

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：24402

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23689014

研究課題名(和文) 運動・栄養指導による血液量増加を介した高齢者の循環・体温調節機能改善とその機構

研究課題名(英文) Mechanisms for the increase in circulatory and thermoregulatory capacities with exercise training in the elderly

研究代表者

岡崎 和伸 (Okazaki, Kazunobu)

大阪市立大学・都市健康・スポーツ研究センター・准教授

研究者番号：70447754

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 21,200,000円

研究成果の概要(和文)：若年者において、下肢温浴による受動加温時の全身の温熱感覚は、通常体温時に比べて高体温時に有意に上昇し、高体温時には仰臥位に比べて椅座位で有意に高値を示すこと、また、皮膚冷覚閾値は椅座位時のみ通常体温時に比べて高体温時に有意に低下することを示唆した。次に、高体温時の全身の温熱感覚の上昇や皮膚冷覚閾値の変化は、若年者に比べて高齢者で有意に低かった。さらに、高齢者において2ヶ月間の持続性トレーニングを実施した結果、トレーニング後に血液量の増加した高齢者では最大酸素摂取量および一回拍出量が増加し、体温調節応答および深部温変化に対する全身の温熱感覚、皮膚冷覚閾値の感受性が向上する傾向にあった。

研究成果の概要(英文)：In healthy men, we observed that responses in whole body thermal sensation was increased, while skin warm sensation threshold remained unchanged and skin cold sensation threshold was decreased during passive heating with lower legs immersion in hot water compared with normothermia. Additionally, whole body thermal sensation was higher and skin cold sensation threshold was lower in sitting than supine position during hyperthermia. The increase in whole body thermal sensation and the attenuation in skin cold sensation threshold during passive heating was significantly lower in elderly than young men. Moreover, after exercise training for 2 month, the subjects with increased blood volume showed increased aerobic capacity and thermoregulatory responses during passive heating, and also an increased sensitivities of whole body thermal sensation and skin cold sensation threshold, compared with subjects with decreased blood volume after exercise training.

研究分野：運動生理学

キーワード：温熱環境 運動 生理学 体温調節能 血液量

1. 研究開始当初の背景

(1) 高齢者では暑熱環境下の自律性体温調節機能(以下、体温調節機能)が著しく低下している。これには、全身持久力(最大酸素摂取量)の低下、汗腺や皮膚血管の形態・機能的劣化、臓器から皮膚血管への血液再配分反応の低下などの関与が指摘されている。しかし、これらの加齢変化の原因については未だ不明な点も多い。また、加齢に伴う体温調節機能の低下を改善するための具体的な方法について、実験事実および生理学的背景に基づいて提唱されたものは殆ど無い。

(2) 我々は、約5ヶ月間の縦断的研究の結果から、高齢者では若年者と異なり、持久性トレーニングによって血液量が増加せず、そのために体温調節機能の改善も著しく減弱していることを示した。また、持久性トレーニング後に高齢者の血液量が増加しないのは、血漿蛋白量が増加しないためであり、それは、運動負荷に対する血漿蛋白合成の増加反応が若年者に比べて著しく減弱しているためであることを突き止めた。また、高齢者に対する8週間の持久性トレーニングの効果を、運動直後に蛋白質・糖質を摂取する群とプラセボを摂取する群と比較した結果、前者においてのみトレーニング後に血漿蛋白量とともに血液量が増加し、それに伴って体温調節機能が改善することを明らかにした。これらの結果は、高齢者の持久性トレーニングに対する体温調節機能の改善は、血液量の増加に強く依存することを示唆する。

(3) 持久性トレーニングに対する体温調節機能の改善は、運動に伴う体温上昇刺激の反復による体温調節中枢や効果器の適応によると考えられてきた。しかし、上記のように、高齢者では、同様の持久性トレーニングを行っても、血液量の増加が伴う場合においてのみ体温調節機能が改善することから、全く異なった機構が関与すると示唆される。上記の研究において、血液量の増加が伴う場合においてのみ、トレーニング後に一回拍出量が増加した。この一回拍出量の増加は、持久性トレーニングと血液量増加による慢性的な前負荷の増加に起因し、心容積の増加および心拡張機能の亢進、あるいは、心収縮機能の亢進によってもたらされる。このような心臓の形態・機能の亢進は、心房などに存在する心肺圧受容器の伸展を亢進すると考えら、体温調節中枢を介して体温調節効果器への遠心性神経活動を促進すると考えられる。そこで、高齢者の体温調節機能の改善は、血液量増加に起因した心臓の形態・機能の改善を介するのではないかと考えるに至った。この仮説が正しければ、持久性トレーニングと血液量増加によって、心臓の形態・機能の改善に伴

い、心肺圧受容器反射の感受性、温熱負荷時の体温調節中枢(皮膚温度感覚)の感受性が亢進すると予想される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「加齢に伴う暑熱環境下の自律性体温調節機能の低下は、血液量低下に起因した心臓の形態・機能の劣化によって引き起こされる」という、仮説を検証すること、さらに、「高齢者でも持久性トレーニングと栄養摂取を用いた血液量増加によって、心臓の形態・機能の改善を介して、体温調節機能が改善する」ことを実証することである。

3. 研究の方法

(1) 研究1

若年者12名を被検者とし、下腿温浴(42)による受動加温前(通常体温、約36.6)および後(高体温時、約37.3)に、椅座位(背もたれ角度110度)、仰臥位(同180度)各15分ランダムに行う方法を実施した。その間、心拍数、動脈血圧、心拍出量、呼吸数・深度、食道温・皮膚温、胸部・前腕の皮膚血流量および局所発汗量を連続測定した。また、各ステージで全身の温熱感覚(VAS法)および胸部・前腕の皮膚温・冷感覚閾値(熱流束法)、左心室形態および機能(心エコー法)を測定した。

(2) 研究2

若年者17名および高齢者15名を対象とし、研究1と同様の測定を実施した。また、多段階漸増負荷試験によって最高酸素摂取量(V02peak)を測定した。

(3) 研究3

高齢者において12名において2ヶ月間の持久性トレーニング(速歩、70%V02peak、60分/週)を実施し、その前後に研究1と同様の測定を実施した。研究1および2と同様の測定に加えて、血液量(一酸化炭素再呼吸法)を測定した。

4. 研究成果

(1) 研究1

全身の温熱感覚は通常体温時に比べて高体温時に有意に上昇し、高体温時には仰臥位に比べて椅座位で有意に高値を示した。また、皮膚温覚閾値は各ステージで変化しなかったが、皮膚冷覚閾値は椅座位の時のみ通常体温時に比べて高体温時に有意に低下した(図1)。これらの結果は、姿勢変化による中心血液量の上昇/低下が、心肺圧受容器反射を介して全身および皮膚の温度感覚を上昇/低下させることを初めて示す結果であり、仮説を支持する結果が得られた。

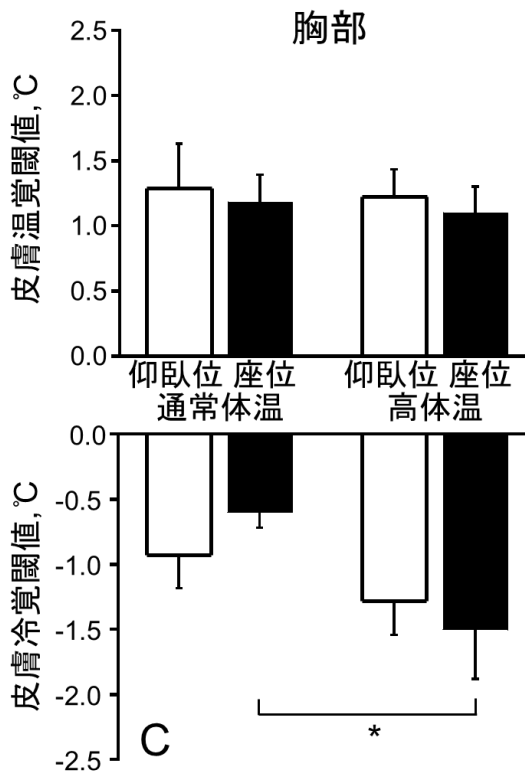


図 1. 通常体温および高体温時の皮膚温度感覚に及ぼす姿勢の影響。

(2) 研究 2

両群において、全身の温熱感覚は通常体温時に比べて高体温時に有意に上昇し、高体温時には仰臥位に比べ椅座位時で有意に高値を示した。また、皮膚冷覚閾値は通常体温時に比べて高体温時に有意に低下(鈍化)し、高体温時には仰臥位に比べて椅座位時で有意に低値(鈍化)を示した。これらの応答は、若年者に比べて高齢者で有意に低かった(図2)。

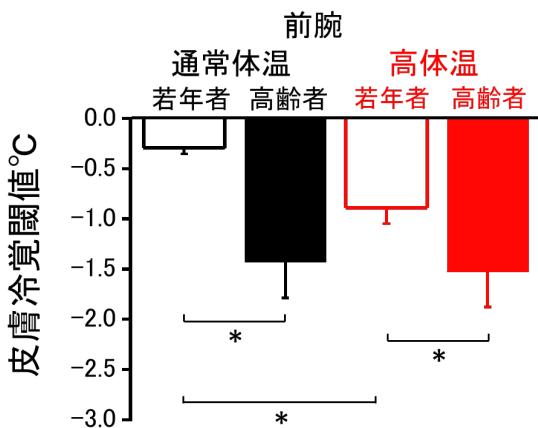


図 2. 通常体温および高体温時の皮膚温度感覚に及ぼす年齢の影響。

また、若年者 17 名において、低体力者(6 名、平均 $V_{O2peak} = 40.3 \pm 3.1$ ml/kg/分)と高体力者(7 名、平均 $V_{O2peak} = 59.6$ ml/kg/分)

を比較すると、前者は後者に比べて各ステージにおける一回拍出量は有意に低く、皮膚温覚閾値は有意に高値(鈍化)を示した。これらの結果は、深部温および皮膚温変化に対する温度感覚の感受性の低下が体温調節機能の低下に關与し、それは持久性体力レベルの低い者で顕著であることを示唆する。

(3) 研究 3

トレーニング後において血液量の増加した高齢者 6 名では、増加しなかった高齢者 6 名に比べて、 V_{O2peak} および一回拍出量が増加する傾向にあること、また、体温調節応答、および、深部温変化に対する全身の温熱感覚および皮膚冷覚閾値の感受性が向上する傾向にあることが確認された。

以上の結果は、加齢に伴う暑熱環境下の体温調節機能の低下には、血液量低下に起因した心肺圧受容器反射の感受性の低下を介した体温調節中枢への入力低下が關与すること、一方、高齢者でも持久性トレーニングによる血液量増加によって、心肺圧受容器反射の感受性の改善と共に、体温調節機能が改善することを示唆する。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 11 件)

Suzuki A, Okazaki K, Imai D, Takeda R, Naghavi N, Yokoyama H, Miyagawa T: Thermoregulatory responses are attenuated after fructose but not glucose intake. *Med Sci Sports Exerc*, 46(7):1452-1461, 2014. 査読あり

DOI: 10.1249/MSS.0000000000000233.
Okazaki K, Yazawa D, Goto M, Kamijo YI, Furihata M, Gen-no H, Hamada K, Nose H: Effects of macronutrient intake on thigh muscle mass during home-based walking training in middle-aged and older females. *The Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, Oct;23(5):e286-292, 2013. 査読あり

DOI: 10.1111/sms.12076.

Kamijo Y, Ikegawa S, Okada Y, Masuki S, Okazaki K, Uchida K, Sakurai M, Nose H: Enhanced renal Na^+ reabsorption by carbohydrate in beverages during restitution from thermal and exercise-induced dehydration in men. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 303(8):R824-R833, 2012. 査読あり

DOI: doi: 10.1152/ajpregu.00588.2011

Miyazawa T, Kawabata T, Okazaki K, Suzuki T, Imai D, Hamamoto T, Matsumura S, Miyagawa T: Oral administration of γ -aminobutyric acid affects heat production in a hot

environment in resting humans. *Journal of Physiological Anthropology*, 31(1)3, 2012. 査読あり

Kamijo Y, Okada Y, Ikegawa S, Okazaki K, Goto M, Nose H: Skin sympathetic nerve activity component synchronizing with cardiac cycle is involved in hypovolemic suppression of cutaneous vasodilatation in hyperthermia. *J Physiol*, 589: 6231-6242, 2011. 査読あり

DOI: 10.1113/jphysiol.2011.220251

Imai D, Okazaki K, Matsumura S, Suzuki T, Miyazawa T, Suzuki A, Takeda R, Hamamoto T, Zako T, Kawabata T, Miyagawa T: Lower skin temperature decreases maximal cycling performance. *Osaka City Med J*, 57(2):67-77, 2011. 査読あり

岡崎和伸: 運動と発汗および皮膚血流調節 (総説). *発汗学* 18:11-18, 2011. 査読なし

Jarvis SS, Vangundy TB, Galbreath MM, Shibata S, Okazaki K, Reelick MF, Levine BD, Fu Q: Sex differences in the modulation of vasomotor sympathetic outflow during static handgrip exercise in healthy young humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 301(1):R193-R200, 2011. 査読あり

DOI: 10.1152/ajpregu.00562.2010

Ikegawa S, Kamijo Y, Okazaki K, Masuki S, Okada Y, Nose H: Effects of hypohydration on thermoregulation during exercise before and after 5-day aerobic training in a warm environment in young men. *J Appl Physiol*, 110(4):972-980, 2011. 査読あり

DOI: 10.1152/jappphysiol.01193.2010

Galbreath MM, Shibata S, VanGundy TB Okazaki K, Fu Q, Levine BD: Effects of exercise training on arterial-cardiac baroreflex function in POTS. *Clin Auto Res*, 21(2):73-80, 2011. 査読あり

DOI: 10.1007/s10286-010-0091-5

Morikawa M, Okazaki K, Masuki S, Kamijo YI, Yamazaki T, Gen-No H, Nose H: Physical fitness and indices of lifestyle-related diseases before and after interval walking training in middle-aged and older males and females. *Br J Sports Med*, 45(3):216-224, 2011. 査読あり

DOI: 10.1136/bjism.2009.064816

[学会発表](計14件)

Takeda R, Okazaki K, Ota A, Naghavi N, Yamashina Y, Hirasawa Y, Suzuki A,

Imai D, Yokoyama H, Miyagawa T: Skin warm/cold threshold during passive heating are attenuated in elderly than young men. ACSM conference on Integrative Physiology of Exercise 2014, Miami Beach (USA), September 17-20, 2014.

Takeda R, Okazaki K, Imai D, Suzuki A, Naghavi N, Yamashina Y, Yokoyama H, Miyagawa T: Skin warm perception is enhanced by regular endurance training. The 91st Annual Meeting of the Physiological Society of Japan, Kagoshima (Japan), March 16-18, 2014.

Okazaki K, Takeda R, Suzuki A, Imai D, Naghavi N, Yamashina Y, Yokoyama H, Miyagawa T: Effectiveness of autonomic control of the circulation is enhanced with increased plasma volume after intense exercise. The 91st Annual Meeting of the Physiological Society of Japan, Kagoshima (Japan), March 16-18, 2014.

竹田良祐, 岡崎和伸, 今井大喜, 鈴木明菜, NOOSHIN NAGHAVI, 山科吉弘, 横山久代, 宮側敏明: 日常的な持久性運動が皮膚および全身の温度感覚に及ぼす影響. 第68回日本体力医学会, 日本教育会館・学術総合センター(東京都, 千代田区), 2013.9.21-23.

Okazaki K, Takeda R, Suzuki A, Nooshin N, Imai D, Miyagawa T: The effects of increased plasma volume on autonomic control of the circulation after a bout of intense-intermittent exercise in men. *Experimental Biology* 2013, Boston (USA), April 20-24, 2013. Takeda R, Okazaki K, Imai D, Suzuki A, Nooshin N, Yokoyama H, Miyagawa T: Thermal perception in trained and untrained young men. *Experimental Biology* 2013, Boston (USA), April 20-24, 2013.

Okazaki K: Effects of blood volume and humoral factors on the improved thermoregulatory capacity with exercise training, Symposium 06: Heat acclimatization after exercise training: the role of the central and periphery. The 90th Annual Meeting of the Physiological Society of Japan, Tokyo (Japan), March 27-29, 2013.

Takeda R, Okazaki K, Yokoyama H, Imai D, Suzuki A, Nooshin N, Miyagawa T: Thermal sensation during hyperthermia is modulated by postural change in men. The 90th Annual Meeting of the Physiological Society of Japan, Tokyo (Japan), March

27-29, 2013.

竹田良祐, 岡崎和伸, 今井大喜, 鈴木明菜, Naghavi Nooshin, 松村新也, 宮側敏明: 高体温時の姿勢変化が温度感覚に及ぼす影響. 第 67 回日本体力医学会, 長良川国際会議場 (岐阜県, 岐阜市), 2012.9.14-16.

岡崎和伸, 竹田良祐, 鈴木明菜, Naghavi Nooshin, 今井大喜, 宮側敏明: 運動誘発性の血漿量およびアルブミン量の増加は運動直後の蛋白質・糖質摂取によって亢進する. 第 67 回日本体力医学会, 長良川国際会議場 (岐阜県, 岐阜市), 2012.9.14-16.

Okazaki K, Takeda R, Suzuki A, Naghavi N, Imai D, Miyagawa T: Exercise-induced increase in plasma volume and albumin content is enhanced by protein and CHO intake just after exercise. Experimental Biology 2012, San Diego (USA), April 21-25, 2012.

Takeda R, Okazaki K, Imai D, Suzuki A, Naghavi N, Matsumura S, Miyagawa T: Postural change during hyperthermia modifies thermal perception in men. Experimental Biology 2012, San Diego (USA), April 21-25, 2012.

竹田良祐, 岡崎和伸, 今井大喜, 鈴木明菜, Naghavi Nooshin, 松村新也, 河端隆志, 宮側敏明: 深部温上昇時の姿勢変化が温度感覚に及ぼす影響. 第 7 回環境生理学プレコングレス, 松本市あがたの森文化会館・旧松本高等学校講堂ホール (長野県, 松本市), 2012.3.28.

Okazaki K, Takeda R, Suzuki A, Imai D, Kawabata T, Miyagawa T: Post-exercise protein and carbohydrate ingestion enhances exercise-induced increase in plasma volume and albumin content. American College of Sports Medicine 58th Annual meeting, Denver (USA), May 31-June 4, 2011.

〔図書〕(計 5 件)

岡崎和伸: 第 15 章 運動と血液 4) 血漿量. ニュー運動生理学(), 真興交易(株)医書出版部, 東京, 350-395, 2015.
今井大喜, 岡崎和伸: 第 15 章 運動と血液 3) 血液粘度. ニュー運動生理学(), 真興交易(株)医書出版部, 東京, 342-349, 2015.

岡崎和伸: 第 8 章 体力測定と評価 3 高齢者の体力測定法(持久力). 健康運動指導士養成講習会テキスト, 公益財団法人健康・体力づくり事業財団, 東京, 397-404, 2014.

岡崎和伸: 運動生理学概論, 浅野勝己編著. 第 8 章 運動と栄養・水分, 杏林書

院, 東京, 111-130, 2013.

岡崎和伸: 第 9 章 体温調節と機能性食品, 機能性スポーツフードの開発, 矢澤一良監修. シーエムシー出版, 東京, 60-71, 2012.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡崎 和伸 (OKAZAKI Kazunobu)
大阪市立大学 都市健康・スポーツ研究センター・准教授
研究者番号: 7 0 4 4 7 7 5 4

(2) 研究協力者

横山 久代 (YOKOYAMA Hisayo)
大阪市立大学 都市健康・スポーツ研究センター・准教授
研究者番号: 1 0 6 4 7 8 2 9

宮側 敏明 (MIYAGAWA Toshiaki)
大阪市立大学 都市健康・スポーツ研究センター・教授
研究者番号: 4 0 0 6 9 2 5 2

今井 大喜 (IMAI Daiki)
大阪市立大学 都市健康・スポーツ研究センター・講師
研究者番号: 4 0 6 1 4 4 8 3