

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 9 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21300225

研究課題名(和文) 熱中症予防策としての暑熱順化トレーニング法開発とそのコベネフィット評価

研究課題名(英文) The development of the exercise training methods for heat acclimation to prevent the heatstroke and the evaluation of the Co-benefit

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

研究成果の概要(和文)：1) 6日の運動トレーニングは、暑熱環境下で行った方が暑熱順化の効果が大きい、寒冷環境下でも有意な効果がある、2) 安静体温上昇時の自発的過換気に伴う動脈血二酸化炭素分圧低下は、皮膚血管及び脳血管収縮を引き起こす、3) 暑熱下運動時には、呼吸性アルカローシスによる放熱反応抑制によって体温上昇が促進される、4) 換気亢進の深部体温閾値は、早朝に比べて夕方高温側へシフトし、換気亢進の換気感受性は、早朝より夕方大きくなる、ことが示唆された。また、国際フォーラムを開催し、運動のコベネフィット効果の評価を行い、地球温暖化対策と運動効果はコベネフィットという概念のもと密接に関係しており、両者の関係性を今後、マクロ(疫学的視野)とミクロ(生理学的視野)で連携して検討する重要性が確認された。

研究成果の概要(英文)：It was suggested that 1) the 6days exercise trainings both in hot and cool conditions are effective to improve the heat tolerance, however, the training in hot condition was better, 2) in resting humans, hypocapnia achieved through voluntary hyperventilation attenuates forearm but not forehead nonglabrous skin vasodilation response to moderate heat stress, 3) in exercising humans, although voluntary hyperventilation does not affect sweat response, it attenuates cutaneous vasodilation response, and this attenuation is greater for forearm than forehead skin, 4) humans exhibit circadian variation in hyperthermic hyperventilation during prolonged exercise in the heat. Further, international forum for "Co-benefit and health problems on global warming: Possibility of exercise training as the countermeasure" was held in University Tsukuba. The forum's conclusion was that the exercise training which includes heat acclimations could be a potential countermeasure of the health problems on global warming. And the close collaboration with health epidemiology and exercise physiology would be important for the future direction to solve the issues with the global warming and aged society.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合 計
2009 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2010 年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2011 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
年度			
年度			
総 計	13,400,000	4,020,000	17,420,000

研究分野：スポーツ科学

科研費の分科・細目：スポーツ科学A

キーワード：暑熱順化、トレーニング、コベネフィット

1. 研究開始当初の背景

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最高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、森本ほか、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で受け止めた場合、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。個人レベルでの暑熱対策法として、効果的な水分摂取法や衣服の開発などに加えて、暑熱環境に対応できる能力（暑熱耐性）の効果的な向上方法の開発が挙げられる。この暑熱耐性は、暑熱下での運動トレーニングによって向上することがわかっており、ヒトが本来持っている順化能力を利用したこのトレーニングは、今後の温暖化に対するスポーツ・体育現場における強力な対応策であると考えられる。

一般的に、暑熱下での運動トレーニングが暑熱耐性を向上させることが報告されているが、その奏功メカニズムは明らかであるとはいえない。また、暑熱トレーニングの効果は、単に個人の暑熱耐性を向上さ

せて、夏期スポーツ・体育活動時の熱中症発生を抑制するだけでなく、温暖化自体へも影響を及ぼすと考えられる。例えば、我々の提案する暑熱トレーニングによって安静時体温が0.3度低下した場合を仮定すると、日常生活において、室内におけるクーラー設定温度を上昇させること、さらに、暑熱下においても歩行や自転車等を利用することによる自動車使用を控えること、等につながり、結果的に省エネ効果となり、温暖化防止自体にも効果があることになる。温暖化防止に関しては、このように、一つの問題解決（運動トレーニングによる暑熱耐性の向上）が、他の問題解決（クーラー利用率低下、自動車利用率の低下、健康増進など）につながり、その付加的利益（コベネフィット）効果が期待されることがWHOによっても指摘されている（Bulletin of WHO、2004;82:481）。

しかしながら、地球温暖化を見据えて、暑熱下運動トレーニングの効果を、熱中症予防の観点や環境に対する省エネ効果、健康増進などのコベネフィットから総合的に検討したものは全くない。

2. 研究の目的

本研究では、近未来でのスポーツ・体育現場での熱中症予防のために、1）暑熱耐性向上のための短期の暑熱順化プログラムの作成とその奏功メカニズムの解明、2）その暑熱順化プログラムによって変化するであろうヒト暑熱耐性の向上とクーラー使用率を低下させる効果等のコベネフィット（付加的利益）の関係を明らかにすること、を目的とした。

3. 研究の方法

課題1：運動トレーニングが、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運動トレーニング時の気温の違いを考慮して検討した。20名の健康な男性を被験者とし、寒冷群（n=10）と暑熱群（n=10）にランダムに分けた。両群ともに、V02peakの測定を行い、その2~4日後に、運動時暑熱負荷テストを行った。運動時暑熱負荷テストでは、安静時の測定の後、50%V02peak強度の自転車運動を37℃の環境下において行った。このテストの1-2日後、運動トレーニング（50%V02peak強度での20分の自転車運動を10分の休憩を挟んで4セット行い、これを6日間連続で行った）を、寒冷群では10℃、暑熱群では37℃の環境下でそれぞれ行った。運動トレーニング終了から24時間以内に再び運動時暑熱負荷テストを行い、その1-2日以内に、V02peakの測定を行った。

課題2：安静状態での体温上昇時における皮膚血流及び脳血流反応に及ぼす自発的過換気の影響について検討した。

課題3：15分間の最大下の一定負荷自転車運動（120W）を、以下の3条件で行った。①運動時に自発的過換気を行うことで呼気終末二酸化炭素分圧（PETCO2）を低下させる条件（HH）、②運動時に自発的過換気を行うが、吸気に二酸化炭素（CO2）を加えることでPETCO2を通常時の値に保つ条件（NH）、③運動時に自由に呼吸を行う条件（C）

課題4：安静時深部体温の大きく異なる早朝（6:00）及び夕方（18:00）に、暑熱環境下において、深部体温を低下させてから、中強度（50%V02peak）負荷の自転車運動を行った。

課題5：暑熱下運動トレーニングのコベネフィット効果に関して国際フォーラムを開催し、情報交換を行うとともに運動のコベネフィット効果の評価を行った。

4. 研究成果

課題1：安静時血漿量は、寒冷下トレーニングによって増加する傾向にあり、一方で暑熱下トレーニングにより有意に増加した（7%）。V02peakは、寒冷、暑熱群ともに、トレーニングによって有意に増加した（それぞれ5%、6%）。運動時暑熱負荷テストにおいて、両群ともに運動トレーニングにより安静時の深部体温は有意に低下し、さらに同一運動時間での深部体温と換気量も有意に低下した。また、暑熱群においては、食道温の上昇速度も有意に低下した。深部体温上昇に伴う換気亢進反応の指標として、食道温に対して換気量の値をプロットし、この回帰直線の傾きを寒冷及び暑熱下運動トレーニングの前後で比較したところ、有意な差は見られなかった。以上のことから、運動時の深部体温上昇に伴う換気亢進反応（食道温と換気量の回帰直線の傾きで評価される）は、短期間の運動トレーニングによって変化しないことが示唆された。

課題2：、安静状態での体温上昇時において自発的過換気に伴う呼吸筋活動亢進とPaCO2低下は、それぞれ独立して皮膚血管及び脳血管収縮を引き起こすことを明らかにした。

課題3：前腕と額の両部位における皮膚血管コンダクタンス上昇の深部体温閾値は、C及びNH条件よりもHH条件で有意に高値を示すか、高い傾向にあった。また、深部体温と皮膚血管コンダクタンスの回帰直線の傾き

はC及びNHよりHHで小さくなったことから、アルカローシスにより皮膚血管反応が抑制されることが示唆される。本研究より、暑熱下運動時の高体温が、呼吸性アルカローシスにより体温調節反応が抑制されることで促進されることが示唆される。このことから、過換気が起こらないように換気をコントロールすることでアルカローシスを抑えることは、熱中症や運動パフォーマンス低下を防ぐ上で有効な手段となるのかもしれない。

課題4：安静時深部体温の大きく異なる早朝（6:00）及び夕方（18:00）に、暑熱環境下において、深部体温を低下させてから、中強度（50%V02peak）負荷の自転車運動を行った。その結果、換気量増加の深部体温閾値は、早朝より夕方有意に高値を示し、閾値以降の換気感受性は、早朝より夕方有意に大きかった。これらの結果から、換気亢進の深部体温閾値は、早朝に比べて夕方に高温側へシフトし、また深部体温上昇に伴う換気亢進の換気感受性は、早朝より夕方で大きくなることが示唆された。

課題5：国際フォーラムでは、ニュージーランドからWoodward博士、アメリカからMinson博士、日本からは神戸大学教授の近藤徳彦博士らが参加し、活発な意見交換を行った。その内容は以下のものであった。地球温暖化を防ぐためには二酸化炭素を排出しない社会、すなわち、低炭素社会を作る必要がある。Woodward博士の提唱するように、通勤手段を車から自転車に変更することによって低炭素社会へ貢献するだけでなく、自転車運動をすることによる成人病予防効果などのコベネフィットが生ずる。逆に、我々や近藤・Minson博士らの研究から、運動トレーニングは、暑熱耐性自体を向上させる効果があり、

このことは、夏期のクーラー設定温度を高める効果が期待され、このこと自体は、低炭素社会に貢献するコベネフィットと考えられる。これらのことから、地球温暖化対策と運動効果は、コベネフィットという概念のもと密接に関係していることがわかった。フォーラムの結論として、地球温暖化や高齢化・高医療費社会を迎えるにあたって、その対抗策としての両者の関係性を今後、マクロ（疫学的視野）とミクロ（生理学的視野）で連携して、さらに検討する必要性が確認された。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計12件）

- 1) 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. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 302(1): 94-102, 2012. 査読有り
- 2) 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. Eur J Appl Physiol. 112(1): 295-307, 2012. 査読有
- 3) 本田 靖. エアロゾルの健康影響の解明、エアロゾル研究 26(2);127-132: 2011. 査読有
- 4) Honda Y, Ono M, Ebi KL. Chapter 13. Adaptation to the heat-related health impact of climate change in Japan. In

- Ford JD and Berrang-ford L eds.,
Climate Change Adaptation in Developed Nations - From Theory to Practice,
Springer 2011. 189-204. 査読無
- 5) Hayashi K, Honda Y, Miyakawa N, Fujii N, Ichinose M, Koga S, Kondo N, Nishiyasu T. Effect of CO₂ on the ventilatory sensitivity to rising body temperature during exercise. J Appl Physiol. 110(5):1334-41, 2011. 査読有
 - 6) Likhvar VN, Honda Y, Ono M. Relation between temperature and suicide mortality in Japan in the presence of other confounding factors using time-series analysis with a semiparametric approach. Environ Health Prev Med. 16(1):36-43, 2011. 査読有
 - 7) Kondo M, Honda Y, Ono M. Growing concern about heatstroke this summer in Japan after Fukushima nuclear disaster. Environ Health Prev Med. 16(5):279-80:2011. 査読有
 - 8) Saito T, Honda Y, (18人中7番目) Power-frequency magnetic fields and childhood brain tumors: a case-control study in Japan. J Epidemiol. 20(1): 54-61:2010. 査読有
 - 9) Ogawa T, Calbet JA, Honda Y, Fujii N, Nishiyasu T. The effects of breathing a helium-oxygen gas mixture on maximal pulmonary ventilation and maximal oxygen consumption during exercise in acute moderate hypobaric hypoxia. Eur J Appl Physiol. 110(4): 853-61, 2010. 査読有
 - 10) Honda Y, Ono M. Issues in health risk assessment of current and future heat extreme. Global Health Action, DOI: 10.3402/gha.v2i0.2043. 2009 査読有
 - 11) 本田 靖, 高橋潔. 熱ストレスの健康影響. 地球環境 14:257-262. 2009. 査読無
 - 12) Hayashi K, Honda Y, Ogawa T, Kondo N, Nishiyasu T. The cross-sectional relationships among hyperthermia-induced hyperventilation, peak oxygen consumption, and the cutaneous vasodilatory response during exercise. Eur J Appl Physiol. 107(5):527-34, 2009. 査読有
- 〔学会発表〕(計8件)
- 1) Honda Y. Global warming and health problem, "Co-benefit and health problems on global warming: Possibility of exercise training as the countermeasure", 10th BAMIS International Seminar, Jan 10th, 2011, Tsukuba, Japan (基調講演)
 - 2) Honda Y. Climate Change: Health-related extreme temperature issues and adaptation. Advanced Training Workshop on southeast Asia Regional Health Impacts and Adaptation under Climate Change, Tainan, Taiwan, November 27th, 2010. (招待講演)
 - 3) Honda Y. Regional Assessment and Future Climate Change Impact on Health. Second Regional Consultation Meeting on Economics of Climate Change and Low Carbon Growth Strategies in Northeast Asia, Ulaanbaatar, Mongolia, October 11th, 2010. (招待講演)
 - 4) Nishiyasu T. The Characteristics of Hyperthermic Hyperpnea at Rest and during Exercise in Humans. Seminar in

Department of Biomedical Physiology
and Kinesiology, Simon Fraser
University, 11.3. 2009. Vancouver,
Canada (招待講演)

- 5) 西保 岳 ヒト活動時の血圧調節-末梢
性反射調節の複合作用, スポーツサイエ
ンス研究会 早稲田大学 (東京都) 9.15.
2009. (招待講演)
- 6) Nishiyasu T. The Characteristics of
Hyperthermic Hyperpnea at Rest and
during Exercise in Humans. The 3rd
International Symposium on Physiology
and Pharmacology of Temperature
Regulation 7.21.2009, Matsue (招待シ
ンポジスト)
- 7) Honda Y. Health impact of Climate
change. Shanghai Forum 2009,
Shanghai, China, May 15, 2009. (招待
講演)
- 8) Honda Y. Climate change and human
health. International Symposium for
50th Anniversary, School of Public
Health, Seoul National University,
Seoul, Korea, Apr 10, 2009. (招待講演)

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 : 90237750