

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560319

研究課題名(和文) 汗腺の塩分再吸収能力からみた熱中症予防に関わる発汗機能の新評価法

研究課題名(英文) A new method for evaluating sweat function associated with preventing heat stroke based on ion reabsorption of eccrine sweat glands

研究代表者

近藤 徳彦 (Kondo, Narihiko)

神戸大学・人間発達環境学研究所・教授

研究者番号：70215458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は皮膚電気コンダクタンスおよび発汗量の測定からヒトの汗腺のイオン(主に塩分)再吸収を評価する簡単な方法を開発することであった。被験者は健康な男子学生7名であった。運動による暑熱順化前の皮膚電気コンダクタンス-発汗量関係の発汗閾値は先行研究の値と同様であった。さらに、暑熱順化後のこの値は有意に増加した。本研究による結果は皮膚電気コンダクタンス-発汗量関係によりヒトにおいて汗腺での塩分再吸収能力を評価できることを示している。この方法は運動生理学・環境生理学者にとって簡単で有益な方法で、汗腺の塩分再吸収能力の信頼できる情報を提供できるかも知れない。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to develop and describe a simple method to evaluate the rate of ion (mainly sodium) reabsorption of eccrine sweat glands in human using the measurement of galvanic skin conductance and sweating rate. Seven healthy non-heat-acclimated male subjects received passive heat treatment both before and after 7 days of cycling in hot conditions. We confirmed that the sweating rate threshold for increasing galvanic skin conductance was near the predicted sweating rate during passive heating before exercise heat acclimation, and increased significantly after training. These results suggests that the relationship between galvanic skin conductance and sweating rate can serve as a new index for assessing the maximum rate of sweat sodium reabsorption of eccrine sweat glands in humans. The method is useful, and of interest to thermal and exercise physiologists, and may add reliable information on sweat gland capacities to reabsorb sweated ions.

研究分野：運動生理学

キーワード：環境適応能 発汗調節 汗の成分 汗腺 体温調節

1. 研究開始当初の背景

発汗はヒトが運動する時や暑い環境下に曝されたときに、体温を維持するためには欠かせない機能で、動物の中ではヒトのそれが最も発達しており、これが我々の進化と大きく関わること指摘されている (Lieberman. Nature, 2004). この機能の働きで暑い環境下での運動時には過度に体温上昇が起こらず、運動パフォーマンス低下や熱中症の予防が可能となる。しかし、この機能が十分に働かない環境下ではヒトに大きなダメージを与えることは容易に想像できる。この機能は持続的な運動トレーニングや暑い環境下にしばらく暴露されることにより改善され (Ikegawa et al. J Appl Physiol 2011, Ichinose-Kuwahara et al. Exp Physiol 2010), それは、1) 発汗量の増加, 2) 汗に含まれるイオン濃度低下 (主に塩分濃度が関係し、汗腺での塩分再吸収能力が上昇する), に大きく現れる。特に後者は汗の蒸発効率 (少ない汗で多くの熱を放散させる) を高める上で、大変重要である。1) は体重減少量などを測定することにより、ある程度容易に評価できるが、2) の評価は汗の化学的分析が必要となるため、それほど簡単ではない。

これまで申請者は 1) の発汗量変化をもとに運動時発汗調節の研究を行い、これには体温以外に運動に関わる要因も重要であることを明らかにしてきた (Kondo et al. Eur J Appl Physiol 2010). 発汗調節のさらなる解明には汗の塩分濃度の測定が必要であると常に考えていたが、それを簡便に、かつ、連続的に測定する方法に苦慮していた。実際、世界的にみてもこの研究が遅れている。

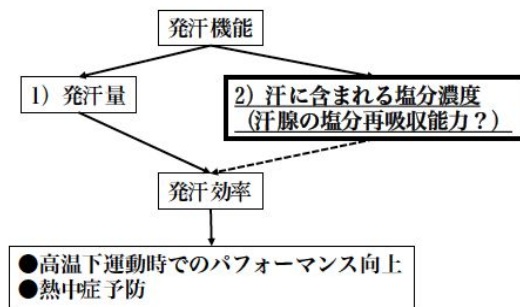


図1 研究の全体のイメージ

2. 研究の目的

本研究では、汗塩分濃度の変化から発汗機能改善を評価できる斬新な方法を確立しようとするものである。そのため、次の二つの課題を設定した。

- 1) 汗の塩分濃度に影響される皮膚電気コンダクタンス (皮膚電気抵抗の逆数) を連続的に測定し、それと発汗量との関係から汗腺の塩分再吸収能力を評価する。
- 2) 1) で評価した値が運動トレーニング (暑熱順化) によって変化するのか検討し、この方法の妥当性を確かめる。

3. 研究の方法

1) 皮膚電気コンダクタンス-発汗量の関係を明らかにし、この関係により汗腺の塩分再吸収能力が評価できるのかどうか検討する。

方法・手順

健康な男子学生 7 名を対象に、座位姿勢にて膝から下を 42 ° の湯に 50 分間つけて、体温を上昇させ、発汗反応を引き起こさせた。環境条件は気温 28 ° 相対湿度 50% に設定された人工気象室 (SR-3000, ナガノサイエンス) で実施した。被験者は短パンのみを着用した。

測定項目・分析方法

前腕の皮膚電気コンダクタンス・発汗量・皮膚温、体温として食道温、心拍数および血圧を下肢温浴中、連続的に測定した。皮膚電気コンダクタンスの測定には Biopac systems (MP100 and GSR100C; Biopac, Goleta, CA, USA) を、発汗量の測定には換気カプセル法を、体温と皮膚温は熱電対により測定した。心拍数・血圧の測定には Finometer (Finapres Medical Systems, Amsterdam, The Netherlands) を用いた。図 2 は前腕における皮膚電気コンダクタンスと発汗量の関係を示している。まず、この関係に変曲点が存在するのかどうかを検討した (図 2)。もし、変曲点がある場合にそのときの発汗量の値を算出し、これまで報告されている値 (Shamusuddin et al. Eur J Appl Physiol, 2005a,b) と比較し、汗腺の汗塩分再吸収能力を評価した。

2) 1) で検討した皮膚電気コンダクタンス-発汗量の関係をもとに汗腺の塩分再吸収能力の評価方法が妥当かどうかを、運動トレーニングによる暑熱順化により検討した。

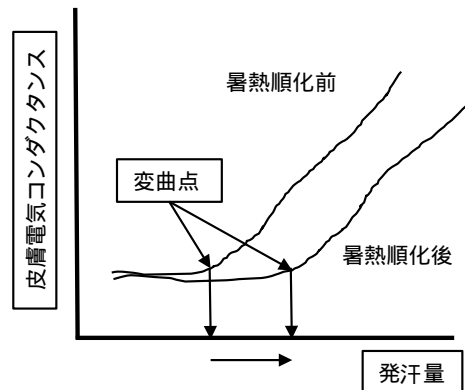
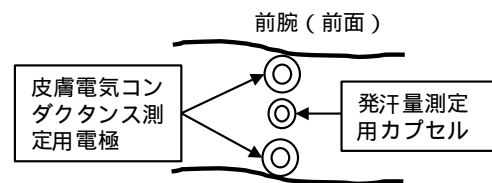


図2 皮膚コンダクタンス・発汗量の測定法および両者の関係の分析法

方法・手順

1)と同様な健康な男子学生7名を対象に、運動強度が最大酸素摂取量の50%、運動時間が60分間の自転車運動を、1日1回、1週間(7日間連続)実施した。環境条件は環境温32・相対湿度50%に設定した(SR-3000, ナガノサイエンス)。暑熱順化前後に皮膚電気コンダクタンス-発汗量の関係を検討するために、1)で実施した方法で下肢温浴実験を50分間行った。

測定項目・分析方法

測定項目は1)と同様とし、皮膚電気コンダクタンス-発汗量の関係を暑熱順化前後で検討した。これまでの研究からこの暑熱順化により汗の塩分濃度が低下する(汗腺での塩分再吸収能力が増加する)ことが知られているので、もし、今回でもこのことが起これば、皮膚電気コンダクタンス-発汗量の関係が図2下のようになると考えられる。暑熱順化後、両者の関係が右側に移動し、変曲点が高い発汗量でみられるようになる。これは汗腺での塩分再吸収能力が高まり、これにより多くの汗をかいてもその中に含まれる塩分濃度が低くなることを示していると推察され、熱中症予防に欠かせない汗の蒸発効率が高まったことを意味する。

運動トレーニングによる暑熱順化効果の指標の一つとして、最大酸素摂取量を自転車による漸増負荷法(20Wでwarm-upを2分間行った後、オールアウトまで15W/minで負荷を増加させる)により測定し、酸素摂取量の分析には自動呼気ガス分析装置(AE300S, ミナト機器社製)を用いた。

4. 研究成果

1) 皮膚電気コンダクタンス-発汗量の関係の変曲点

図3に皮膚電気コンダクタンス(GSC)-発汗量(SR)関係を示した。この関係では発汗は増加しないが、皮膚電気コンダクタンスが

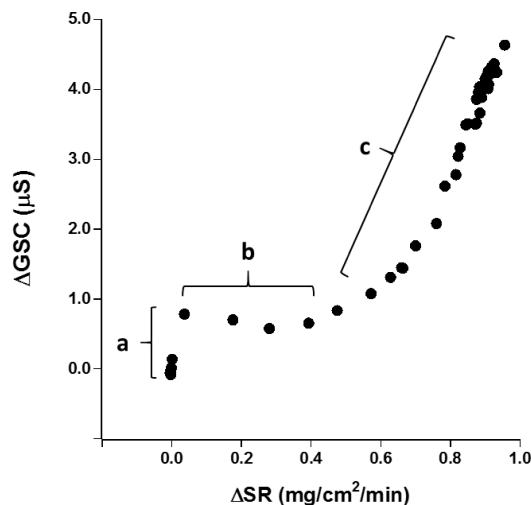


図3 皮膚電気コンダクタンス(GSC)-発汗量(SR)の関係

増加する局面(a)、発汗は増加するが皮膚電気コンダクタンスが増加しない局面(b)および両者がともに増加する局面(c)に分かれていた。今回、両者の関係の変曲点はbとcの局面のデータを主に用い、segmented linear regression analysis method (Cheuvront et al. J Appl Physiol 2009)により求めた。

皮膚電気コンダクタンス-発汗量の関係には変曲点が認められ(図3・4)、本研究におけるこの閾値の発汗量0.19mg/cm²/minは先行研究で報告されている値(Buono et al. J Appl Physiol 2008, Shamsuddin et al. Eur J Appl Physiol 2005a,b)と類似していた。この結果は皮膚電気コンダクタンス-発汗量の関係の変曲点を用いることで、汗腺での汗塩分の再吸収能力を評価できることを示している。

2) 暑熱順化と皮膚電気コンダクタンス-発汗量の関係

図5に暑熱順化前後の体温-発汗量および皮膚電気コンダクタンスの関係を示した。順化後、体温-発汗関係には大きな違いはなかったが、体温-皮膚電気コンダクタンス関係における体温閾値は順化によって有意に増加した。

図4に示したように、暑熱順化により皮膚電気コンダクタンス-発汗量関係は右方に移動し、両者の関係から求めた変曲点の発汗量は0.19mg/cm²/minから0.32mg/cm²/minと、有意に増加した。一方、両者の関係の勾配は暑熱順化によって顕著に変化しなかった。この結果は一定の発汗量に対する汗の塩分濃度は暑熱順化によって低下し、汗腺での汗塩分再吸収能力が増加したことを示している。これに関連して、発汗-汗塩分濃度関係が暑熱順化によって右方のシフトすることが報告されている(Buono et al. J Appl Physiol 2007)。

今回、高温下での運動トレーニングを暑熱順化の方法として用いた。暑熱順化により最

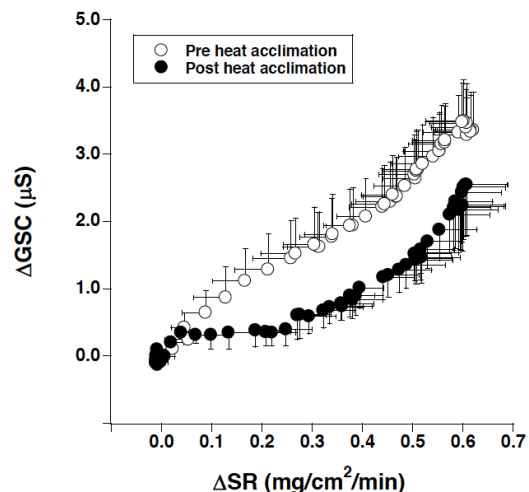


図4 暑熱順化前後の皮膚電気コンダクタンス(GSC)-発汗量(SR)の関係

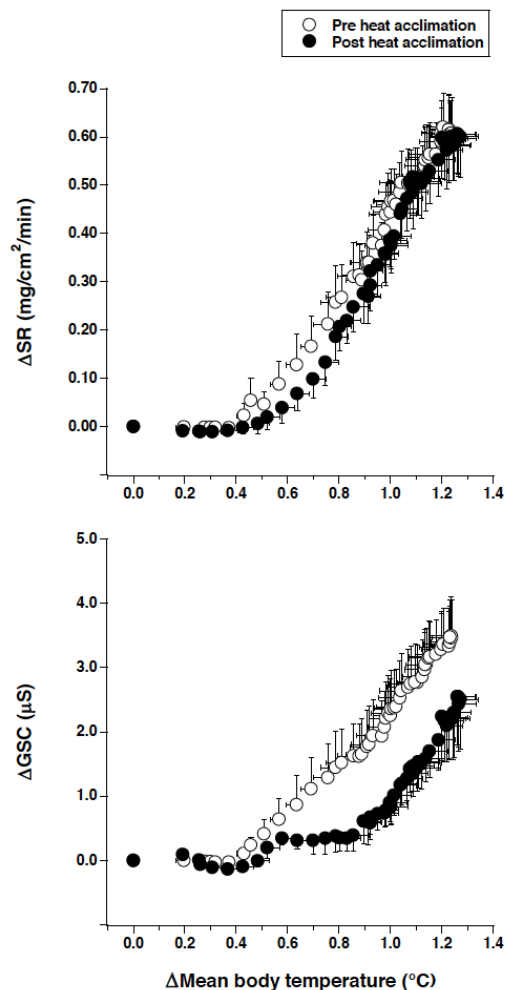


図5 暑熱順化前後の体温-発汗量 (SR) および皮膚電気コンダクタンス (GSR) の関係

大酸素摂取量の増加 (10%以上の増加), 安静時体温の低下が起こる。また, 発汗量も増加する。本研究においては前者2つの変化は暑熱順化後にみられたが, 発汗量は順化後に大きな変化を示さなかった。一方, 体温-皮膚電気コンダクタンス関係は暑熱順化により右方へ大きくシフトした(図5)。この結果は暑熱順化による発汗調節の適応として, 発汗の量的変化より汗のイオン濃度の変化が先に起こることを示しているのかも知れない。

3) 本研究の限界

本研究では皮膚電気コンダクタンスにより汗の塩分濃度を予測した。皮膚電気コンダクタンスは多くの要因に影響を受け, 今回の研究では汗に伴って皮膚に残留する塩分に結果が影響を受けた可能性がある。

本研究の妥当性を高めるためには, 連続的に汗塩分濃度の計測する必要があると考えられ, その方法の開発が望まれる。

4) まとめ

皮膚電気コンダクタンス-発汗量の関係から汗腺の塩分再吸収能力を評価した。この関係における変曲点の発汗量がこれまでの報告と類似しているのか, また, この関係がこ

れまで報告されている暑熱順化後の発汗-汗塩分濃度関係の変化と同様なのか, 比較した。その結果, 本研究における皮膚電気コンダクタンス-発汗量の関係はこれまで報告されている汗塩分濃度の変化をよく反映しており, 汗腺の塩分再吸収能力を評価できると示唆される。本方法は簡単にセットアップできるため, 運動生理学や環境生理学の研究に有用であると考えられる。

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1件)

Anano T, Gerrett N, Inoue Y, Nishiyasu T, Havenith G, Kondo N. Determination of the maximum rate of eccrine sweat glands' ion reabsorption using the Galvanic Skin Conductance to local sweat rate relationship. Eur J Appl Physiol Under review, 2015.

〔学会発表〕(計1件)

天野達郎, 井上芳光, 西保 岳, 近藤徳彦. 第69回日本体力医学会(長崎), 2014年09月19日~2014年09月21日。

〔図書〕(計2件)

(1) 天野達郎, 近藤徳彦. ニュー運動生理学 II Section12-1 熱放散. pp.174-182, 2015.

(2) 近藤徳彦, 井上芳光.

環境と運動(1)(2)-健康運動指導士養成講習会テキスト. pp.215-226, 2014.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www2.kobe-u.ac.jp/~kondo/LaHp/Welcome.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

近藤 徳彦(KONDO NARIHIKO) 神戸大学・大学院人間発達環境学研究所・教授
研究者番号:70215458

(2) 研究分担者

近江 雅人(OHMI MASATO) 大阪大学・大学院医学研究科・教授
研究者番号:60273645

井上 芳光(INOUE YOSHIMITSU) 大阪国際大学・人間科学部・教授
研究者番号:70122566