	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of sport and human performance	6. 最初と最後の頁 21-31
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.12922/jshp.v12i1.195	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 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 横田実世、川端良介
2. 発表標題 高専生のクラブ活動における持久走と熱ストレスレベル
3. 学会等名 日本体力医学会東北地方会第30回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川端良介、横田実世
2. 発表標題 高等専門学校生を対象とした持久走における熱中症の発症予防対策に関する考察
3. 学会等名 東北体育・スポーツ学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横田実世
2. 発表標題 高専生のクラブ活動における熱ストレスレベル：進捗状況
3. 学会等名 オンライン北東北女性研究者交流会・女性ロールモデル研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Miyo Yokota, Ryosuke Kawabata
2. 発表標題 Is WBGT index as the current heat guideline good enough to avoid heat stress?: An evaluation of the thermal strains of Japanese high-school KOSEN students during endurance running tests
3. 学会等名 The 13th Asia Conference on Kinesiology (AKC2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川端良介、横田実世
2. 発表標題 保健体育実技内における持久走の熱中症発生要因の検討
3. 学会等名 第31回 体力・栄養・免疫学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横田実世、川端良介
2. 発表標題 体育授業における高専生の持久走と熱ストレスレベル
3. 学会等名 第31回日本体力医学会東北地方会
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
研究 分担 者	川端 良介 (Kawabata Ryosuke) (10734973)	八戸工業高等専門学校・その他部局等・准教授 (51101)	

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