

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K19712

研究課題名（和文）熱中症予防と皮膚の健康に欠かせないフレッシュな汗の量と成分の測定法開発

研究課題名（英文）Developing a method of measuring a fresh sweat and its composition for supporting the prevention of heat shock and skin health

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） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：人の生活の質に関係する発汗機能測定において、フレッシュな汗量・成分の絶対値を同時に、同じ皮膚部位から計測できないという課題があった。まず、溝が皮膚面のみにあるシリコンプレートを作成し、皮膚に密着した。汗は溝を通りピペット状容器に貯まり、このフレッシュな汗の量と成分を一定間隔で分析した。温熱負荷時の汗量・成分を一定分間隔で分析できたが、汗量の値が従来法より多く、プレートの皮膚への密着法が課題となった。次にSodium Sensorを開発し、それを特殊なカプセル内に配置し、汗成分を直接測定した。特殊なカプセル内での汗収集に課題があったが、連続的にフレッシュな汗量・成分の計測が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回開発した汗量と成分を同時に測定する2つの方法はこれまで学術的に解決されていなかったフレッシュな汗分析を可能にした点は学術的意義が高い。また、小型のNa⁺センサーを利用した分析は、今後、wearable sensorへの発展が期待でき、小型化することで日常的な汗の量と成分の絶対値が測定できる可能性が出てきた点は応用生理学・環境生理学・健康科学の分野の研究発展に寄与するものと思われる。人の汗は高温下での安静時や運動時の体温維持（熱中症予防）、皮膚の健康に関与し、日常的な汗の量と成分の絶対値を正確に測定することで、個々に合ったこれらへの支援が可能になる。

研究成果の概要（英文）：Sweat in humans is related to Quality of Life. However, there is an issue with measuring sweat in which we could not measure both fresh sweat and its composition from the same site of skin and at the same time. We developed two new devices. Firstly, we made a silicon plate with a ditch that simultaneously attached the skin for measuring fresh sweat and its composition. It was possible to measure sweat and sweat composition at the same time, however, the sweat rate measured by this method was high relative to it measured by the previous methods, indicating that we need a method for attaching it to the skin without leaking sweat. We also made another new device using a sodium sensor and put it into the special capsule. It is possible to measure sweat and its composition continuously by using this method even though the capsule had a problem collecting sweat.

研究分野：応用生理学

キーワード：sweat sweat composition wearable sensor

1. 研究開始当初の背景

申請者らは発汗機能を量と質の両面から検討し、特に、汗の質(汗の成分)に基づく発汗機能の評価法の開発、その評価を用いた発汗機能を、運動の効果、暑熱順化・運動トレーニング、年齢、性差などから検討し、研究成果を挙げてきた。しかし、この研究での発汗機能(汗イオン再吸収能力)の評価法は皮膚の電気抵抗を用いたもので、汗の成分を直接測定しておらず、研究に限界があり、新しい方法の開発が必要であった。近年、人の健康や運動パフォーマンス維持目的でウェアラブルセンサーを用いた汗成分の分析が行われている。

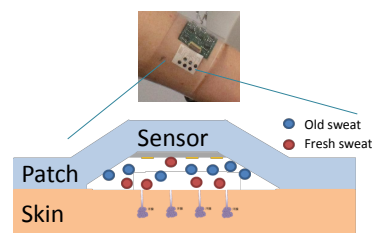


図 1

図 1 は発表されているセンサーの一つを示している (Gao et al. 2016)。

この方法はセンサーを皮膚に貼付し、汗成分を分析するものであり、センサーを皮膚に常時密着し、密閉した空間が出来る。そのため、出てきたフレッシュな汗(赤丸)のみを分析しているのではなく、前に出た汗(青丸)が皮膚とセンサーの間に貯まり、それも含めて分析しているため、正確性に欠ける。また、このセンサーでは汗の量が測定できない。そのため、汗の成分を分析するウェアラブルセンサーの開発は大きく進んでいないのが現状である。発汗機能の研究には出てきたフレッシュな汗を量と質から同時に測定する方法が欠かせず、本研究の提案に至った。

2. 研究の目的

進化の過程で獲得した人の汗(発汗機能)は、高温下での安静時や運動時の体温維持、さらには日常生活での皮膚の健康(挑戦的研究の意義で後述)と密接に関わり、我々の生活の質(QOL)を支えている。新型コロナウイルスの影響で夏前や夏中に屋外に出る機会が日常的に減少し、これが我々の暑さに慣れるタイミングを少なくしている。この状況は社会的問題である熱中症患者数の増加に影響する可能性があり、この機能をどのように改善するかが熱中症予防や皮膚の健康に、益々重要となる。しかし、汗の量と成分から発汗機能をより詳細に検討するには以下の解決すべき方法論的な課題があり、この未解決が発汗研究やそれを基にする熱中症予防・皮膚の健康への応用研究の推進を妨げている。そこで、本研究ではこの課題解決を目的とした。

- 1) フレッシュな汗の成分の絶対値が短い間隔で測定できない(背景と経緯を参照)。
- 2) 汗の量と汗の成分の絶対値を、短い間隔で、同時に、また、同じ部位(皮膚)から計測できない。

3. 研究の方法

1) 汗抽出のための新しいデバイス 1 の開発
汗を抽出する方法として図 2 のような溝が皮膚面にのみついているシリコンプレートを作成し、皮膚に密着する。汗は溝を通りピペット状の容器に貯まる。この容器に貯まった汗の量と成分を一定間隔で分析した。

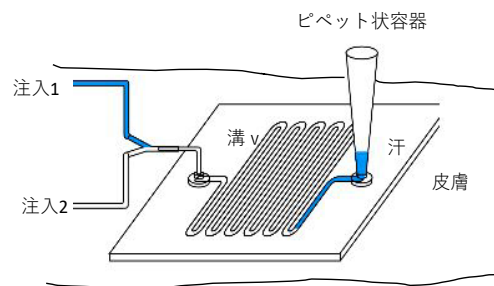


図 2

2) 新しい Na⁺センサーを用いたデバイス 2 の開発
図 3 のように新しい Na⁺センサーを作成し、これを特殊なカプセルに挿入し、両面テープで皮膚に密着した。このカプセルには溝があり、そこに溜まった汗の Na⁺を新しいセンサーで連続測定した(次ページ図 4)。また、このカプセルは溝が空気を接しており、汗が蒸発し、フレッシュな汗が測定できるように工夫してアル。図のように汗をカプセルに溜めるため、斜めになった前腕の皮膚面にカプセルを装着した。

いずれの実験においても健康な学生を被験者とした。環境温 25-28℃、相対湿度 50%程度の実験室で膝から下を 42℃の湯に 50 分間浸し、新デバイスによる汗の量と質を一定間隔で測定した。また、運動を用いて比較的汗を素早くかせ、その時の汗分析も行った。発汗量の測定として従来の方

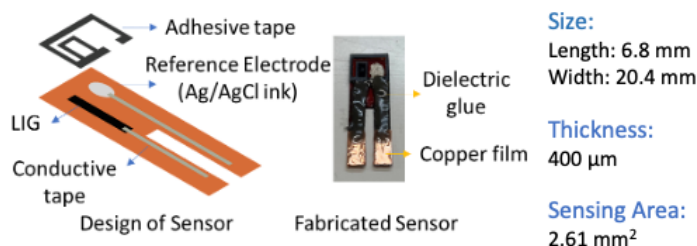


図 3

法のカプセル換気法、汗量と汗成分の分析にはろ紙法を用いた。

4. 研究成果

1) デバイス 1

汗成分の Na⁺に関しては従来の方法と比較してほぼ同じような値での測定が可能であった。この値は従来報告されているものと同程度であった。しかし、汗量に関しては従来のもの（カプセル換気法での測定）と比較すると、汗が多くなると両者の差が大きくなり、開発したデバイス 1 で測定した汗量が多くなった（図 5）。この原因としてシリコンプレートの皮膚密着が不十分でシリコンプレート以外あるいはシリコン内の溝以外の汗腺からの汗が流入した可能性が考えられる。そこで、コロジオンを用いてさらに密着を工夫した。両方法での差は小さくなったが、まだ、デバイス 1 での値が高くなった。このことから、シリコンプレートへの汗リークがないような工夫を検討する必要がある。

2) デバイス 2

図 6 に示したように、サブセル内の汗とセンサーがタッチすると急激に Na⁺濃度が上昇し、開発したセンサーで Na⁺が計測できることが分かった。また、Na⁺は 10 - 25mM の範囲で変動しており、今回用いたカプセル（図 4）で連続的に汗が収集できているのか、また、それがフレッシュな汗なのかの検討が必要である。しかし、今回のセンサーで連続的に汗成分である Na⁺を計測することが可能となり、フレッシュな汗を可能となる新しいセンサーの研究への利用の可能性がでてきた。また、これを用いた wearable sensor の開発に向けた基礎データを得ることができたように思われる。

<参考文献>

Gao W, Emaminejad S, Nyein HYY, Challa S, Chen K, Peck A, Fahad HM, Ota H, Shiraki H, Kiriya D, Lien DH, Brooks GA, Davis RW, Javey A. Fully integrated wearable sensor arrays for multiplexed in situ perspiration analysis. *Nature* 529(7587): 509-514, 2016.

Chen Jinze, Gao Panpan, 笠間敏博, 近藤徳彦, 三宅亮. Laser-Induced Graphene-Based Wearable Sodium Sensor for Perspiration Analysis. 化学とマイクロ・ナノシステム学会第 47 回研究会. 2023.

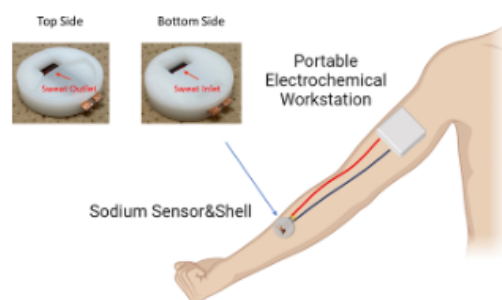


図 4

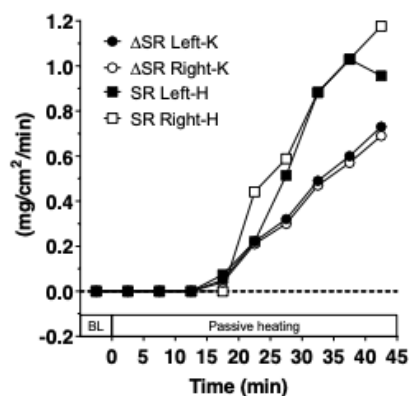


図 5

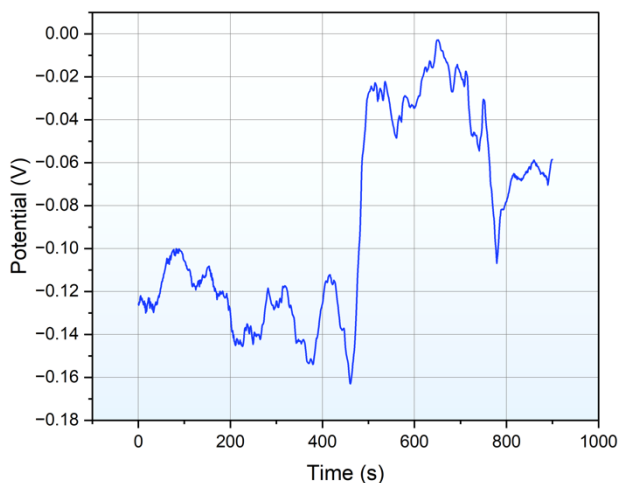


図 6

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Chen Jinze, Gao Panpan, 笠間敏博, 近藤徳彦, 三宅亮
2. 発表標題 Laser-Induced Graphene-Based Wearable Sodium Sensor for Perspiration Analysis
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第47回研究会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔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	笠間 敏博 (Kasama Toshihiro) (00564717)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・特任准教授 (12601)	汗分析デバイスの開発
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)	汗分析デバイスの妥当性の検討
研究分担者	藤井 直人 (Fujii Naoto) (00796451)	筑波大学・体育系・助教 (12102)	汗分析デバイスの妥当性の検討
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)	汗分析デバイスの妥当性の検討

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
---------	---------