

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300216

研究課題名(和文) 熱中症予防策としての熱中症ハザードマップ作成と暑熱順化トレーニング法開発

研究課題名(英文) Developments of new heat acclimation program and hazard map as counterparts of heat stroke

研究代表者

本田 靖 (HONDA, Yasushi)

筑波大学・体育系・教授

研究者番号：20165616

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：都道府県別のデータを用いて日最高気温と日別死亡数との関連を回帰スプラインで回帰すると、至適気温はそれぞれの都道府県の日最高気温の84パーセンタイル値で推定できることを明らかにした。また、短期暑熱順化プログラム(10日間、室温45℃で1日2時間の安静暴露)によって、暑熱下運動時の換気亢進反応は抑制されること、室温35℃および40℃で安静時における温度感覚が順化後に低下することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Based on the prefecture-specific data, we regressed the relation between daily maximum temperature and mortality using regression spline, and found that the optimum temperature can be estimated with 84th percentile of daily maximum temperature. Further, by our newly developed short-term heat acclimated program, which consisted in 10days, 2 hours sitting per days in 45℃ room, can be effective to decrease minute ventilation during constant work load exercise and to decrease warm sensation in hot environment (35℃ to 45℃).

研究分野：環境保健学

キーワード：温暖化 暑熱順化 熱中症

1. 研究開始当初の背景

2007年ノーベル平和賞を受賞したIPCC(気候変動に関する政府間パネル)によれば、2100年までの世界平均気温の上昇は約5.8になると予測されている。我々が、過去の気候変化と熱ストレスによる死亡件数の解析に基づき、温暖化により夏季の気温が上昇した際の予測を行ったところ、温暖化はその死亡件数を著しく増加させることがわかった(*J. Risk. Res 2007*)。熱中症予防に関しては、日本体育協会での予防指針(川原ほか, 1994, 2006)としてまとめられており、それによると日本における通常の気候(湿度)においては、気温31度において嚴重警戒(激しい運動は中止)であり、それをそのまま現場サイドにあてはめた場合、現在においても関東以南においては、7・8月期のほとんどの体育授業、各種スポーツ大会は開催できなくなり、いわんや将来における温暖化においては然りである。さらに、東日本においては、3月11日の震災の原発事故により電力供給不足や放射能による影響で屋外スポーツへの対応も変化した。具体的には、夏期の電力消費をおさえるクーラー使用制限のため、体育館等の屋内種目における熱中症増加や高齢者においては自宅での夜間熱中症の増加などが生じている。これらのことは、クーラー普及率や使用率が単純に増加すると考えられていた近未来予想を大きく変えるものである。したがって、暑熱下での体育・スポーツ場面において実践可能な熱中症予防対策の早期確立は喫緊の課題である。

熱中症予防法で、行政からの対応として、(1)春から秋における運動時における熱中症に注意すべき時間と場所、すなわち熱中症ハザードマップ(東北以南)を作成し、それにより事前の注意を教員や指導者に周知すること、また、個人レベルにおいては、(2)暑熱環境に対応できる能力(暑熱耐性)を向上させることが、重要であろう。

(1)については、地域毎に熱中症の死亡率が異なることやそれが気候変化に対応することが報告されており、さらに、熱中症発生に関しては、連日の猛暑が続く8月に加えて、身体の暑熱耐性が向上していない6月にも多いことが報告されている(熱中症、日本救急医学会 2011)。また、近年、熊谷においては一日の時間経過に対する2次元(地図)WBGT(湿球黒球温度:湿度や放射を加味した気温指標)変化を発信し(熱中症ハザードマップ)、携帯端末からもチェックできるサービスが開始された。WBGTの地域ごとの予想値を地図上で視覚的に示すことは一般への情報提供方法としては画期的であるが、先に述べたようにWBGT情報からの熱中症予防指針は高齢者を含む一般人を対象としたものであり、実際には、運動者の体力や暑熱順化の状態によって熱中症発症率は大きく変わってくると考えられる。我々は、暑熱時の体温調節反応が、体力指標である最大酸素摂取量(V_{O2max})と相関関係にあることを示し(*Eur J Appl Physiol. 2010*)、有酸素能力を向上させる運動トレーニングが、暑熱耐性向上に極めて有効である可能性が示唆した。

2. 研究の目的

本研究では、近未来でのスポーツ・体育現場で応用可能な熱中症予防策開発のために、(1)地域ごと(東北以南)に、体力レベルなどを加味した熱中症ハザードマップの作成に必要な解析モデルの作成、(2)効果的な短期暑熱順化運動プログラム(温度・運動強度・時間、効果の検討)を開発するための基礎メカニズム解明、を目的とした。

3. 研究の方法

(1)健常男性8名を対象とし、安静時暑熱暴露による暑熱順化(10日間連続、室温45、湿度50%の環境下で1日2時間の安静暴露、深部体温は38.5で維持)が運動時における

深部体温上昇に伴う換気亢進反応に及ぼす影響を検討した。暑熱下一定負荷運動時における換気亢進反応の経時変化および体温上昇時の換気調節システム（換気亢進の閾値および換気感受性）がどのような影響を受けるのかを順化前後で比較した。

(2) 健常男性9名を対象とし、10日間連続の安静時暑熱暴露（室温45℃、湿度50%の環境下で1日2時間の安静暴露、深部体温は38.5℃で維持）の前後で、温度感覚テストを実施した。このテストでは、室温25℃、湿度50%の常温環境下で10分間の座位安静後、室温を30℃（20分間）、35℃（20分間）および40℃（30分間）へと段階的に上昇させ、その時の体温・循環反応（食道温、平均皮膚温、局所発汗量、皮膚血流量、心拍数、平均血圧）、温度感覚および快適感を測定した。

(3) 糖飲料による体温調節効果の検討：被験者12名に、暑熱下（35℃）で50% VO_{2peak} 強度での90分間の自転車運動を行ってもらい、運動30分目に次のいずれか、水、Na⁺飲料及び糖を付加したNa⁺飲料を摂取した。90分運動後、続いて100% VO_{2peak} 強度で疲労困憊に至るまで運動を行うパフォーマンステストを実施した。心拍数、血圧、皮膚血流量、発汗量、血液ヘマトクリット値、血糖値、ヘモグロビン濃度、食道温、皮膚温、前腕血流量変化、運動前後体重変化を測定した。

(4) 都道府県別のデータを用いて日最高気温と日別死亡数との関連性を再検討し、次に、この関連性を推定できるモデルを日本以外の国（韓国、台湾、ヨーロッパ、北米）に当てはめて、適用可能かどうかを検討した。さらに、新しいモデルを作成し、地球温暖化による2030年、2050年における熱関連死亡数の増加を予測した。

4. 研究成果

(1) 暑熱下持続的運動時における換気量増加の経時変化は、暑熱順化後に低下したこと、

暑熱順化によって、換気亢進の深部体温閾値は低下し、深部体温上昇に対する換気感受性は増大した。これらの結果から、暑熱順化によって、暑熱下運動時の換気亢進反応（経時変化）は抑制されることが示唆される。この換気反応の変化の考えられるメカニズムとして、同一体温時の換気反応は増大したが、体温調節反応の改善による深部体温低下や酸素摂取量の低下などによって換気亢進が抑制されたと考えられる。

(2) 食道温は室温25℃および30℃ではほとんど変化しなかったが、室温35℃以降に徐々に上昇した。食道温は順化後に低値を示したが、順化前後で有意差はみられなかった。皮膚温は室温の上昇に伴って徐々に上昇し、順化前後で有意差はみられなかった。胸部発汗量および皮膚血流量、心拍数、平均血圧においても暑熱順化の影響はみられなかった。温度感覚は室温上昇に伴って徐々に増加し、室温25℃および30℃では順化前後で違いはみられなかったが、室温35℃および40℃で順化前よりも順化後に有意に低値を示した。快適感においては暑熱順化の有意な影響はみられなかった。

(3) 運動前にNa⁺飲料を摂取した場合に水を摂取した時よりも血漿量が増加し、暑熱下運動時の深部体温上昇が抑制された。また、糖を付加したNa⁺飲料を摂取した場合に水及びNa⁺飲料を摂取した時よりも暑熱下運動パフォーマンステストの継続時間が増加した。これらの結果から、運動前のNa⁺飲料摂取が体水分量（血漿量）の増加を介して暑熱下運動時の深部体温の上昇を抑制する可能性、Na⁺飲料への糖付加により暑熱下運動パフォーマンスが向上する可能性、が示唆された。

(4) 日最高気温と日別死亡数との関連は、ある気温（至適気温）で死亡数が最低となり、それよりも気温が高くて低くても死亡数が高くなるというV字型となる。

都道府県別のデータを用いてこの関連を回帰スプラインで回帰すると、至適気温はそれぞれの都道府県の日最高気温の 84 パーセントイル値で推定できることを明らかにした。この推定可能性は、韓国、台湾、ヨーロッパ、北米のデータでも確認できたことから、世界の広い範囲で成り立つことを確かめ、distributed lag non-linear model という、ある日の気温の影響が翌日以降にも影響を与えることも考慮に入れた非線形回帰モデルによって高気温のリスクを推定し、地球温暖化による 2030 年、2050 年における熱関連死亡数の増加を予測した。その結果、中国、インドなどで大きな影響があること、先進国でも影響があることが明らかとなった。主要な温暖化の健康影響のうち、これほど先進国で影響が大きいものは認められていない。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 16 件)

Kayaba M, Kondo M, Honda Y Characteristics of elderly people living in non-air-conditioned homes. Environmental Health and Preventive Medicine, 査読あり、20(1):68-71, 2015 10.1007/s12199-014-0426-2
水口恵美子, 中澤浩一, 萱場桃子, 近藤正英, 本田靖 夏季における高齢者の冷房装置使用の調査: 2010-2011 の比較 日本生気象学会 査読あり、50(1):9-21, 2014
Fujii N, Honda Y, Komura K, Tsuji B, Sugihara A, Watanabe K, Kondo N, Nishiyasu T, Effect of voluntary hypocapnic hyperventilation on the relationship between core temperature and heat loss responses in exercising humans. Journal of Applied Physiology, 査読あり、117(11):1317-1324, 2014,

1152/jappphysiol.00334.2014
Woodward A, Smith KR, Campbell-Lendrum D, Chadee DD, Honda Y, Liu Q, Olwoch J, Revich B, Sauerborn R, Chafe Z, Confalonieri U, Haines A. Climate change and health: on the latest IPCC report, Lancet, 査読あり、383(9924):1185-1189, 2014, 10.1016/S 0140-6736(14)60576-6
Honda Y, Kondo M, McGregor G, Kim H, Guo Y, Hijioka Y, Yoshikawa M, Oka K, Takano S, Hales S and Kovats RS, Heat-related mortality risk model for climate change impact projection, Environmental Health and Preventive Medicine, 査読あり、19:56-63, 2014
Kondo M, Ono M, Nakazawa K, Kayaba M, Minakuchi E, Sugimoto K, Honda Y. Population at high-risk of indoor heatstroke: the usage of cooling appliances among urban elderlies in Japan. Environmental Health and Preventive Medicine, 査読あり、18:251-257, 2013
Amano T, Koga S, Inoue Y, Nishiyasu T, Kondo N, Characteristics of sweating responses and peripheral sweat gland function during passive heating in sprinters, European Journal of Applied Physiology, 査読あり、113:2067-2075, 2013,
Sugimoto K, Likhvar V, Okubo I, Jin I, Honda Y, Analysis of relation between temperature and mortality in three cities in China by using lag model: A comparison of Harbin, Nanjing and Guangzhou, Japanese Journal of Health and Human Ecology, 査読あり、78(1):16-26, 2012, <http://dx.doi.org/10.3861/jshhe.78.16>

Fujii N, Honda Y, Ogawa T, Tsuji B, Kondo N, Koga S, Nishiyasu T, Short-term exercise-heat acclimation enhances skin vasodilation but not hyperthermic hyperpnea in humans exercising in a hot environment, *European Journal of Applied Physiology*, 査読あり、112(1):295-307, 2012, 10.1007/s00421-011-1980-6

Tsuji B, Honda Y, Fujii N, Kondo N, Nishiyasu T, Effect of initial core temperature on hyperthermic hyperventilation during prolonged submaximal exercise in the heat, *American Journal of Physiology Regulatory, Integrative, and Comparative Physiology*, 査読あり、302(1):94-102, 2012, 10.1152/ajpregu.00048.2011

Tsuji B, Honda Y, Fujii N, Kondo N, Nishiyasu T, Comparison of hyperthermic hyperventilation during passive heating and prolonged light and moderate exercise in the heat, *Journal of Applied Physiology*, 査読あり、113(9): 1388-1397, 2012, 10.1152/jappphysiol.00335.2012

Fujii N, Honda Y, Delliaux S, Tsuji B, Watanabe K, Sugihara A, Kondo N, Nishiyasu T, Effect of voluntary hypocapnic hyperventilation on cutaneous circulation in resting heated humans, *American Journal of Physiology Regulatory, Integrative, and Comparative Physiology*, 査読あり、303(9): 975-983, 2012, 10.1152/ajpregu.00169.2012

Fujii N, Ichinose M, Honda Y, Tsuji B, Watanabe K, Kondo N, Nishiyasu T, Changes in arterial blood pressure

elicited by severe passive heating at rest is associated with hyperthermia-induced hyperventilation in humans, *European Journal of Applied Physiology*, 査読あり、113(1):51-62, 2012, 10.1007/s00421-012-2413-x

〔学会発表〕(計20件)

本田 靖、健康影響と適応策、土木学会第42回環境システムシンポジウム(招待講演) 2014年12月24日、桜美林大学(東京都新宿区)

本田 靖、温暖化の健康リスク - 世界保健機関の報告から、日本リスク研究学会第27回大会(招待講演) 2014年11月29日、京都大学(京都府京都市)

本田 靖、地球温暖化の健康影響、第79回日本民族衛生学会総会(招待講演) 2014年11月21日、筑波大学(茨城県つくば市)

Honda Y, Climate change impact on health and its adaptation, JSPS-AASPP/GRENE Joint International Symposium on Water and Health in Urban Area(招待講演) 2013年12月20日、Hue City (Vietnam)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本田 靖 (HONDA, Yasushi)
筑波大学・体育系・教授
研究者番号: 20165616

(2) 研究分担者

西保 岳 (NISHIYASU, Takeshi)
筑波大学・体育系・教授
研究者番号: 90237751