

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：13101

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20515

研究課題名（和文）学校における子どもの体温調節能力の発達過程の解明と熱中症予防の教育介入研究

研究課題名（英文）Development of thermoregulatory function in children and its application to the prevention of heat-related illness

研究代表者

天野 達郎（Amano, Tatsuro）

新潟大学・人文社会科学系・准教授

研究者番号：60734522

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 20,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は自律性及び行動性体温調節の発達過程の解明と熱中症予防に向けた教材作成を目的として実施した。得られた主な知見は1）自律性体温調節の一つである汗腺機能の発達様相が6～23歳450名を対象とした薬理的発汗検査から明らかになったこと、2）子どもの体水分特性が明らかになったこと、3）子どもの飲水意識が明らかになったこと、4）行動性体温調節との関連で子どもは自身の体水分状態を適切に知ることができないこと、5）水分摂取や発汗に関する教育動画を開発してその効果を実証することができたこと、などがある。なおこれらの知見は年代別に解析することで、発達過程によってどのように変化するのか検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

子どもの熱中症は学校現場の深刻な課題の一つになっている。子どもの熱中症予防の難しさは、子どもの自律性体温調節機能や熱中症の予防行動を引き起こす判断力や行動性体温調節の発達が年齢や個人によって大きく異なることがある。また、地域、あるいは究極的には同じ地域でもその子どもがいる局所によって、熱中症リスクは変わってくる。これらの問題を解決するためには、子どもの自律性や行動性の体温調節機能の発達過程を明らかにしたり、子どもが自分自身で熱中症予防行動を惹起する教育教材の開発が重要となる。本研究はこれらの課題について一定の進歩を得たことから、社会的・学術的に大きな意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study was conducted to elucidate the developmental process of autonomic and behavioral thermoregulation and to develop educational materials to prevent heat-related illness in children. The main findings were that 1) the development of sweat gland function as an autonomic thermoregulatory system was clarified from pharmacological sweating tests on 450 subjects aged 6-23 years; 2) the hydration characteristics of children were clarified; 3) children's awareness of drinking water was clarified; 4) about behavioral thermoregulation, children were unable to identify their hydration status from urine color; 5) the newly-developed educational movies about fluid intake and the importance of sweating was validated for its effectiveness in children. These findings were analyzed by different age groups to verify how the developmental process influences the outcomes.

研究分野：環境生理学

キーワード：発達 熱中症 汗腺 イオントフォーシス 体水分 尿浸透圧 教育動画 汗の役わり

1. 研究開始当初の背景

夏の学校現場では児童生徒の熱中症が深刻化しており、2018年夏に教育現場で起こった熱中症による緊急搬送者数は前年よりも2,000人以上増加して6,333人にも達した(総務省報道資料, 2018)。熱中症の予防には暑さから身を守るための行動性の体温調節能力(例:脱水や体水分状態に応じた飲水行動など)および自律神経性の体温調節能力(発汗等による熱放散)が必要となる。しかし子どもの両体温調節能力は発達途上にあり学年(年齢)差や個人差が大きい上、子どもが置かれている温熱環境は地域(気候)やその時々居場所によって大きく異なる。そのため、子どもの熱中症予防では行動性体温調節能力と自律神経性体温調節能力の発達過程を明らかにすることが重要となる。

申請者らはこれまで子どもを含む人の自律神経性体温調節に関する研究を行っており、その成果の一部は環境省熱中症環境保健マニュアル 2018(P36-41)や日本スポーツ協会熱中症予防ガイドライン(P23他)にも盛り込まれてきた。しかし、これまでの子どもの研究は大人との差異に基づく体温調節特性の把握がほとんどであった。本研究では、子どもの行動性および自律神経性体温調節能力の一部について、その発達過程を含めながら詳細を明らかにする。その上で、子どもが自分で熱中症を予防できるような力を育む教材を開発する。

2. 研究の目的

本研究では以下の検討課題を明らかにすることを目的とした。

- 研究 : 子どもの体水分状態の解明および自身の体水分状態を知る能力の評価
- 研究 : 子どもの飲水意識の解明
- 研究 : 子どもの個別の暑熱暴露環境の解明
- 研究 : 発汗機能の発達過程の解明
- 研究 : 子どもが自分で熱中症を予防する力を育む視聴覚教材の開発およびその効果

3. 研究の方法

**研究** 新潟大学附属新潟小学校および中学校の児童生徒349名(男性189名,女性160名,9.5±2.6歳,範囲6~15歳)を対象に,4月および7月の朝(朝一番,自宅)および日中(学校)に採尿を行った。学校で尿サンプルを回収した後,大学の研究室に運び,尿浸透圧および尿比重を分析した。実験参加者には事前に検尿セットと共に尿カラーチャート(Armstrong, 1994)を配布しておき,子ども自身が判断する尿の色をカラー番号で報告してもらうことで(記入用紙に記入),子ども達が自身の尿の色から体水分状態を適切に判断できるかどうかを併せて検討した。

**研究** 研究対象者は新潟大学附属新潟小・中学校に在学する児童・生徒および保護者,および調査会社に委託した全国の対象者1000名であった(後者については分析途中)。附属学校の児童生徒について,小学生313名,中学生163名,合わせて476名の参加協力があり,重複など無効回答を除外すると最終的な解析対象数は375名であった。保護者に対するアンケートと子どもに対するアンケートの内容は同じであった。アンケート調査では予防行動採用モデル(PAPM)をもとにアンケートを作成した(図1)。これは,健康を改善するまでの行動を決める意思決定の段階を,Stage 1~7で判別するものである。Stage 1は,1番意思決定レベルが低く,問題について無知である状況であり,Stage 7は,健康行動を実践し,それを継続しているという段階である。このモデルに飲水意識をあてはめ,アンケートを構成

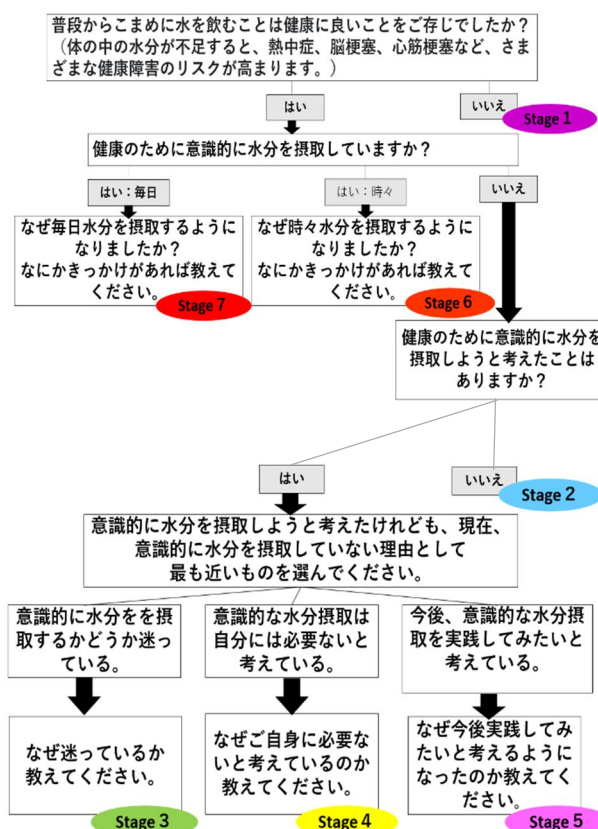


図1. アンケート の内容.

した。調査は全てウェブ上で実施した。

**研究** 新潟大学附属新潟小学校および中学校に在籍する小学生 90 名 (男子 47 名, 女子 43 名) および中学生 40 名 (男子 16 名, 女子 24 名), および新潟県立向陽高等学校に在学する生徒 123 名 (男子 75 名, 女子 48 名) が研究に参加した。本研究の調査期間は, 小・中学生は 2021 年 7 月 12 日 (月) の朝 6 時から 2021 年 7 月 19 日 (月) の朝 6 時までの 1 週間とし, 高校生は 2022 年 7 月 28 日 (木) の朝 6 時から 2022 年 8 月 3 日 (水) の夜 23:59 までとした。研究参加者には小型の温湿度センサー (iButton; Maxim 社製, DS1923) を研究期間中携帯して過ごしてもらい, 子どもたちそれぞれが暴露されていた環境の温度 ( $T_a$ ) および相対湿度 ( $RH_a$ ) を測定した。また研究期間内の行動に関するアンケート調査も行った。アンケートでは参加者が起床してから就寝するまでの行動を記録してもらい, 一週間の所在地や活動内容に関する情報 (起床・就寝時間, 場所・地域, 屋内・外, 簡単な活動内容など) を収集した。このアンケートを基にそれぞれの参加者が滞在していた場所から最寄りの気象観測所データを気象庁のホームページから引用し, 気象情報に基づく  $T_a$  (環境温度) と  $RH_a$  (環境相対湿度) を決定した。なお, 小・中学生について回収したデータの一部を損失したため, 研究期間のうち 7 月 17 日 (土) 13 時から 7 月 19 日 (月) 6 時までの解析を行った。

**研究** 被験者は 6~18 歳の子ども 405 名と 18 歳以上の若年成人 52 名とした。本人および保護者から書面および口頭で同意を得た後, 身体測定を行い, 身体活動量のアンケートを実施した。その後環境温 22~25℃, 相対湿度 40%前後の実験室で座位姿勢をとり, 前腕部に 0.5%ピロカルピンのイオントフォレーシスを行った。イオントフォレーシスは, 発汗誘発剤であるピロカルピンを電気的に経皮投与する方法である。イオントフォレーシス終了後, 15 分間薬剤投与部位で発汗量を計測し, その後ヨウ素でんぷん反応を用いて活動汗腺数を測定した。発汗量を活動汗腺数で除すことで, 単一汗腺当たりの汗出力を算出した。

**研究** 水分摂取の重要性に関する「からだと水分」および発汗の重要性に関する「あせの役わり」の教育動画を製作した。このうち, 研究期間内には前者 (からだと水分) の動画視聴によって子どもや保護者の水分摂取等に関する理解が改善されるかどうかを, 研究と同じウェブ調査で調べた。新潟大学附属新潟小中学校からは, 小学生 186 名, 中学生 101 名, 合わせて 287 名の参加があり, 最終的な解析対象数は 282 名とその保護者であった。調査会社に委託して調べた 1000 名については未解析である。

からだと水分: <https://wcms.waseda.jp/em/603c55da9857c>

あせの役わり: <https://wcms.waseda.jp/em/65dd833b76fd6>

#### 4. 研究成果

**研究** 早朝の尿浸透圧 ( $U_{osm}$ ) は春 ( $903 \pm 220$  mOsm/L;  $n = 326$ ) は夏 ( $800 \pm 244$  mOsm/L;  $n = 125$ ) と比べて高い値を示した ( $P = 0.003$ ,  $n = 104$ ) (図 2)。しかし, 学校滞在中の  $U_{osm}$  は春と夏で差は見られなかった ( $P = 0.417$ ,  $n = 32$ )。子どもたちの 66%と 50%が春と夏でそれぞれ起床時に水分不足と判定された ( $U_{osm} < 800$  mOsm/L)。学校にいる日中の尿浸透圧は季節による差異は認められなかったがより多くの子どもが水分不足 (~12%)であった。自己報告による尿カラー (UC) は, 朝と学校内の評価では季節間で同程度であり ( $P = 0.101$ ),  $U_{osm}$  とは異なる回答パターンであった。これらの結果は, 日本の子どもたちのかなりの数が, 特に春に水分不足に陥っている可能性が高いことを示している。子どもは自己評価による UC から体水分レベルの季節的变化を判断できないため, 小児の水分補給状態を管理するための UC の有用性は限定的かもしれない。なお, 参加者の年齢に基づいて発達過程で体水分状態や UC の判定が異なるかどうか調べたものの, その影響は認められなかった。

**研究** PAPM に基づく健康意識レベルは, 子ども 82%, 大人 92%がステージ 6 以上であった (図 3)。このことは, 本研究に参加した児童生徒およびその保護者の飲水意識が極めて高いことを示している。飲水理由に関する自由記述では, 「熱中症の予防」や「暑

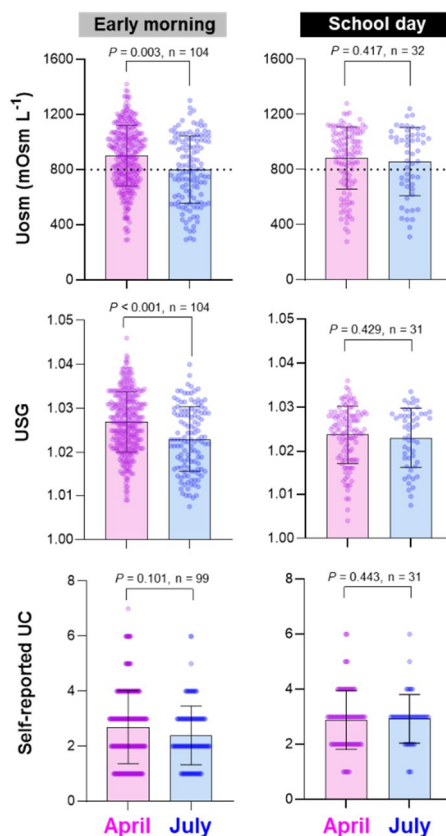


図 2. 早朝と日中 (学校) における尿浸透圧, 尿比重, 事故報告した尿カラーの変化。

い時期にのどが渇くから」などといった夏の体調不良を防ぐための理由が大人・子ども共に回答数の約半数を占めた。これらのことは、研究対象者は熱中症や脱水予防を目的として飲水行動をしている可能性を示しており、この飲水意識が研究の結果(夏の方が春より体水分状態が良い)と関連しているのかもしれない。なお参加者の年齢に基づいて発達過程で飲水意識が変化するかどうかを調べたものの、特に発達の影響は認められなかった。

大人と子どもの飲水意識



図3. 子どもと大人の飲水意識調査の主な結果 (PAPMに基づくステージごとの人数)

**研究** 図4に小中学生の解析期間における個別の環境温度および相対湿度を示した。平均値をみると、日中の温度は最寄りの気象台の観測値と近いものの、湿度は全体的に低めになっている。夜中はおそらくエアコンなどの影響で、外気温よりも低い環境で、湿度も低い環境で生活していることが分かる。個別データを見ると、日中に大きなばらつきがあり、特に気象庁の温度データよりも5程度高い温度環境で生活している子どももいた(野球の練習時)。これらの結果は、年齢の影響を特に受けていなかった。

● 気象庁

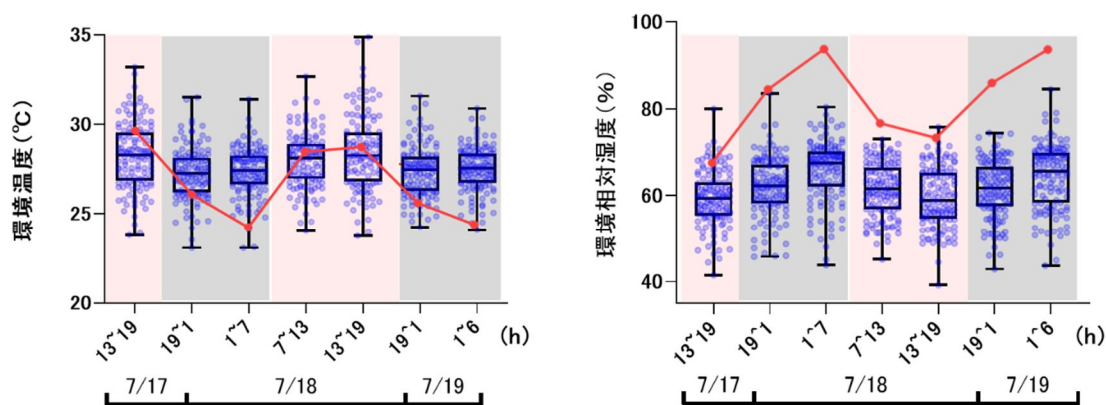


図4. 小・中学生の夏季生活における個別の暴露環境温度と相対湿度。赤線是最寄りの気象台発表の観測地データ。

図5は本研究に参加した高校生を屋外で部活動に参加している群、屋内の部活動に参加している群、特に何もしていない群に分けた時の各測定日の最高気温を示している。屋外群は気象庁発表の値と比べて極めて高い温度を記録しており、中には50を超える者もいた。この被験者達はその時に何をしていたのかアンケートを確認すると、ほとんどがテニス部かサッカー部で屋外の部活動に従事していた。このような極端に高い温度は、測定最終日(雨天)には観察されなかった。この結果を受けて、改めて本研究で用いた温湿度センサーの特性を調べたところ、直射日光に当たることでセンサーの温度が上昇する可能性が明らかになった。測定日に観察された50以上の気温は、実際には達成しにくい温度であることを踏まえると、この結果は日光の影響を大きく受けていたと考えられたため、そのデータ解釈には注意が必要である。一方、日光の影響を受けにくいと考えられる屋内での部活動に参加していた群では、その平均値は気象庁発表のものと同程度であった。部活動に参加していない群はほとんど気象庁の発表値よりも低い温度環境下(空調管理下)で生活しているようであった。なおこれらの結果は年齢の影響を特に受けていなかった。

**研究** 図6はピロカルピン誘発性の単一汗腺当たりの汗出力を年代ごと(2歳ごと)に示したものである。身長や体重の性差が生じるのは14歳以降であったものの、単一汗腺当たりの汗出力の性差は早くて8歳頃から認められた。6/7歳群と比べて発汗量が増加する年齢を男女ごとに解析すると、男子では12/13歳群から、女子では14/15歳群から単一汗腺当たりの汗出力が増加した。この年齢移行、性差がより顕著となった。これらの結果は、汗腺機能の発達様相は身長や体重といった体格とは全く異なることや、性差がより早期に生じることを示している。

本研究に参加した児童生徒のうち111名は汗腺機能の評価を春と夏に実施した。その結果、夏は春と比べて発汗量が大きく増加する事や(～1.5倍)、この増加の様相は男女で同程度であった。汗腺機能の発達様相の詳細や子どもの汗腺機能の季節馴化を調べて研究は世界でも初めてであり、熱中症予防対策を講じる上で極めて貴重な資料になる。

**【最高温度・最高外気温】**

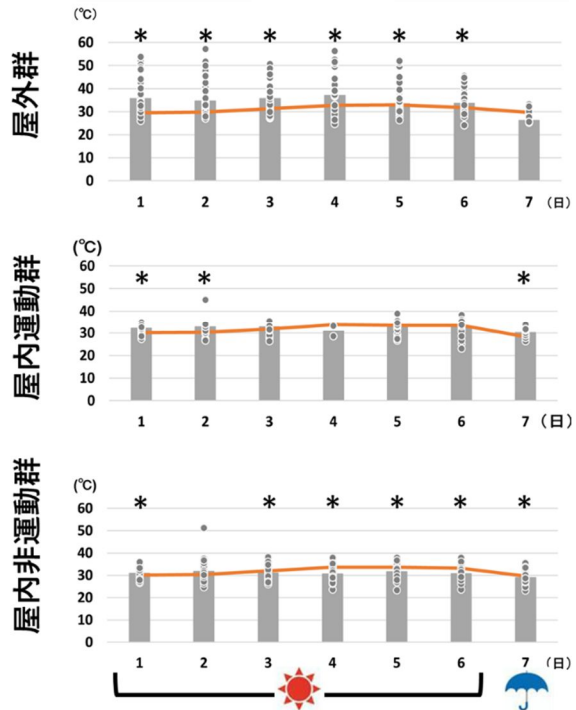


図5. 高校生の夏季生活における個別の暴露環境温度と相対湿度。赤線は最寄りの気象台発表の観測地データ。\* : 気象庁発表データとの有意差。

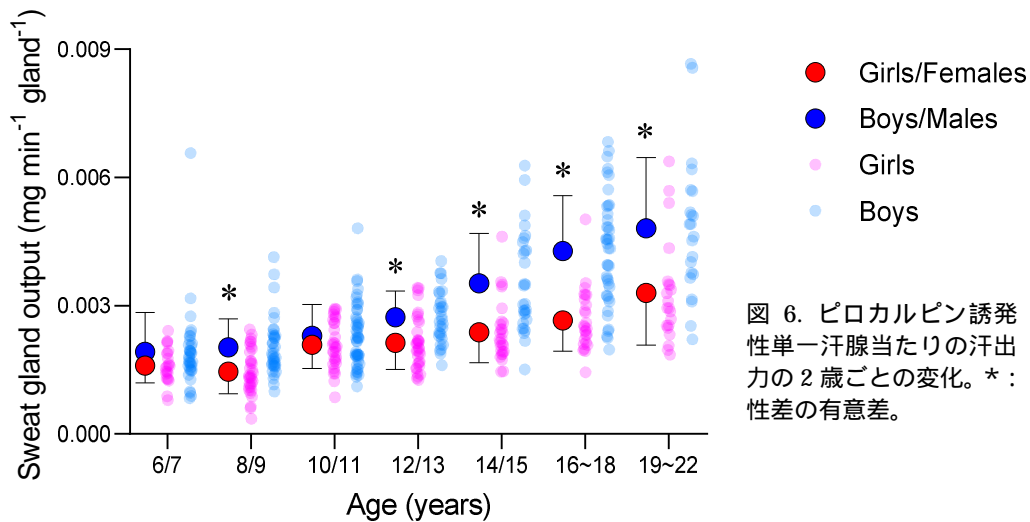


図6. ピロカルピン誘発性単一汗腺当たりの汗出力の2歳ごとの変化。\* : 性差の有意差。

**研究** 図7に「からだ水分」動画視聴前後におけるアンケート調査の一部を示した。元々自身の脱水状態を知ることができるかと認識していた者は多かったものの、動画視聴によって、ほとんどすべての参加者が脱水状態を知ることができるかと認識するようになった。脱水状態の確認方法として、動画視聴前は喉が渴いた時と回答する者の割合が多かったものの、動画視聴によって、汗の量が多い時や尿の色が濃い時といった回答が、特に子どもにおいて増加した。なお、これらの結果を発達段階ごとに解析したものの、特段その影響は認められなかった。これらの結果は、本研究で開発した動画の脱水予防における有効性を示している。

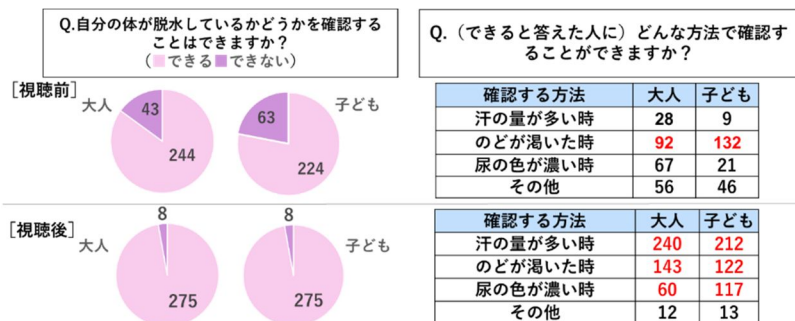


図7. 「からだ水分」動画視聴前後における水分摂取に関する調査の結果の一部。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Amano T, Asami T, Ichinose-Kuwahara T, Okushima D, Ueda H, Kondo N, and Inoue Y   | 4. 巻<br>243          |
| 2. 論文標題<br>Influence of exercise intensity and regional differences in the sudomotor recruitment pattern in exercising prepubertal boys and young men | 5. 発行年<br>2022年      |
| 3. 雑誌名<br>Physiology and Behavior   | 6. 最初と最後の頁<br>113642 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1016/j.physbeh.2021.113642  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>Amano T, Sato K, Otsuka J, Okamoto Y, Takada S, Kato H, Yokoyama S, Oshima S, Hosokawa Y, Fujii N, Mundel T, Kenny GP, Hiwa T, and Inoue Y | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Seasonal changes in hydration in free-living Japanese children and adolescents  | 5. 発行年<br>2024年 |
| 3. 雑誌名<br>Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism  | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1139/apnm-2023-0464  | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>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<br>-       |

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>天野 達郎 , 佐藤 光汰朗, 大塚 純都, 岡本 優美, 高田 祥太, 加藤 はなの, 細川 由梨, 藤井 直人, 井上 芳光, 檜皮 貴子 |
| 2. 発表標題<br>日本の子どもの体水分状態の測定   |
| 3. 学会等名<br>第36回運動と体温の研究会   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>天野 達郎, 安田 颯太, 横山 昇太郎, 大島 勝磨, 岡本 優美, 大塚 純都, 加藤 はなの, 藤井 直人, 細川 由梨, 国正 陽子, 檜皮 貴子, 井上 芳光, 近藤 徳彦 |
| 2. 発表標題<br>ヒトエクリン汗腺機能の発達過程の解明  |
| 3. 学会等名<br>第78回日本体力医学会   |
| 4. 発表年<br>2024年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                     | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)              | 備考 |
|-------|---|------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 細川 由梨<br>(Hosokawa Yuri)<br><br>(30822829)    | 早稲田大学・スポーツ科学学術院・准教授<br><br>(32689) |    |
| 研究分担者 | 檜皮 貴子<br>(Hiwa Takako)<br><br>(50463948)      | 新潟大学・人文社会科学系・准教授<br><br>(13101)    |    |
| 研究分担者 | 井上 芳光<br>(Inoue Yoshimitsu)<br><br>(70144566) | 大阪国際大学・その他部局等・名誉教授<br><br>(34429)  |    |
| 研究分担者 | 国正 陽子<br>(Kunimasa Yoko)<br><br>(20804355)    | 新潟大学・人文社会科学系・助教<br><br>(13101)     |    |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|