

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01668

研究課題名(和文) 運動パフォーマンスの低下を抑制するための体温管理に関する実験・調査的研究

研究課題名(英文) The investigation and experimental study of the body temperature management attenuating reduction of exercise performance

研究代表者

芳田 哲也 (Yoshida, Tetsuya)

京都工芸繊維大学・基盤科学系・教授

研究者番号：00191601

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は高温環境におけるスポーツ競技者の体温管理の方法を明らかにするため、スポーツ競技者の運動パフォーマンス低下や病的症状の出現について調査し、さらに運動パフォーマンスを最大限に発揮できる至適体温について実験した。その結果、1)ウォーミングアップにより活動筋温を36度以上に上げない、2)脱水予防のために日常生活時の食事摂取量を減らさない、3)夏季の練習・試合時間をあまり増やさないことが体温管理の要点として示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究から明らかになったスポーツ競技者の運動パフォーマンス低下や病的症状の出現要因は、生体機能の低下やその機序の解明に寄与し、ひいては健康科学や生理学さらに予防医学などの関連研究分野の進展に貢献できる学術的意義がある。またスポーツ競技者が体温を自ら管理できる具体的な方法の確立・公表は、高温環境に対処できるスポーツ競技者の育成が可能となり、これは夏季スポーツ活動時の暑熱対策や運動パフォーマンスの維持・向上に貢献し、さらにスポーツ活動時の熱中症発生を激減できる社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to clarify the methods of body temperature management during hot summer in sports athletes, we investigated the factors relating the decrement of exercise performance and appearance of the morbid symptom using survey, and performed the experiment to determine the optimal muscle temperature maintaining maximal exercise performance. As the results, we posited the important points of body temperature management that in sports athletes, 1) do not elevate active muscle temperature above 36 by warm up, 2) to prevent dehydration, food and water intake is not decrease, and 3) do not more extend the duration of a sports activity during summer season.

研究分野：運動・環境生理学

キーワード：体温調節 脱水 アンケート 体調不良 食事摂取量 コンディショニング ロジテック回帰分析

## 様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

真夏に開催されるスポーツイベントでは温熱ストレスが増加し、このような状態が過度になれば運動パフォーマンスを著しく低下させ(Yoshida, et al., 2002), ひいては熱中症を誘発する(中井他, 2007)。2020年に開催予定であった東京オリンピックにおける多くの競技は高温多湿な真夏に実施されるため、日本のメダル獲得数増加には暑さ対策が急務である。日本陸上競技連盟(2007)や日本サッカー協会(1997)では水分補給や休憩方法及び身体冷却部位等、様々な研究成果(森本他 2007)を基に選手や監督・コーチ等を対象とした暑さ対策に関する小冊子を発行している。しかし近年のスポーツ活動時の熱中症死亡事故は減少しているが、救急搬送された数は未だに多く(環境省熱中症予防サイト, 2020), 運動パフォーマンスを最大限に発揮するための暑さ対策についても十分とは言えない。

夏季スポーツ活動時においても活動筋温の低下は運動パフォーマンスを低下させるので(Racinais and Oksa, 2010), スポーツ競技者は活動筋の温度をある程度高い状態に維持する必要がある。一方、活動筋の温度上昇が繰り返されると中枢温上昇を導き、これらが過度になると高体温や脱水を招いて運動パフォーマンスを低下させる(Gonzalez, et al., 1999)。このように、夏季スポーツ活動時には中枢温上昇を抑制して活動筋温を高く維持するような相反する状態が望ましいので、スポーツ競技者は適度な体温を維持するために繊細な体温管理を行う必要がある。しかし活動筋温や中枢温をどの程度に維持すれば高体温や脱水等の温熱ストレスを減少させて運動パフォーマンスを維持できるのか? これらに関する研究報告は極めて少なく、夏季スポーツ活動時における活動筋温や中枢温の至適温度は明らかでない。

### 2. 研究の目的

スポーツ競技者において、高温環境における運動パフォーマンスの低下を回避するためには長時間の練習や試合に耐えるノウハウを競技者が理解し実践することが必要となる。そのためには、これまでの一般的な暑さ対策の理解と日常生活(睡眠や食事)の配慮に加えて、温熱ストレスを軽減して運動パフォーマンスの低下を抑制できる至適体温の程度を理解し、自身の体温をスポーツ活動中に適切な状態に維持するための体温管理を実践することが最重要である。

本研究では高温環境に対処できるスポーツ競技者の育成を最終目標として、スポーツ競技者の夏季における運動パフォーマンスの低下とその要因を解析し、実験的検討を加えて運動パフォーマンスを最大限に発揮できる体温管理の方法について検討する。具体的には(1)アンケートから頻発する運動パフォーマンス低下とその要因を抽出し、(2)運動パフォーマンス低下と体温との関係を実験的に検証し、(3)夏季スポーツ活動時における体温管理方法の要点を整理・公表することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) アンケートの実施と集計

高校生から大学生までのスポーツ競技者を対象に、夏季スポーツ活動時の運動パフォーマンス低下や病的症状の発生要因に関するアンケートを実施した。質問項目は、身体的特徴(年齢, 身長, 体重, 既往歴等)と日常生活(睡眠・起床時刻[睡眠時間], 朝食の摂取状況, 飲酒, 体重計測習慣等の体調管理状況), スポーツ活動・所属クラブ(種目名と経験年数, 練習時間と実施時間帯), 夏季の練習内容(夏季の練習量[通常との違い], 休憩や水分摂取回数, 環境温度の測定等, 熱中症予防に関する対策の有無), 夏季練習時の病的症状状況(これまで「身体の脱力感・倦怠感・めまい・頭痛・吐き気等」の経験「良くある・時々ある・全くない」), 夏季練習(試合時)の運動パフォーマンス(筋力, 持久力, 瞬発力, 敏捷性, 判断力等)の低下等とした。

#### (2) 運動パフォーマンス低下を抑制するため至適体温(活動筋温・中枢温)を明らかにする実験

被験者は健康な成人男子8名とし、室温 25°C に設定した実験室にて自転車負荷装置(POWER MAX V)を用い、最大パワー出現時の60%負荷強度による間欠的運動(8秒間の最大運動を40秒の休息を挟んで8セット実施)および、負荷漸増法(毎分0.25kp毎に増加)による自転車漕ぎ運動(60rpm)を疲労困憊まで実施した。実験条件として水循環スーツ(久米他, 日生氣誌, 2009)を用い、10°C~40°Cの4条件による下半身の水循環を行い、活動筋の温度を広範囲(32°C~38°C)に設定した。測定項目は大腿部および下腿部の筋温(出町他, 日生氣誌, 2011), 皮膚温・食道温(熱電対), 自転車運動による平均出力・最大パワー・パワーの低下率, 心拍数, 最大運動時間, 最大酸素摂取量とした。

### 4. 研究成果

#### (1) アンケート

##### 運動パフォーマンス低下の要因

全国の男子大学生競技者(有効回答数 1322名)を対象に、夏季スポーツ活動時の主観的なパフォーマンス(筋力・持久力・瞬発力・判断力)低下の有無と生活習慣(睡眠時間減少・食事摂取量減少・練習日数・練習時間・休憩回数・飲水回数), 体調(食欲不振・睡眠不足・病気・下痢・脱水感・疲労・ストレス), 練習環境(屋外競技・長時間の練習・休憩が少ない・飲水不足・高温・多湿・日射・風が弱い・衣

服に対する不快感)について、アンケートにより任意に回答を求めた。主観的なパフォーマンスを従属変数、生活習慣・体調・練習環境を独立変数としてロジスティック回帰分析を行った。屋外競技や睡眠時間の減少、食事摂取量減少、食欲不振、睡眠不足、下痢、疲労蓄積、休憩が少ない、高温、日射の強さが主観的なパフォーマンス低下と関係することが明らかとなった。また女子大学生競技者(有効回答数 552 名)を対象に男子と同様のアンケートを解析した結果、主観的なパフォーマンス低下には食欲不振、睡眠不足、風が弱い、着衣が熱いと感じる、睡眠時のエアコンの使用、食事摂取量の低下、疲労蓄積が関係した。したがって、夏季スポーツ活動中に生じる主観的なパフォーマンス低下を防ぐために、男子については食事摂取量の維持や過度の練習を避けることが示されたが、女子大学生は練習環境や体調以外に生活習慣についても留意する必要性が示唆された。

#### 病的症状の発生要因

大学スポーツ競技者の男性 1032 名、女性 484 名から有効回答を得て、病的症状の項目を従属変数として、体調不良要因、練習環境要因の各項目を独立変数としてロジスティック回帰分析を実施した。男女共に病的症状の発生リスクを上昇させる要因として、脱水が全ての病的症状発生のオッズ比の増加に関連していた。男性は高温や休憩回数が少ない、水分摂取不足など練習環境の要因が病的症状発生のオッズ比上昇に関係したが、女性では食欲不振、睡眠不足、疲労の蓄積など生活習慣の要因と風が弱い、水分摂取不足など練習環境の要因が関連した。

高校生スポーツ競技者 1254 名(男子 895 名、女子 359 名)の回答から不備のあった者を除外した男子 872 名(97.4%)、女子 348 名(96.9%)の回答を解析した。病的症状発生を増加させる要因として、女性は男性よりもオッズ比が高く、男女共に夏季の食事摂取量の減少、夏季の練習時間の増加、屋外競技、食欲不振、病気、脱水感、疲労蓄積、ストレス、月経、高温、日射が強い、風が弱い該当した。以上の結果から、夏季における病的症状には、多くの項目について「脱水」や「食事摂取量の減少」が発生要因として関係するが、性差や、大学生と高校生による年齢差も存在することが示唆された。

### (2) 運動パフォーマンスの低下を抑制するため至適体温

#### 無酸素性(スプリント)パフォーマンス

最大出力パワー、平均出力パワーは、全セットを通して高筋温条件(36 と 38 )が大きい値を示したが、6 セットから 8 セットまでは顕著な違いは見られなかった。また総仕事量は高筋温条件が大きく、前半セット(1~4 セット)では低筋温条件(32 と 34 )より有意に高かった。しかし後半セット(5~8 セット)では筋温条件間で有意な差は認められなかった。各セットにおける最大心拍数や総発汗量は 38 条件が最も多く、32 および 34 条件と比較し有意差が認められたが 36 条件とは有意差は認められなかった。鼓膜温は、38 条件が運動終了 10 分後まで実験前と比較して有意に上昇したが、32 条件および 34 条件では大きく低下し、36 条件では顕著な変動はみられなかった。このようにスプリントパフォーマンスは高筋温条件が低筋温条件より高かったが、この結果は前半セットに顕著であり後半セットでは筋温条件間で類似していた。したがって、温熱ストレスを軽減して繰り返しのスプリントパフォーマンスを維持する至適筋温は 36 付近であると考えられるが、筋温がスプリントパフォーマンスに与える影響は運動前半と後半で異なることが示唆された。

#### 有酸素性パフォーマンス

漸増負荷による運動中の酸素摂取量、最大酸素摂取量は筋温条件間で類似していたが、最大運動時間は 36 条件が最も長い傾向を示した。発汗量と心拍数は、高筋温条件(36 と 38 )が低筋温条件(32 および 34 )と比べ有意に高値を示した。また運動時の鼓膜温は高筋温条件では上昇傾向、32 条件では低下傾向が見られたが、34 条件では変動が少なかった。したがって大腿部および下腿部の筋温が 34 以下であれば持続的運動時の温熱ストレスは高筋温条件よりも軽減できるが、有酸素性パフォーマンスを最大限に発揮するためには 36 程度が望ましいことが示唆された。

### (3) 夏季スポーツ活動時における体温管理の要点

本研究は高温環境に対処できるスポーツ競技者の育成を最終目標として、スポーツ競技者感じる運動パフォーマンスの低下や病的症状についてアンケートを実施し、さらに温熱ストレスを軽減して運動パフォーマンスを最大限に発揮するための至適体温について検討した。アンケートでは年齢(大学生と高校生)や性別に関係なく、運動パフォーマンスの低下や病的症状を感じる要因には「脱水」と「食事摂取量の減少」が強く関係した。また自転車負荷装置を用いた運動では、活動筋(大腿・下腿)の深部温は 36 程度が温熱負荷を軽減して無酸素性パワーの低下を抑制し、漸増負荷運動時に疲労困憊に達する有酸素性最大運動時間を延長できる可能性が明らかになった。

これまでの調査・実験結果から夏季スポーツ活動時における体温管理方法の要点については、ウォーミングアップにより活動筋温をあまり上げ過ぎない(36 程度が良い)、脱水予防のための水分摂取だけでなく、日常生活においても食事摂取量を減らさない、夏季のスポーツ活動時間をあまり増やさない、以上 3 点に留意する必要性が示された。

#### < 引用文献 >

- ・ Yoshida, T, et al., The critical level of water deficit causing a decrease in human exercise performance: a practical field study. Eur. J. Appl. Physiol. 87:529-534, 2002
- ・ 中井誠一他, スポーツ活動および日常生活を含めた新しい熱中症予防対策の提案—年齢、着衣及び暑熱順化を考慮した指針—, 体力科学 56(4)437-444, 2007

- ・ 日本陸上競技連盟, 陸上競技における暑さ対策マニュアル (株)日本インターナショナルエージェンシー, pp36, 2007
- ・ 日本サッカー協会, サッカーの暑さ対策ガイドブック, (株)日本インターナショナルエージェンシー, pp44, 1997
- ・ 森本武利他, 高温環境とスポーツ・運動, 篠原出版新社, pp94, 2007
- ・ 環境省熱中症予防サイト, 熱中症はどれくらい起きているのか?  
[https://www.wbgt.env.go.jp/pdf/manual/heatillness\\_manual\\_1-3.pdf](https://www.wbgt.env.go.jp/pdf/manual/heatillness_manual_1-3.pdf)
- ・ Racinais S, Oksa, J, Temperature and neuromuscular function, Scandinavian journal of medicine & science in sports, 20:1-18, 2010.
- ・ Gonzalez, AJ et al., Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged Exercise in the heat, J. Appl. Physiol. 86:1032-1039, 1999.
- ・ 久米雅他, 水循環スーツ着用時の熱抽出量, 皮膚温, 皮膚血流と運動時の深部体温変動との関係, 日本生気象学会雑誌, 46(4)159-168, 2009
- ・ 出町耕一他, 熱流補償法を用いて測定した運動時の前額部深部温と食道温との関係, 日本生気象学会雑誌, 48(4):119-127, 2011

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 Inoue K, Yamashita N, Kume M, Yoshida T.	4. 巻 In press
2. 論文標題 Differences in the Repeated Sprint Performance Between the First and Latter Halves of Trials Under Conditions of Several Thermal States in Exercising Muscles.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Strength and Conditioning Research	6. 最初と最後の頁 In press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1519/JSC.0000000000002793	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 寄本明	4. 巻 19
2. 論文標題 熱中症・脱水症予防の具体策	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 認知症ケア	6. 最初と最後の頁 10-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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13件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山下直之、久米雅、新矢博美、寄本明、芳田哲也
2. 発表標題 男子大学生競技者の夏季スポーツ活動時における主観的な体力低下と生活習慣・体調・練習環境との関係
3. 学会等名 日本体育学会第69回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寄本明、新矢博美
2. 発表標題 夏季における高齢者の塩分・水分出納および適切な摂取量の検討
3. 学会等名 第6回日本スポーツ健康科学学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 芳田哲也
2. 発表標題 運動時のHeat stressとその軽減対策
3. 学会等名 第26回日本運動生理学会大会シンポジウム「運動時のHeat stressとその軽減対策」 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寄本明
2. 発表標題 スポーツ現場におけるHeat stressと脱水予防
3. 学会等名 第26回日本運動生理学会大会シンポジウム「運動時のHeat stressとその軽減対策」 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下直之
2. 発表標題 アスリートが感じるHeat stressとその要因
3. 学会等名 第26回日本運動生理学会大会シンポジウム「運動時のHeat stressとその軽減対策」 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下直之、久米雅、新矢博美、寄本明、芳田哲也
2. 発表標題 アスリートが感じる夏季スポーツ活動中の病的症状の発生意因
3. 学会等名 平成29年度温熱生理研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山下直之、久米雅、新矢博美、寄本明、芳田哲也
2. 発表標題 夏季スポーツ活動時の体調や練習環境が熱中症関連症状の発生リスクにおよぼす影響
3. 学会等名 第72回体力医学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山下直之、久米雅、新矢博美、寄本明、芳田哲也
2. 発表標題 夏季スポーツ活動中にアスリートが感じる病的症状の発生要因 - 性差に関する検討 -
3. 学会等名 第56回生気象学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寄本明
2. 発表標題 炎天下ウォーキング時における頭部保護の必要性和効果的な帽子の検討
3. 学会等名 第21回日本ウォーキング学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寄本明、杉原彩佳
2. 発表標題 食事と運動タイミングが活動時の脂肪燃焼効率に及ぼす影響
3. 学会等名 第21回日本ウォーキング学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 磯山翔太、肥田嘉文、寄本明
2. 発表標題 小中学生との比較に基づく幼児の体の柔軟性に関する研究
3. 学会等名 京都体育学会第147回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下直之、久米雅、佐竹敏之、新矢博美、寄本明、芳田哲也
2. 発表標題 女子大学生競技者が夏季スポーツ活動中に感じるパフォーマンス低下の発生要因
3. 学会等名 日本体育学会第70回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山下直之
2. 発表標題 アスリートが感じる夏季スポーツ活動中のHeat Stress とその発生要因
3. 学会等名 日本繊維製品消費科学会主催第8回オリンピック・パラリンピック勉強会（招待講演）
4. 発表年 2020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	寄本 明  (Yorimoto Akira)  (30132278)	京都女子大学・家政学部・教授   (34305)	



## 6. 研究組織（つづき）

	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	新矢 博美  (Shin-ya Hiromi)  (70201564)	京都女子大学・発達教育学部・教授    (34305)	
研究分担者	久米 雅  (Kume Masashi)  (70551993)	京都文教短期大学・食物栄養学科・准教授    (44305)	