

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02153

研究課題名(和文) 運動と遺伝子が高温下での運動パフォーマンスに関係する汗イオン濃度調節に及ぼす影響

研究課題名(英文) The effects of exercise and genes on regulation of sweat ion associated with exercise performance in hot condition

研究代表者

近藤 徳彦 (Kondo, Narihiko)

神戸大学・人間発達環境学研究科・教授

研究者番号：70215458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：運動と遺伝子が汗イオン濃度調節(汗腺でのイオン再吸収能力)に及ぼす影響を検討した。部位差・年齢差等から発汗量・皮膚電気コンダクタンス関係から汗腺でのイオン再吸収能力が評価できることを示した。強い強度の運動はこの能力を向上されることが分かったが、運動のどの要因が影響しているか明らかにできなかった。運動と安静時での皮膚温の違いがこの再吸収能力にも影響し、6℃の違いがそれに関与していた。活動汗腺数に関連するEDAR370A遺伝子とイオン再吸収能力の間には顕著な関係がなかった。このことから、強い強度の運動は汗イオン濃度調節に影響するが、活動汗腺数に関連する遺伝子の影響はみられなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高温下で運動を行う場合、運動パフォーマンスの大きな低下や運動時の熱中症発症の問題があり、これを防止するためには汗イオン濃度を低下させ、汗を効率よく蒸発させることが重要となる。本研究は汗イオン濃度調節(汗腺でのイオン再吸収能力)を評価する方法を確立し、それにより運動がこれを高めることを明らかにした。汗イオン濃度調節に及ぼす運動の影響を明らかにしたことは学術的に意義が高い。また、今回用いた方法の改善により日常生活での汗腺機能評価が汗の量と質から可能となり、夏に社会的問題になっている熱中症予防策に貢献できることが考えられる。

研究成果の概要(英文)：We investigated the effects of exercise and genes that are related to the number of activated sweat gland. It is suggested that the relationship between sweat rate and galvanic skin conductance indicates ion reabsorption capacity at eccrine sweat glands. Heavy exercise induces high ion reabsorption capacity, however, it was not clear which exercise factors affect this effect. The 6℃ difference in skin temperature between exercise and passive heating influences markedly the capacity. The gene of EDAR370A did not affect reabsorption capacity. These results indicate that heavy exercise intensity changes ion reabsorption capacity at eccrine sweat, but the gene does not it.

研究分野：運動生理学, 環境生理学

キーワード：汗にイオン濃度 汗腺でのイオン再吸収能力 運動 EDAR370A

1. 研究開始当初の背景

1) 背景 1

運動パフォーマンスは温度環境に影響され、高温下ではそのパフォーマンスの大きな低下や運動時の熱中症発症の問題があり、これを防止するためには運動時における過度の体温上昇を抑える発汗調節システムが重要となる。これまでの研究では運動時の発汗調節を発汗の量から主に検討してきたが、発汗の量が多くても、出た汗が効率よく蒸発しないと体温の維持が難しく、また、体液量の損失等にも関係するため、生体への負担が大きくなる。効率よく汗を蒸発させるには汗イオン濃度を低下させ、汗の蒸発を高める必要がある。

汗イオン濃度(発汗の質)の調節は汗の蒸発に大きく影響するため、運動時の発汗調節特性をさらに明らかにするためには、運動時におけるこの調節特性の研究が必要であった。しかし、これまでの方法では汗イオン濃度を連続的に測定するのが難しかったが、申請者らの方法(Amano et al. 2016)でそれが可能になってきた。また、遺伝子とこの調節との関係についても検討できる基礎が出来てきた(挑戦的萌芽研究、2015-2016)。さらに、汗イオン(塩分)の濃度が暑熱下の運動パフォーマンスに影響している可能性がスポーツの現場でも指摘され始めてきた(岡崎ら、2014)。そこで、これまで蓄積してきた研究成果をもとに、運動時の発汗調節特性をさらに明らかにし、高温下での運動パフォーマンス低下の予防策に貢献したいと考え、汗イオン濃度の調節を運動(運動刺激)と遺伝子との関係から検討することに至った。

2) 背景 2: 運動時の発汗調節システムに関する研究の申請者らのこれまでの取り組み

(1) 運動に関わる要因の影響

運動時における過度の体温上昇を抑える発汗調節は、体温などの要因(温熱性要因)と運動時において独自に関係する要因(非温熱性要因: セントラルコマンド・運動しようとする意識、筋代謝受容器・筋の疲労を感知する受容器、精神性要因、Kenny et al. 2010; Kondo et al. 1999; Shibasaki et al. 2001; Shibasaki et al. 2003)に影響される。申請者はこれまで後者の非温熱性要因の影響に関して、2004~2006年度での科学研究費で各要因の単独影響を(近藤2005)、2007~2009年度のそれでは各要因の相互作用を(Kondo et al. 2010, Amano et al. 2014)、2011~2013年度には精神性要因の影響を検討してきた。

(2) 汗腺に関わる固有遺伝子と発汗調節との関係

2013年に発表された遺伝子(エクトジスプラシン EDAR の EDAR370A)とエクリン汗腺の数の関係の論文(Kamberov et al. 2013)をもとに、この遺伝子が汗イオン濃度(発汗の質)の調節にどのような影響を及ぼしているのか検討する必要がある。

2. 研究の目的

1) 汗イオン濃度の調節特性の評価方法の確立

申請者らが報告した発汗量-皮膚電気コンダクタンスの関係から汗イオン濃度の調節特性の評価方法を、安静温熱負荷時・運動時、部位差・性差・年齢差等から確立する。

2) 安静時と運動時の比較と運動に関わる要因としての筋代謝受容器による汗イオン濃度の調節特性の検討

(1) 安静温熱負荷(安静時)と運動時の汗イオン濃度の調節特性を、1) 確立した方法で明らかにし、運動によりこの特性が変化するかどうか検討する。

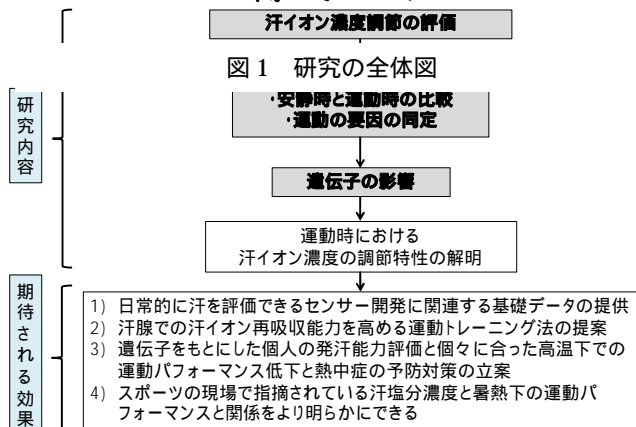
(2) 安静時と運動時の皮膚温差が汗イオン濃度調節に及ぼす影響を検討する。

(3) 運動によりその特性が変化した場合、それがどの要因によるのかを検討するため、運動に関わる要因(筋代謝受容器、運動全体が汗イオン濃度の調節特性に及ぼす影響を明らかにする。

3) 汗イオン濃度の調節特性と遺伝子との関係

汗イオン濃度の調節特性が汗腺に関わる固有遺伝子を有している者とそうでない者とを比較することで、この調節特性と遺伝子との関係を明らかにする。

運動時の体温維持により重要な汗イオン濃度の調節を
解明するためのアプローチ



3. 研究の方法

1) 汗イオン濃度の調節特性の評価方法の確立

(1) 成人男女に対して、3つの強度の自転車運動をそれぞれ10分間、15分間および20分間、環境温 30 ・ 相対湿度 50%の環境下で実施した。汗イオン濃度調節（汗腺でのイオン再吸収能力）を前腕と背部で測定した（Amano et al. 2017）。

(2) 50-84歳までの男女に対して、環境温 25 ・ 相対湿度 50 の環境下で膝から下を 42 の湯に浸す安静時温熱負荷を実施した。汗腺でのイオン再吸収能力を前腕・胸・大腿で測定した（Gerrett et al. 2021）。

2) 安静時と運動時の比較と運動に影響される要因と汗イオン濃度の調節特性

(1) 成人男女に対して、環境温 27 ・ 相対湿度 50%の環境下で最大酸素摂取量 30%・60%の自転車運動負荷および膝から下を 42-43 の湯に浸す安静時温熱負荷を実施した。汗腺でのイオン再吸収能力を前腕・胸・背で測定した（Gerrett et al. 2018）。

(2) 成人男女に対して、環境温 27 ・ 相対湿度 50%の環境下で前腕皮膚温を 30・33・36 に変化させ、膝から下を 42-43 の湯に浸す安静時温熱負荷を実施した。汗腺でのイオン再吸収能力を前腕で測定した（Gerrett et al. 2019）。

(3) 成人男子に対して、環境温 27 ・ 相対湿度 50%の環境下で膝から下を 42-43 の湯に浸す安静時温熱負荷を実施した。負荷中、a：筋代謝受容器の選択的刺激（掌握運動後に上腕阻血により前腕の筋代謝受容器を賦活する方法）、b：最大随意筋力の30%の負荷を用いて2秒掌握+2秒休息の動的な筋収縮を実施した（セントラルコマンド、筋機械・代謝受容器反射を総合的活動させる運動）。

3) 汗イオン濃度の調節特性と遺伝子との関係

EDAR370A 遺伝子を有している成人男女とそうでない者の発汗調節機能・汗イオン調節機能を比較した。男女学生の被験者から口腔スワブ検体を DNA 解析し、EDAR 遺伝子の多型部位を PCR で増幅した。汗腺でのイオン再吸収能力はこれまでの方法と汗イオン濃度（塩分濃度）を局所発汗量あるいは体重減少量で除した値で評価した。

4. 研究成果

1) 汗イオン濃度の調節特性の評価方法の確立 (Amano et al. 2017, Gerrett et al. 2021)

成人男女と 50-84 歳までの中年-高齢者に対して、運動時や安静温熱負荷時における発汗量-皮膚電気コンダクタンスの関係から汗イオン濃度の調節特性（図 2 の閾値）を、安静時・運動時においてほとんどの被験者で評価することができた。結果として、汗腺でのイオン再吸収能力は胸部（体幹）>前腕部となり（有意差）、性差はみられなかった。また、50-84 歳までは範囲ではこの能力と年齢との間に一定の関係は認められなかった。

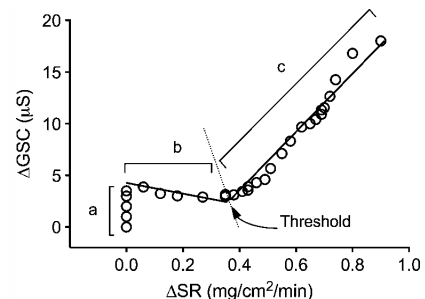


図 2 発汗量と皮膚電気コンダクタンスの関係。閾値が汗腺でのイオン再吸収能力を示す。

2) 安静時と運動時の比較 (Gerrett et al. 2018) と運動に影響される要因 (Gerrett et al. 2019) と汗イオン濃度の調節特性

運動時の汗腺でのイオン再吸収能力は最大酸素摂取量 60%の運動では安静温熱負荷より顕著に高くなったが、最大酸素摂取量 30%は安静温熱負荷と同様であった（図 3）。運動が汗腺でのイオン再吸収能力に影響するにはある程度強い運動負荷が必要であると考えられる。

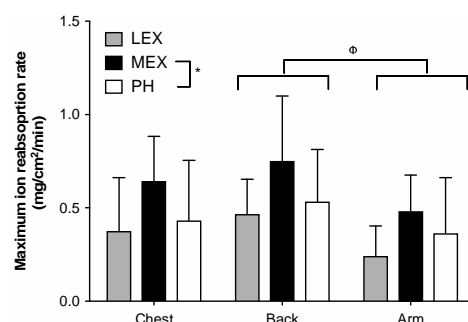


図 3 運動時と安静温熱負荷時の汗腺でのイオン再吸収能力

運動時と安静温熱負荷では方法論上の問題で皮膚温が大きく異なる（運動時<安静温熱負荷時）。そのため、皮膚温の違いが汗腺でのイオン再吸収能力に影響する可能性がある。そこで、局所皮膚温を変化させその能力がどのように影響されるか検討した結果、皮膚差が 6 で顕著な影響がみられた（Gerrett et al. 2019）。この結果から運動時と安静温熱負荷時の汗腺でのイオン再吸収能力差には皮膚温差は大きく影響していないことが考えられた。

筋代謝受容器の活動が汗イオン濃度の調節に及ぼす影響を検討したが、筋代謝受容器活動は長くても9分間が限界であり、この方法では汗イオン再吸収能を評価するための発汗-皮膚電気コンダクタンス関係が得られなかった。そこで、別の方法として前述の動的掌握運動（セントラルコマンド、筋機械・代謝受容器反射を総合的活動させる運動）を用いた。この方法により動的掌握運動時の発汗-皮膚電気コンダクタンス関係がコントロールより左方へ移動する傾向にあったが、顕著な差ではなかった。これは運動に関わる要因（セントラルコマンド、筋機械・代謝受容器反射等）を総合的ににより汗イオン再吸収能は大きく影響されないことを示している。

3) 汗イオン濃度の調節特性と遺伝子との関係

37名の男女学生の被験者から口腔スワブ検体をDNA解析し、EDAR遺伝子の多型部位をPCRで増幅した。遺伝子解析の結果、被験者の27名（73%）がEDAR370Aを有しており、残り10名（27%）がこの遺伝子を有していなかった。この2グループの汗腺でのイオン再吸収能力をこれまでの方法と汗イオン濃度（塩分濃度）を局所発汗量あるいは体重減少量で除した値で評価したが、この値は両グループ間に顕著な差がなかった。しかし、EDAR370A遺伝子を有していないグループの被験者数が十分ではなく、さらに、検討が必要であると考えられる。

これらのことから、強い強度の運動は汗イオン濃度調節に影響するが、活動汗腺数に関連する遺伝子の影響は見られなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Amano T, Hirose M, Konishi K, Gerrett N, Ueda H, Kondo N, Inoue Y.	4. 巻 117
2. 論文標題 Maximum rate of sweat ions reabsorption during exercise with regional differences, sex, and exercise training	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Eur J Appl Physiol	6. 最初と最後の頁 1317-1327
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00421-017-3619-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Gerrett N, Amano T, Inoue Y, Havenith G, Kondo N	4. 巻 6
2. 論文標題 The effects of exercise and passive heating on the sweat glands ion reabsorption rates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physiol Rep	6. 最初と最後の頁 e13619
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14814/phy2.13619	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Gerrett N, Amano T, Havenith G, Inoue Y, Kondo N	4. 巻 119
2. 論文標題 The influence of local skin temperature on the sweat glands maximum ion reabsorption rate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Eur J Appl Physiol	6. 最初と最後の頁 685-695
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00421-018-04059-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Gerrett N, Amano T, Inoue Y, Kondo N	4. 巻 121
2. 論文標題 Eccrine sweat glands' maximum ion reabsorption rates during passive heating in older adults (50-84 years)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Eur J Appl Physiol	6. 最初と最後の頁 3145-3159
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00421-021-04766-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 近藤徳彦
2. 発表標題 ヒトの進化と発汗調節特性
3. 学会等名 第30回日本発汗学会総会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 近藤徳彦
2. 発表標題 運動時の発汗調節機構
3. 学会等名 第75回日本自律神経学会総会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 近藤徳彦, 藤井直人, 天野達郎, Nicola Gerrett, 井上芳光, 西保岳
2. 発表標題 進化の過程で獲得した汗の調節機構
3. 学会等名 第28回日本発汗学会総会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Gerrett N, Inoue Y, Kondo N
2. 発表標題 Eccrine sweat glands ion reabsorption in healthy older adult after heat acclimation
3. 学会等名 The 2019 International Conference on Environmental Ergonomics（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ohashi T, Mitsuzawa S, Gerrett N, Kondo N
2. 発表標題 A new device for continuously collecting sweat samples for measuring both sweat composition and volume
3. 学会等名 The 2019 International Conference on Environmental Ergonomics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤徳彦
2. 発表標題 運動時における発汗調節研究のこれまでとこれから
3. 学会等名 第26回日本発汗学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nicola Gerrett, Narihiko Kondo
2. 発表標題 Ion reabsorption of eccrine sweat glands
3. 学会等名 第26回日本発汗学会総会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Gerrett N, Amano T, Havenith G, Inoue Y, Kondo N
2. 発表標題 Endogenous and exogenous heating have different effects on the sweating gland ion reabsorption
3. 学会等名 22nd Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Gerrett N, Amano T, Kondo N
2. 発表標題 Sweat gland ion reabsorption
3. 学会等名 The 17th International conference on Environmental Ergonomics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 彼末先生, 能勢 博 (分担 近藤徳彦)	4. 発行年 2017年
2. 出版社 南江堂	5. 総ページ数 328
3. 書名 やさしい生理学 改訂第7版, 分担 第8章 体温	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	天野 達郎 (Amano Tatsuro) (60734522)	新潟大学・人文社会科学系・准教授 (13101)	
研究分担者	井上 芳光 (Inoue Yoshimitsu) (70144566)	大阪国際大学・人間科学部・教授 (34429)	
研究分担者	西保 岳 (Nishiyasu Takeshi) (90237751)	筑波大学・体育系・教授 (12102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------