

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K17882

研究課題名(和文) アスリートの多大な身体活動と総エネルギー消費量の関係性の解明

研究課題名(英文) Exploring the relationship between high physical activity and total energy expenditure in athletes

研究代表者

下山 寛之 (Sagayama, Hiroyuki)

筑波大学・体育系・助教

研究者番号：80760652

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：従来の運動・身体活動に関連する研究の多くは、身体を使って活動すればするほど総エネルギー消費量が増えることを示していた。しかしながら、一部の研究には身体活動がより多い集団でも身体活動に見合った総エネルギー消費の増加が見られていない。その裏付けとして、一定の身体活動を超えると総エネルギー消費量の増加に制限がされる研究が示された。そこで、日常的に多大な運動によるエネルギー消費を行うアスリートにおいても総エネルギー消費量の増加モデルを検証する必要があった。本研究において、アスリートの総エネルギー消費量モデルは身体活動量に伴って、総エネルギー消費量が増加していく可能性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ウェイトコントロールを行うアスリートにとって、日常の総エネルギー消費量を考慮した適切なエネルギー摂取は重要である。また、アスリートに限らず、減量を行うにはエネルギーバランスの観点からエネルギー摂取を減少させ、エネルギー消費量を増加させることが有効であることは既知の事実である。しかしながら、これらを配慮したとしても“体重が減りにくい”とを感じるアスリートがいることもまた事実である。今回、基礎的なデータではあるが身体活動レベルが高いアスリートに限っては制限モデルに当てはまらない可能性があることから、エネルギーバランス研究のメカニズム解明の一助となることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Many previous studies regarding exercise and physical activity have shown that increasing total energy expenditure with physical activity. However, some studies have shown in one group of increasing physical activity without increasing of total energy expenditure, i.e. it is no increase in total energy expenditure commensurate with increasing physical activity. To support this evidence, a few studies have been described recently that the increase in total energy expenditure is constrained above a certain level of physical activity. Thus, it was necessary to verify the additive model of total energy expenditure even though athletes who expend large energy in daily training. In this study, it was clarified that the additive total energy expenditure model may fit for athletes with large physical activity level.

研究分野：運動栄養

キーワード：二重標識水 身体組成 身体活動量 総エネルギー消費量 安定同位体希釈法 エネルギー消費量モデル アスリート 競技者

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、身体活動が低い近代的な生活を送る米国人とアフリカ大陸に住む狩猟採取民族の成人 332 人 (25~45 歳; 55% が女性) を対象に基礎代謝量, 身体活動, 総エネルギー消費量が調査された。総エネルギー消費量を年齢, 性別の違いを考慮して分析を行ったところ, 興味深いことに肉体的にきつい生活を送っている昔ながらの狩猟採取民も便利な近代的な生活をしている人々も, 実際に使われている総エネルギー消費量は同じであることが示された。身体活動が多い人はより多くのエネルギーを使っているというのが従来の見方であるが (加算的総エネルギー消費量モデル), 一定の身体活動以上になると総エネルギー消費量が制限される (制限的総エネルギー消費量モデル) (Pontzer et al., 2016)。

この制限的総エネルギー消費量モデルは, ヒトだけではなく鳥類, げっ歯類, 霊長類でも成り立つことが証明されている。しかしながら, 我々のアスリートのデータでは 1 日のうち 12 時間も活動を続ける狩猟採取民族の総エネルギー消費量をも凌駕する可能性を示唆している。加えて, アスリートの総エネルギー消費量の高さが一時的な高さではないことを示した研究内容が発表された (Silva et al., 2017)。この研究において, 80 人のアスリート (男性 54 名, 女性 26 名) を対象に総エネルギー消費量を年間通して縦断的に調査した結果, シーズン前 $3603 \pm 714 \text{kcal/日}$ とシーズン期 $4188 \pm 666 \text{kcal/日}$ のそのエネルギーに違いは認められるものの, いずれとして高い総エネルギー消費量レベルを維持していることを示した。したがって, 少なくともアスリートとして競技する間は, 制限的総エネルギー消費量モデルよりもむしろ, 従来の身体活動に加算的に総エネルギー消費量が増加するモデルがフィットすると考えられる。また, アスリートにとっては, 運動強度の即時フィードバックとして心拍数モニターはトレーニングを評価する上でも重要であり, 心拍数とエネルギー消費量の関連からその身体活動を評価することができる。そこで, 加速度センサーと心拍数評価センサーを組み合わせた, リスト型の活動量計はより感度良く, アスリートの身体活動を評価することができる考えた。

2. 研究の目的

本研究では, アスリートを対象に二重標識水法を用いて得られる総エネルギー消費量と加速度センサー付活動量計で示される身体活動の関連性を検討し, アスリートの多大な身体活動に伴う総エネルギー消費量の関連モデルを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 二重標識水法を用いたアスリートの総エネルギー消費量の測定

総エネルギー消費量および身体組成 (体脂肪量, 除脂肪量) は二重標識水法により測定された。二重標識水としての安定同位体は体水分量 1kg あたり約 1.8-2.5 g の重酸素水 ^{18}O (10 atom% H_2^{18}O ; Taiyo Nippon Sanso, Tokyo, Japan) と約 0.12 g の重酸素水 (99.9 atom% $^2\text{H}_2\text{O}$; Isotech Sigma-Aldrich, Miamisburg, OH) が混合され, 使用された。対象者は, 総エネルギー消費量算出のため, 安定同位体の投与後 7-8 日間で複数回の採尿をおこなった。採取された尿サンプルは安定同位体質量分析までの間, -5°C 以下で冷凍保管された。同位体は安定同位体質量分析計を用いて分析された (Hydra 20-20 Stable Isotope Mass Spectrometer; SerCon Ltd., Crewe, United Kingdom)。

セーリング選手の研究対象者は男性 9 名, 女性 2 名 (20 ± 1 歳) の計 11 名, オープンウォーター選手の研究対象者は男性 2 名, 女性 3 名 (24 ± 4 歳) の計 5 名であった。

(2) 同年代の非アスリートとアスリートの総エネルギー消費量と身体組成の関連

これまでに蓄積された二重標識水法で測定された, 同年代 (18-29 歳) の非アスリートおよび先述した競技者を含むアスリートを対象に総エネルギー消費量と身体組成 (除脂肪量: FFM) の関連性を示すことで, 関連モデルを検証する。

4. 研究成果

(1) 二重標識水法を用いたアスリートの総エネルギー消費量の測定
セーリング選手 11 名の 1 日の総エネルギー消費量は $4133 \pm 1009 \text{kcal/日}$ であった (引用文献: Sagayama et al., *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2019)。オープンウォーター選手 5 名の 1 日の総エネルギー消費量は $4549 \pm 1185 \text{kcal/日}$ であった (引用文献: Sagayama et al., *Appl Physiol Nutr Metab.* 2019)。

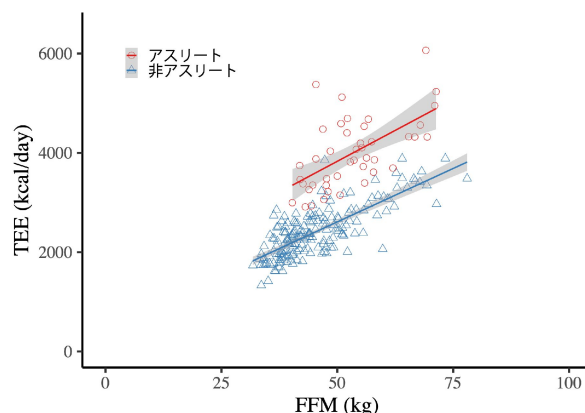


図 1: アスリートと非アスリートにおける総エネルギー消費量 (TEE) と除脂肪量 (FFM) の関係

(2) 同年代の非アスリートとアスリートの総エネルギー消費量と身体組成の関連

我々は国際原子力機構 (IAEA) に一部提供しているデータベースをもとに (引用文献 : Speakman et al., *Ann Nutr Metab.* 2019), 同年代の非アスリートとアスリートの回帰モデルの比較をおこなった。従来の分析でも除脂肪量 (FFM) と総エネルギー消費量 (TEE) との間には関連が認められるが, 本研究でも同様の結果を得ることができた (図 1)。その傾きは同程度であることが認められるが, FFM が同程度の時の総エネルギー消費量はアスリートで約 1000kcal 程度高くなる可能性が考えられる。したがって, 仮説どおり, アスリートの総エネルギー消費量モデルは身体活動量に伴い, 総エネルギー消費量が増えていく可能性が垣間見える結果となった。この結果をさらに裏付けるため, 現在, 加速度センサー付活動量計で示される身体活動および心拍数より推定される運動によるエネルギー消費量の解析を進める次第にある。加えて, トライアスロン選手を中心に, 海外の研究論文と同じ加速度センサー付活動量計の ActiGraph および 24 時間心拍数計を組み合わせた, 身体活動・運動の計測をさらに解析中である。

二重標識水法を使ったアスリートの身体活動量の測定をレビューすると, 特に自転車・トライアスロン, 水中競技などが多くのエネルギー消費を必要とすることが明らかになった (引用文献 近藤衣美 臨床スポーツ医学 2018, 引用文献 下山寛之 体力科学 2018: 図 2)。実際に, 我々のトップクラスのオープンウォーター水泳選手と大学セーリング選手の水に関わる競技の研究データも多くのエネルギー消費をしていた。オープンウォーターの水泳のトップ選手の中には測定期間中 6000kcal/日を上回る選手も存在した。これらのアスリートは先行研究の狩猟採取民族とは異なり, 日常的に食べられる環境に生きていることが理由で, エネルギーを節約する必要がないのかもしれないと考えられる。したがって, 今後, 慢性的に多大な身体活動を行なっているにもかかわらず, 食事を制限しているようなアスリートのデータを取得し, さらに制限的エネルギー消費量モデルの検証を行なっていく次第である。

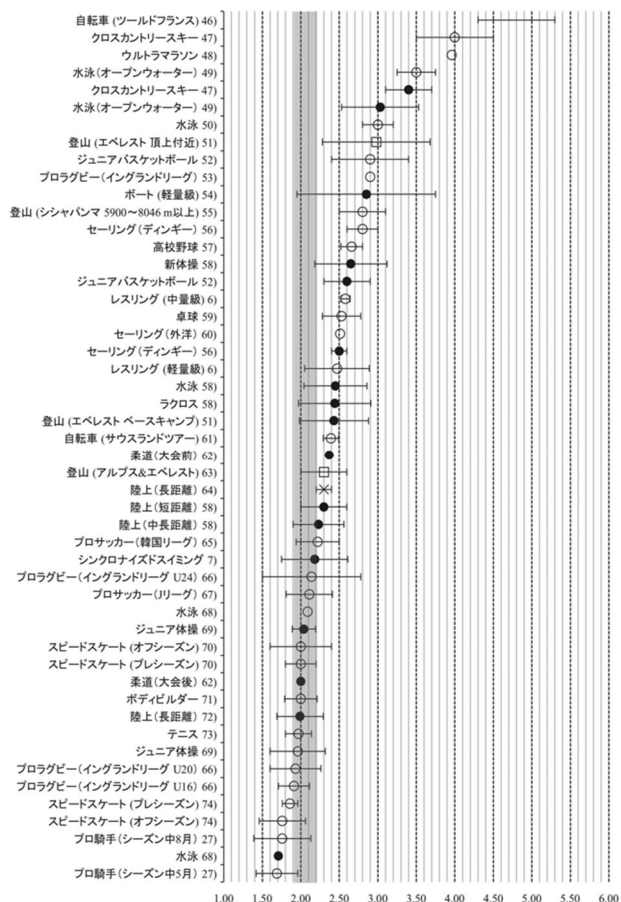


図 2 : 競技別アスリートと身体活動レベルの関係

< 引用文献 >

Speakman J, Pontzer H, Rood J, Sagayama H, Schoeller D, Westerterp KR, Wong WW, Yamada Y, Loechl C, Murphy-Alford AJ : The international atomic energy agency international doubly labelled water database: aims, scope and procedures . *Ann Nutr Metab.* 2019;75(2):114-118. 査読有

Sagayama H, Toguchi M, Yasukata J, Yonaha K, Higaki Y, Tanaka H : Total energy expenditure, physical activity level, and water turnover of collegiate dinghy sailors in a training camp . *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2019 Jul 1;29(4):350-353. 査読有

Sagayama H, Mimura K, Toguchi M, Yasukata J, Tanaka H, Higaki Y : Total energy expenditure in elite open-water swimmers . *Appl Physiol Nutr Metab.* 2019 Feb;44(2):225-227. 査読有

近藤 衣美, 下山寛之 : 基礎代謝・スポーツ活動に伴う代謝の変化 (特集 現場で使えるスポーツ栄養学) -- (栄養学の基礎) *臨床スポーツ医学.* 2018年 35(11) 1128 - 1133 査読無

下山寛之 : *体力科学* 2018年 67(5) 357 - 364 査読有

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Speakman John R., Pontzer Herman, Rood Jennifer, Sagayama Hiroyuki, Schoeller Dale A., Westerterp Klaas R., Wong William W., Yamada Yosuke, Loechl Cornelia, Murphy-Alford Alexia J.	4. 巻 75
2. 論文標題 The International Atomic Energy Agency International Doubly Labelled Water Database: Aims, Scope and Procedures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Annals of Nutrition and Metabolism	6. 最初と最後の頁 114 ~ 118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1159/000503668	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 Watanabe Daiki, Nanri Hinako, Sagayama Hiroyuki, Yoshida Tsukasa, Itoi Aya, Yamaguchi Miwa, Yokoyama Keiichi, Watanabe Yuya, Goto Chiho, Ebine Naoyuki, Higaki Yasuki, Ishikawa-Takata Kazuko, Kimura Misaka, Yamada Yosuke, Kyoto-Kameoka Study Group Kyoto-Kameoka Study Group	4. 巻 11
2. 論文標題 Estimation of Energy Intake by a Food Frequency Questionnaire: Calibration and Validation with the Doubly Labeled Water Method in Japanese Older People	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nutrients	6. 最初と最後の頁 1546 ~ 1546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.3390/nu11071546	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 -

1. 著者名 Tanabe Yoko, Chino Kentaro, Sagayama Hiroyuki, Lee Hyun Jin, Ozawa Hitomi, Maeda Seiji, Takahashi Hideyuki	4. 巻 65
2. 論文標題 Effective Timing of Curcumin Ingestion to Attenuate Eccentric Exercise-Induced Muscle Soreness in Men	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Nutritional Science and Vitaminology	6. 最初と最後の頁 82 ~ 89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3177/jnsv.65.82	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 -

1. 著者名 Sagayama Hiroyuki, Toguchi Makiko, Yasukata Jun, Yonaha Kazunari, Higaki Yasuki, Tanaka Hiroaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Total Energy Expenditure, Physical Activity Level, and Water Turnover of Collegiate Dinghy Sailors in a Training Camp	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism	6. 最初と最後の頁 1 ~ 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0204	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 -

1. 著者名 下山寛之	4. 巻 67
2. 論文標題 アスリートにおけるエネルギー代謝および身体組成	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 体力科学	6. 最初と最後の頁 357 ~ 364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7600/jspfsm.67.357	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 -

1. 著者名 Sagayama Hiroyuki, Mimura Kosuke, Toguchi Makiko, Yasukata Jun, Tanaka Hiroaki, Higaki Yasuki	4. 巻 44
2. 論文標題 Total energy expenditure in elite open-water swimmers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism	6. 最初と最後の頁 225 ~ 227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0450	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 -

[学会発表] 計20件(うち招待講演 0件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Sagayama Hiroyuki; Tanabe Yoko; Kondo Emi; Yoshida Tsukasa; Ohnishi Takahiro; Takahashi Hideyuki; Yamada Yosuke
2. 発表標題 Validation of whole- and segmental- skeletal muscle mass estimation using multi-frequency bioelectrical impedance spectroscopy
3. 学会等名 ARIHHP Human High Performance International Forum 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊 大輝; 南里 妃名子; 下山 寛之; 吉田 司; 糸井 亜弥; 山口 美輪; 横山 慶一; 渡邊 裕也; 後藤 千穂; 海老根 直之; 檜垣 靖樹; 高田 和子; 木村 みさか; 山田 陽介
2. 発表標題 食物摂取頻度調査法によるエネルギー摂取量の推定: 日本人高齢者における二重標識水法による妥当性の検討および較正式の開発
3. 学会等名 第30回 日本疫学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 下山 寛之;市川 麻美子;山田 陽介;近藤 衣美;安方 惇;田名辺 陽子;檜垣 靖樹;高橋 英幸
2. 発表標題 アスリートにおける除脂肪量の水和率が体脂肪率推定に及ぼす影響
3. 学会等名 第74回 日本体力医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋 英幸;塩瀬 圭佑;岩山 海渡;下山 寛之;元永 恵子;丸山 克也
2. 発表標題 運動後の筋グリコーゲン回復速度に筋の有酸素性能力が影響を及ぼす
3. 学会等名 第74回 日本体力医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田名辺 陽子;清水 和弘;下山 寛之;藤井 直人;高橋 英幸
2. 発表標題 健康な若年男性における尿中タイチンNフラグメントは伸張性運動後の筋損傷指標として有用か?
3. 学会等名 第74回 日本体力医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 元永 恵子;山田 陽介;吉田 司;近藤 衣美;中潟 崇;下山 寛之;吉野 昌恵;袴田 智子;山本 真帆;高橋 英幸;半谷 美夏;緒方 徹
2. 発表標題 対麻痺のあるアスリートと非アスリートの基礎代謝量の比較
3. 学会等名 第74回 日本体力医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤 衣美; 下山 寛之; 石井 泰光; 山下 大地; 西牧 未央; 岩山 海渡; 元永 恵子; 亀井 明子; 和田 貴広; 朝倉 利夫; 富山 英明; 西口 茂樹; 中嶋 耕平; 高橋 英幸
2. 発表標題 レスリング選手の試合前日の高糖質食摂取が試合当日の筋グリコーゲン濃度に及ぼす影響
3. 学会等名 第74回 日本体力医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤 加里菜; 下山 寛之; 高橋 将記; 柴田 重信; 星川 雅子; 高橋 英幸
2. 発表標題 午前中の高強度運動後の昼寝が午後のパフォーマンスおよびその後の夜間睡眠に及ぼす影響
3. 学会等名 第74回 日本体力医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motonaga Keiko; Yamada Yosuke; Yoshida Tsukasa; Kondo Emi; Nakagata Takashi; Sagayama Hiroyuki; Yoshino Masae; Hakamada Noriko; Yamamoto Maho; Takahashi Hideyuki; Hangai Mika; Ogata Toru
2. 発表標題 Total energy expenditure and physical activity level of Japanese athletes with spinal cord injury, as measured using the doubly labeled water method
3. 学会等名 VISTA 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kondo Emi; Shiose Keisuke; Sagayama Hiroyuki; Motonaga Keiko; Nishimaki Mio; Yamashita Daichi; Kamei Akiko; Nakajima Kohei; Nishiguchi Shigeki; Takahashi Hideyuki
2. 発表標題 Effects of high-carbohydrate meal on muscle glycogen and physical performance after rapid weight loss in elite collegiate wrestlers
3. 学会等名 24th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tanabe Yoko; Shimizu Kazuhiro; Sagayama Hiroyuki; Fujii Naoto; Takahashi Hideyuki
2. 発表標題 Urinary N-terminal fragment of titin is a novel noninvasive biomarker for the exercise-induced muscle damage in healthy young adults
3. 学会等名 24th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ando Karina; Sagayama Hiroyuki; Hoshikawa Masako; Takahashi Masaki; Shibata Shigenobu; Takahashi Hideyuki
2. 発表標題 Effects of nap after morning exercise on afternoon performance and overnight sleep in young athletes
3. 学会等名 2019 Annual Meeting - American College of Sports Medicine (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高江理恵, 畑本陽一, 山本泰輝, 田上友季也, 下山寛之, 山田陽介, 海老根直之, 檜垣靖樹, 田中宏暁.
2. 発表標題 運動と食事による短期的な減量介入がアスリートの身体組成とランニングパフォーマンスに及ぼす影響
3. 学会等名 第73回日本体力医学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安藤加里菜, 下山寛之, 高橋将記, 柴田重信, 星川雅子, 高橋英幸.
2. 発表標題 午前中の高強度運動後の仮眠が午後のパフォーマンスに及ぼす影響
3. 学会等名 第73回日本体力医学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下山寛之, 渡口槇子, 静間佳代子, 水原博而, 桧垣靖樹, 田中宏暁.
2. 発表標題 観光資源を利用した減量を目的とする運動・食事指導の効果
3. 学会等名 第73回日本体力医学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤衣美, 塩瀬圭佑, 西牧未央, 山下大地, 元永恵子, 下山寛之, 亀井明子, 中嶋耕平, 西口茂樹, 高橋英幸.
2. 発表標題 急速減量後の高炭水化物食が筋グリコーゲンおよび運動パフォーマンスの回復に及ぼす影響
3. 学会等名 第73回日本体力医学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塩瀬圭佑, 近藤衣美, 山田陽介, 下山寛之, 元永恵子, 亀井明子, 中嶋耕平, 高橋英幸.
2. 発表標題 多周波生体電気インピーダンス分光法を用いた日本人レスリング選手の体水分量推定の妥当性
3. 学会等名 第5回日本スポーツ栄養学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naito T, Sagayama H, Akazawa N, Haramura M, Tasaki M, Takahashi H.
2. 発表標題 Ice slurry ingestion during break times attenuates the increase of core temperature in simulated match-play tennis in the heat
3. 学会等名 The 23th Annual Congress of the European College of Sports Science (ECSS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ando K, Sagayama H, Takahashi M, Shibara S, Hoshikawa M, Takahashi H.
2. 発表標題 The effects of exercise and napping on overnight sleep
3. 学会等名 The 30th Society for Light Treatment and Biological Rhythms (SLTBR)(国際学会)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 元永恵子, 山田陽介, 吉田司, 近藤衣美, 中瀧崇, 下山寛之, 吉野昌恵, 袴田智子, 山本真帆, 高橋英幸, 半谷美夏, 緒方徹
2. 発表標題 脊髄損傷アスリートに活用できる基礎代謝量推定式の検討
3. 学会等名 第28回日本障がい者スポーツ学会大会
4. 発表年 2019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