

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 27 日現在

機関番号：14501  
 研究種目：学術研究助成基金助成金（挑戦的萌芽研究）  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23657171  
 研究課題名（和文） 単一汗腺可視化による汗腺の構造・機能の新たな評価方法  
 研究課題名（英文） A new method for evaluating structure and function of single sweat gland by visualization of it  
 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科・教授  
 研究者番号：70215458

## 研究成果の概要（和文）：

光コヒーレンストモグラフィによりヒトの単一汗腺を視覚化し、その構造や機能を評価する新しい方法を検討した。手掌・手指の汗腺の構造を表皮導管の長さ、太さおよび螺旋の数を計測し、長さ・螺旋の数についてはある程度の評価が可能であったが、太さに関しては十分な値を得ることができなかった。また、これら汗腺構造と発汗量との関係を掌握運動時に検討したが、全体的に有意な関係が認められなかったが、一部においてその関係の傾向が認められた。

## 研究成果の概要（英文）：

We investigated a new method for evaluating sweat gland structure and function on the palm and finger by using optical coherence tomography. There is a possibility that this method could evaluate length and number of helix of epidermal duct on the palm and finger. There was not a marked relationship between sweat rate during handgrip exercise and these structures. However, there was a tendency of the relationships in a part of exercise.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,890,222	900,000	4,790,222

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：人類学・応用人類学

キーワード：環境適応能

## 1. 研究開始当初の背景

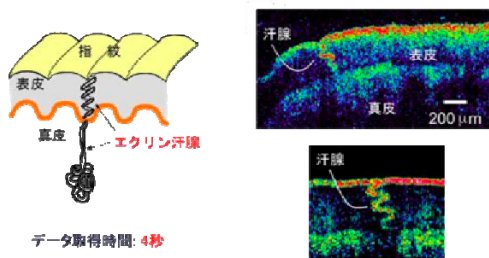
ヒトの環境適応能力は他の種と比較して優れており、特に高温下に対するそれは特出している。また、高温下で長時間走れるのはこの地球上でヒトしかおらず、この能力によりヒトは暑い中で狩りができ、それにより食料を確実に確保し、現在のような進化を遂げたことも指摘されている (Lieberman et al. 2006)。これはヒトが汗という他の動物には類をみない熱を放散する強力な仕組みを獲

得したからであるが、この汗の機能がどのように獲得され・発達したのかいまだに不明な点が多く残されている。この原因として、自然な状態（インビボ）での汗腺レベルの研究が十分ではないためと考えられる。

単一汗腺活動をインビボで測定できる方法は汗腺をヒトから分離するもの (Sato et al. J Invest Dermatol, 2002) と汗伝導度を用いるもの (Shamsuddin, Kondo et al. Eur J Appl Physiol, 2005, 2006) などがあるが、

その活動を連続的に、また、定量的に分析できるものはない。申請者は発汗調節の研究を継続的に実施してきたが (Kondo et al. Eur J Appl Physiol, 2010; 近藤, 日本生気象学会誌, 2005; Shibasaki M Kondo N and Crandall CG. Exercise Sport Science Review, 2003; Kondo N et al. J Appl Physiol, 2001), 方法論の問題で 単一汗腺活動から発汗機能を連続的に・定量的に分析することができなかつた。そこで、平成 19・20 年度の萌芽研究 (近藤) でマイクロセンサーの温度特性と発汗カプセルを小型化することで、単一汗腺活動を計測しようと試みたが、汗腺の同定の難しさやセンサーの応答などで十分に成果が得られなかつた。

近年、光コヒーレンストモグラフィにより生体表皮下数 mm の範囲内で 10~20  $\mu\text{m}$  の空間分解能をもつ鮮明な断層イメージが容易に得られるようになり、これにより単一汗腺の視覚化とその活動の評価が可能になってきた (Haruna et al. Jpn J Appl Phys, 2006; Saigusa et al. Appl Phys Express, 2008; 春名. 応用物理. 2008: 下図)。しかし、視覚化した汗腺をどのように分析すれば単一汗腺活動を評価できるのかが課題として残されている。



文獻 M. Chua et al. APB2004, WSA-T1-4 proc. pp. 50-51 Taiwan, Dec. 2004.

## 2. 研究の目的

本研究では光コヒーレンストモグラフィにより単一汗腺を視覚化し、単一汗腺レベルでの発汗機能を評価するため、次の目的を設定した。

1) 指表皮の汗腺に関わる導管の視覚化により、導管の構造 (大きさ, 長さ, 螺旋の数, 伸展度) と機能 (発汗量) との関係の検討。また、表皮導管から分泌される汗の動画化。

2) 1) で評価法の妥当性を年齢に伴う汗腺機能の低下 (全身の汗腺低下起こる) から検討。

## 3. 研究の方法

<平成 23 年度>

指表皮での単一汗腺活動の視覚化とその構造

1) 安静時での基本的構造

環境温 23~28°C, 相対湿度 30~60% の環境下で約 30 分間安静後, 前図のような安静時における指表皮 (中指) の導管を視覚化し, この図の情報をを用い表皮内の導管の長さ, 太さおよび螺旋の数を測定する。これにより表皮導管の基本構造評価を試みた。

2) 表皮導管での汗分泌の動画化

1) と同じ状況で測定した安静時の表皮導管活動図を 1 秒間に 60 枚撮影し, それを連続的に繋ぎ合わせることで, 汗分泌の動画を作成した。その場合, 平面ではなく, 3 次元に画像を測定することにより, 表皮導管の 3 次元変化を動画化しようとした。

3) 表皮導管の伸展度

最大随意筋力 (最大握力) の 40% の静的掌握運動 (握力を一定の力で発揮) を 10 秒間実施し, 10 秒間の導管の太さの変化を計測した。これにより中指表皮導管の伸展度 ( $\mu\text{m}$ /秒) の計測を試みた。

4) 表皮導管の構造と機能との関係

環境温 23°C~28°C, 相対湿度 40%~60% の環境下で約 30 分間安静後, 最大随意筋力 (最大握力) の 20%, 35% および 50% の静的掌握運動をそれぞれ 10~30 秒間実施した (この運動で瞬時に中指発汗量が増加し, その量は運動強度の依存する)。各負荷の間には少なくとも 15 分以上の休息を挟み, 各負荷の前の 2 分間はベースラインの測定を実施した。測定項目は, 中指の単一汗腺図, 同一部位の発汗量 (光コヒーレンストモグラフィによる測定部と同じ部位での測定), 活動汗腺数, 心拍数, 体温 (舌下温) および皮膚温。1) から 4) で評価した項目と発汗量との関係をみることにより, 構造と機能との関係を検討した。また, いずれの実験においても被験者は健康な学生とした。

<平成 24 年度>

平成 23 年度で検討した単一汗腺活動の新しい評価法が妥当であるかどうか, 従来報告されている加齢に伴う汗腺活動の低下

(Inoue et al. J Physiol Anthropol Appl Human Sci 2004) との関係から検討した。被験者は高齢者とし, 実験条件は, 平成 23 年度で行う, 1), 3) および 4) とし, 若年者のデータと高齢者のデータを比較することにより, 単一汗腺活動の新しい評価方法が妥当かどうか検討した。前述したように, 高齢者になると一般体表面のみならず, 手掌などの部位の汗腺機能も低下することから, このような比較から妥当性の検討が可能であると考えた。

以上の内容から, ヒトの単一汗腺をインビ

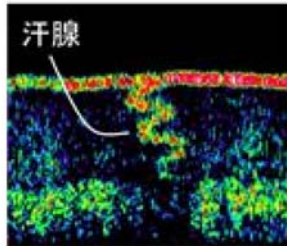
ポで視覚化し、その構造と機能を評価する新しい方法を確立することを試みた。

#### 4. 研究成果

<平成 23 年度>

指表皮での単一汗腺活動の可視化とその構造・機能解析を行った。

1) 安静時での基本的構造. 安静時における指表皮(中指)の導管を光コヒーレンストモグラフィにより可視化することで、汗腺の構造を表皮導管の長さ、太さおよび螺旋の数を計測し、長さ・螺旋の数についてはある程度の評価が可能であったが、太さに関しては十分な値を得ることができなかった。これに関連して、表皮導管の伸展度の評価は難しかった。また、指以外の部位の前腕と前額についても同様な評価を行ったが、いずれの部位も手掌とは表皮組織の構造が異なるため、今回の方法では導管構造は評価できなかった。



2) 表皮導管での汗分泌の動画化. 1) と同じ状況で測定した安静時の表皮導管活動図を連続的に繋ぎ合わせるにより、汗分泌の動画を作成した。これによって単一汗腺活動の時系列変化を評価できる可能性が出て来た。

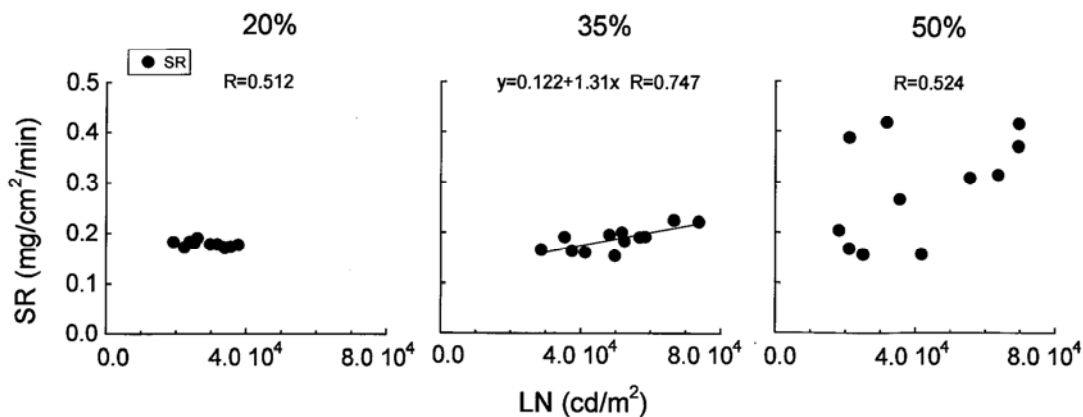
3) 表皮導管の構造と機能との関係 (下図: 色

等に課題が残された。

<平成 24 年度>

昨年度の結果より、手掌皮膚表皮の導管構造の評価について、さらに次のような課題が残された。1) 手掌表皮の導管の螺旋構造の意義、2) 導管の太さの評価、3) 構造の特性と発汗機能との関連性。これらの解決には従来の分析と新しい解析方法を用いることとした。昨年度の課題検討の結果、1)に関しては実験方法等の課題で十分に検討できなかった。2)に関して画像データの解析方法を改善し、再検討したが、十分な値を得ることができなかった。3)に関しては手掌発汗量の値が大きく異なる被験者について、発汗の構造(導管の長さ・螺旋数)とある一定強度の掌握運動時の発汗反応で検討した結果、導管の長さや発汗量の間には大きな関係がなく、螺旋数とも対応関係が認められなかった。

また、光コヒーレンストモグラフィを用いた表皮導管の構造と機能より汗腺機能の差が大きい中高年と若年者を比較した。その結果、高齢者の掌握運動時の手掌発汗量は少ない傾向にあるが、これと単一汗腺との構造の間には一定の関係がみられなかった(構造の違いはいくらか認められた)。これは今回測定した構造が汗腺の一部である導管のものであることと関係していると推察され、汗が生成される分泌管ではその違いが存在する可能性が考えられる。さらに、手掌以外の一般体表面の汗腺構造の評価を再度試みたが、今回用いた光コヒーレンストモグラフィではその評価はできなかった。



度の強さと発汗量の関係)。静的掌握運動での手掌・指発汗量と 1) で計測した汗腺構造との間に明確な関係は一つの運動強度のみであったが、方法や被験者の特性を検討することにより、構造と機能との関係がより明確になる可能性は残された。今回、手掌部以外の部位での発汗誘発としてイオントフォレーシスを用いたが、刺激部位の面積の大きさ

<まとめ>

光コヒーレンストモグラフィを用いて、手掌部・指での単一汗腺の構造と機能の評価を試みた。単一汗腺の構造として長さ・螺旋の数についてはある程度の評価が可能であったが、太さに関しては難しかった。この構造と機能(発汗量)との関係は明らかでなかつ

た。今回の測定は汗が生成される分泌管ではなく、汗腺の一部である導管であることが構造と機能との間に明確な違いが認められなかった原因と考えられる。しかし、光コヒーレンストモグラフィは自然な状態での単一汗腺活動を唯一解析できる方法であるため、今後の測定法の改善・発展に期待したい。

#### 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 3 件)

- ① Ohmi M, Tanigawa A, YamadaY, Ueda M, Haruna M. Dynamic analysis for mental sweating of a group of sweat glands on fingertip. *Skin Research and Technology* 18: 378-383, 2012 (査読あり) .
- ② 近藤徳彦, 井上芳光, Havenith G, Machad-Moreira CA Taylor NS. ヒトの発汗調節特性と部位差. 繊維機械学会 64 : 25-31, 2011 (査読なし).
- ③ Ohmi M, Tanigawa A, YamadaY, Ueda M, Haruna M. Dynamic analysis for mental sweating of a group of sweat glands on a human fingertip by optical coherence tomography. *Skin Research and Technology* 17: 1-6, 2011 (査読あり) .

[学会発表] (計 4 件)

- ① Inoue Y, Ichinose-Kuwahara T, Tanaka A, Tanaka E, Ueda H, Amano T, Tochiyama Y, Kondo N. Sex differences in effective and ineffective sweat rates during exercise in hot, humid conditions. The 15<sup>th</sup> International Conference on Environmental Ergonomics. Queenstown, 2013. 2. 12.
- ② Ohmi M, Wada Y. Simultaneous measurement of the sweating dynamics of a few tens of eccrine sweat glands by optical coherence tomography. SPIE Photonics West BiOS. San Francisco, 2013. 2. 4.
- ③ 近藤徳彦, 井上芳光, Havenith G, Machad-Moreira CA Taylor NS. ヒトの発汗調節特性と部位差. 日本繊維機械学会研究交流会 (招待講演). 大阪科学技術センター, 2012. 2. 24.
- ④ 近江雅人, 和田裕喜, 松田絵美. OCTを用いた外部刺激に対する精神性発汗の定量評価. レーザー学会学術講演会第 32 回年次大会, TKP仙台カンファレンスセンター, 2012. 1. 30.

[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

前田 享史 (MAEDA TAKAFUMI)

北海道大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号 : 90301407

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