

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：24402

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25750332

研究課題名(和文) 寒冷利尿が持久的運動に及ぼす影響とその対策

研究課題名(英文) Influence of cold-induced diuresis on endurance exercise performance and its countermeasures

研究代表者

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：40614483

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、持久的運動パフォーマンスに対する寒冷利尿の影響について調査した。寒冷曝露による皮膚温の低下は、寒冷利尿を誘発して血漿量を低下した。また、運動前および運動中の血漿乳酸濃度を上昇して乳酸性作業閾値を低下した。その結果、持久的運動パフォーマンスは、正常体温時に比べて、低皮膚温時に低下した。よって、寒冷環境で運動を実施する場合は、皮膚温が低下しないように対策を講じる必要があると結論づけた。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the effects of cold diuresis on endurance exercise performance. Cold-induced diuresis occurred by lowered skin temperature due to cold exposure and decreased plasma volume. Plasma lactate concentration before and during exercise increased and lactate threshold declined. As a result, exercise duration reduced in lowered skin temperature compared with normothermia. Therefore we conclude that when we do endurance exercise in cold environment, we should take countermeasures to maintain a steady level of skin temperature.

研究分野：環境生理学

キーワード：寒冷利尿 脱水 持久的運動

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、我が国では、種々生活習慣病の予防に運動の継続した実施が効果的であることが、かなり認知されるようになってきた。それに相まって国民の健康志向が高まり、余暇活動としてジョギング・マラソン(持久的運動)への参加人口が約2,500万人に達している(公益財団法人日本生産性本部, レジャー白書2010)。そして、東京マラソンが火付け役となり、市民参加型のマラソン大会が各地で数多く開催され、参加者数も増加傾向にある。この結果、スタート地点における参加者の待機時間が長くなっているようである。さらに我が国では、ほとんどの大会が春、秋、冬に開催され、特に主要な大会は冬に行われる場合が多い。よって、参加者は、競技開始までに寒冷環境に曝されていることが伺える。

(2) 寒冷曝露は、寒冷利尿を誘発することが知られており、また、血漿量の変化率が減少することも既に報告されている(Yoshida T et al., 1999)。これらのことは、寒冷曝露が生体に脱水を誘発させることを示唆している。

(3) 持久的運動の至適環境は寒冷環境である。健常な成人男性を対象に、最大酸素摂取量の70%相対強度にて、疲労困憊に至るまでの自転車漕ぎ運動を4、11、21、31環境で実施した結果、運動継続時間は11環境で最も長いことが報告されている(Galloway SD and Maughan RJ, 1997)。

(4) 上記のことから次の3つの仮説を立てた。運動前の寒冷曝露は、寒冷利尿による血漿量を減少し、脱水を誘発する。

寒冷曝露により誘発され脱水が持久的運動パフォーマンスを低下する。

脱水量と同等量の水分を運動開始前に経口的に摂取すると持久的運動パフォーマンスの低下を防ぐ。

2. 研究の目的

本研究の目的は、上記仮説について検証することである。

3. 研究の方法

(1) 成人男女10名(男性9名・女性1名)を対象とし、実験内容および意義について文書および口頭にて十分に説明し、実験参加の同意を得た。

(2) 対象は、運動前の処置として人工気候室にて水循環スーツを着用の上、60分間の椅座位安静をとり、その後、多段階負荷による疲労困憊に至るまでの自転車漕ぎ運動を実施した。人工気候室の温湿度( $T_a$ , RH)および

水循環スーツ循環水温( $T_w$ )は、次の3試行を設定した。各試行の間は3日以上隔てることとした。

寒冷試行 1: Cool-Cool (CC)

$T_a$ : 10, RH: 40%,  $T_w$ : 10

寒冷試行 2: Mild-Cool (MC)

$T_a$ : 25, RH: 40%,  $T_w$ : 10

中和温試行 3: Mild-Neutral (MN)

$T_a$ : 25, RH: 40%,  $T_w$ : 34

(3) 実験中は、皮膚温を4カ所(胸部、上腕部、大腿部、下腿部)連続的に測定し、平均皮膚温を算出した(Ramanathan, 1964)。また食道温も連続的に測定した。寒冷利尿による脱水の評価として排尿量(4回排尿:人工気候室入室前、水循環スーツ循環開始前、60分間の安静終了直後、運動終了直後)と各試行前後の体重差を測定した。そして、複数回の採血(運動継続時間によって異なる)を実施し、ヘモグロビン量およびヘマトクリット値から血漿量の変化率(Greenleaf, 1979)を、また血漿乳酸濃度から乳酸性作業閾値(2あるいは3本の回帰直線)を算出した。また、運動継続時間を持久的運動パフォーマンスとして評価した。

4. 研究成果

(1) 60分間の椅座位安静時における平均皮膚温( $T_{sk}$ )は、MNに比してMC、CCの順で有意に低下した(図1)。

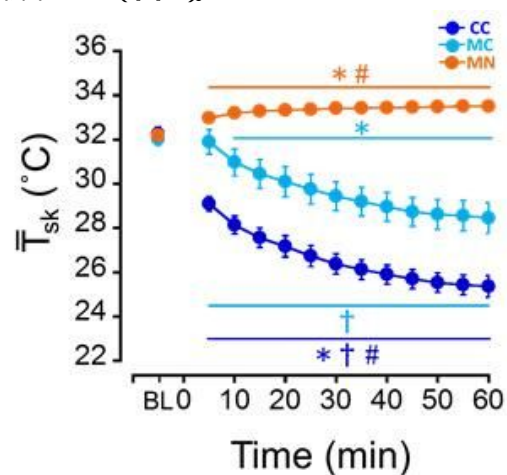


図1. 60分間の椅座位安静時における平均皮膚温の変化

\*:  $p < 0.001$  vs ベースライン (BL), †:  $p < 0.001$  vs 中和温試行 (MN), #:  $p < 0.001$  vs 寒冷試行 2 (MC)

(2) 60分間の椅座位安静時における食道温( $T_{es}$ )は、MNに比してMCおよびCCで僅かに上昇したものの安静終了時には各試行間に有意な差はみられなかった(図2)。

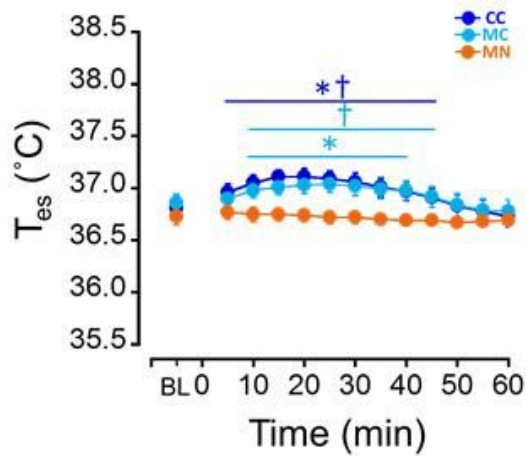


図2. 60分間の椅座位安静時における食道温の変化  
\*:  $p < 0.001$  vs ベースライン (BL), †:  $p < 0.001$  vs 中和温試行 (MN)

(3) 各試行における総排尿量 (Total urine volume) は、MN に比して、CC で有意に高値を示した (図3)。

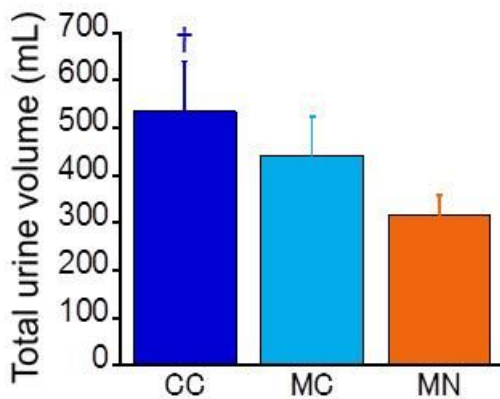


図3. 各試行における総排尿量  
†:  $p < 0.05$  vs 中和温試行 (MN)

(4) 各試行前後の体重差 (Total water loss) は、MN に比して、MC で低値を示すものの、試行間に有意な差はみられなかった (図4)。

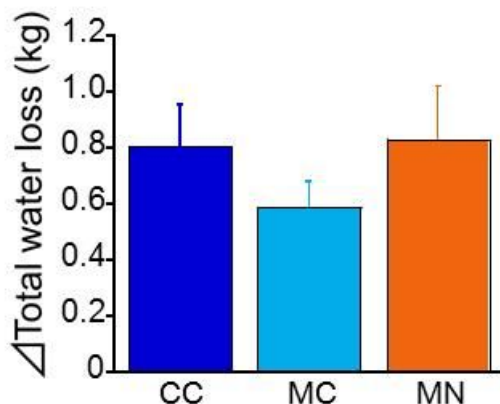


図4. 各試行における総水分損失量

(5) 血漿量の変化率は、安静終了時 (60min)、60W および 120W 負荷時に MN に比して CC で有意に低値を示した (図5)。

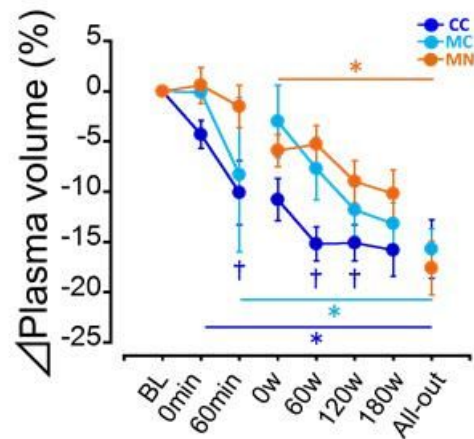


図5. 安静および運動時における血漿量の変化率  
\*:  $p < 0.001$  vs ベースライン (BL), †:  $p < 0.05$  vs 中和温試行 (MN)

(6) 血漿乳酸濃度は、運動前および運動中 MN および MC に比して CC で有意に高値を示した (図6)。

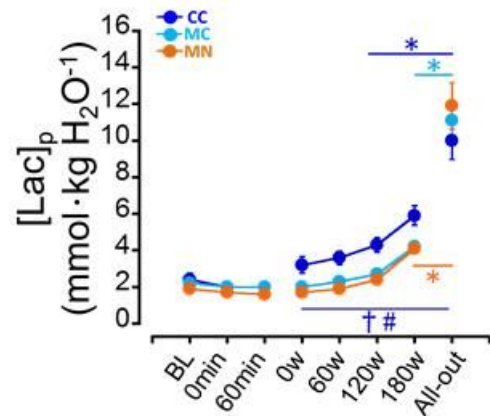


図6. 安静および運動時における血漿乳酸濃度  
\*:  $p < 0.01$  vs ベースライン (BL), †:  $p < 0.05$  vs 中和温試行 (MN), #:  $p < 0.05$  vs 寒冷試行2 (MC)

(7) 乳酸性作業閾値は、MN および MC に比して CC で有意に低値を示した (図7)。

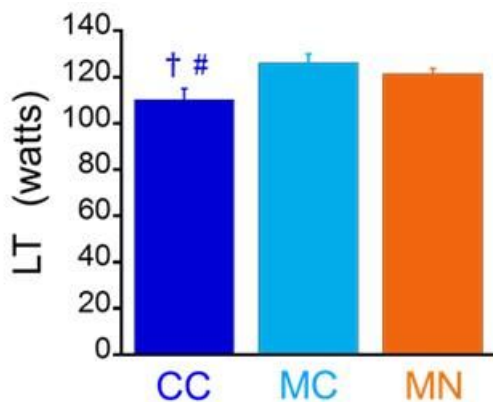


図7. 各試行における乳酸性作業閾値  
†:  $p < 0.05$  vs 中和温試行 (MN), #:  $p < 0.05$  vs 寒冷試行 2 (MC)

(8)運動継続時間 (Exercise duration) は、MNに比して、CCで有意に低値を示した(図8)。

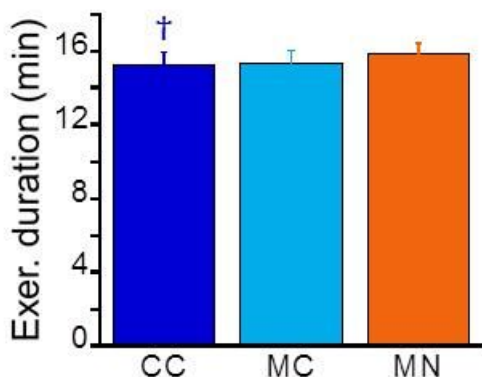


図8. 各試行における運動継続時間  
†:  $p < 0.05$  vs 中和温試行 (MN)

(7) 以上の研究成果から、深部温には影響しない程度の、皮膚温のみ低下する寒冷曝露は寒冷利尿によって血漿量を低下し、持久的運動パフォーマンスを低下することが明らかとなった。また、運動継続時間がいずれの試行においても 20 分未満であり、摂取した水分が吸収され減少した血漿量に反映する可能性は極めて低いと判断したことから、仮設 3 の検証は行わなかった。運動終了時の食道温はCCで  $36.43 \pm 0.20$ 、MCで  $36.91 \pm 0.20$ 、MNで  $37.90 \pm 0.15$  (平均  $\pm$  標準誤差) であり、いずれの試行間においても有意な差がみとめられた ( $p < 0.05$ )。つまりCCで最も低値を示すことから今回の実験条件では運動による深部温の上昇がパフォーマンスを決定する要因とは考えにくい。本検証実験における運動制限要因は、寒冷曝露による血中乳酸濃度の上昇とそれに伴う乳酸性作業閾値の低下によることが示唆された。したがって、寒冷環境で運動を実施する場合は、深部温のみならず皮膚温が低下しないように対策を講じる必要がある。これらの成果は、寒冷環境下における運動時

のパフォーマンス制限要因を検討する上で重要な基礎データとなる。

#### 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 2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, 査読有, 46, 2014, 1452-1461.

Yamashina Y, Yokoyama H, Tabira K, Masuda T, Suzuki A, Takeda R, Naghavi N, Imai D, Okazaki K, Miyagawa T: Abdominal obesity augments further reduction in the cough capacities by supination of middle-aged and elderly women. Biophilia, 査読有, 10, 2014, 17-23.

[学会発表](計 10件)

Imai D, Okazaki K, Yokoyama H, Takeda R, Naghavi N, Yamashina Y, Hirasawa Y, Ota A, Matsumura S, Miyagawa T: Lactate threshold is decreased by skin surface cooling prior to exercise in cool environment. ACSM Conference on Integrative Physiology for Exercise 2014, September 20, 2014, Miami (USA).

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 for Exercise 2014, September 19, 2014, Miami (USA).

山科吉宏、横山久代、今井大晝、鈴木明菜、竹田良祐、Naghavi Nooshin、宮側敏明、中高年者の腹部肥満は仰臥位における咳嗽能力の低下を増強する。第 24 回関西臨床スポーツ医・科学研究会、2014.6.21、薬業年金会館(大阪府・大阪市)

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

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 91th Annual Meeting of the Physiological Society of Japan, March 18,

2014, Kagoshima University (Kagoshima・kagoshima).

Naghavi Nooshin, 岡崎和伸, 今井大喜, 鈴木明菜, 竹田良祐, 山科吉弘, 横山久代, 宮側敏明: Responses in central and peripheral blood pressure after simple suger ingestion. 第 68 回体力医学会大会, 2014.9.22、日本教育会館・学術総合センター・共立講堂(東京都・千代田区)

竹田良祐, 岡崎和伸, 今井大喜, 鈴木明菜, Naghavi Nooshin, 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 回体力医学会大会, 2014.9.21、日本教育会館・学術総合センター・共立講堂(東京都・千代田区)

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. Exeperimental biology 2013, April 24, 2013, Boston (USA).

Suzuki A, Okazaki K, Nooshin N, Imai D, Takeda R, Nooshin N, Miyagawa T: The sensitivity of lowered shift of core temperature threshold for thermoregulation to insulin is associated with insulin response to glucose during passive heating in men. Exeperimental biology 2013, April 24, 2013, Boston (USA).

Takeda R, Okazaki K, Imai D, Suzuki A, Nooshin N, Yokoyama H, Miyagawa T: Thermal perception in trained and untrained young men. Exeperimental biology 2013, April 24, 2013, Boston (USA).

〔図書〕(計 1 件)

今井大喜 岡崎和伸、真興交易(株)医書出版部、ニュー運動生理学 Section15 運動と血液 3 血液粘度、2015、408 (342-349)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

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