

氏名	井上 恵子
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博甲第980号
学位授与の日付	令和3年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 生命物質科学専攻
学位論文題目	身体の温熱状態と運動パフォーマンスに関する運動生理学的研究—運動形態別検討—
審査委員	(主査)教授 芳田哲也 教授 野村照夫 教授 宮田清司 助教 山下直之

### 論文内容の要旨

ヒトの核心温(脳や重要臓器などの温度, 中枢温や深部温とも呼ぶ)や活動筋の温度(筋温)は, スポーツや運動時のパフォーマンス(競技成績, 及び運動成果や運動能力)に影響を与える。例えば, 筋温の上昇はジャンプや筋のパワー出力等の瞬発的運動のパフォーマンスを向上させる。一方で核心温の上昇は運動遂行が困難になる体温(およそ 40°C)に到達するまでの時間を早めて持続的運動のパフォーマンスを低下させる。このように核心温や筋温が運動のパフォーマンスに与える影響は, 瞬発的運動や持続的運動, 或いは瞬発的運動を数回繰り返す間欠的運動等の運動形態によって異なることが考えられる。

第1章では体温が運動パフォーマンスに与える影響について, これまでの研究を文献考証している。その結果, 持続的運動や間欠的運動では筋温を測定している研究は少なく, これらの運動形態におけるパフォーマンスに与える筋温の影響については不明な点が多いこと, また多くの研究は実験条件として対照(コントロール)条件と高温条件または低温条件, あるいは高温と低温の2条件を設定して核心温や筋温の変化と運動パフォーマンスとの関係を見ていることが明らかになった。したがって, 運動パフォーマンスと体温に関する有用な知見を得るには, 同一被験者に対して高温から低温まで幅広い筋温を設定して運動パフォーマンスに与える身体の温熱状態の影響を検討する必要性が示唆された。そこで本研究では, 間欠的運動である繰り返しスプリントサイクリング(Repeated sprint cycling, RSC)と持続的運動能力を評価するための多段階漸増負荷テスト(Graded exercise test, GXT)を研究対象とし, 水循環ズボンを使用して下半身を受動的に加温・冷却して活動筋(大腿部・下腿部)の平均深部温度をおよそ 38°C (HOT), 36°C (WARM), 34°C (COOL), 32°C (COLD)とする4つの温度条件を設定し, 中性温環境(約 24°C)で実施したRSCとGXTが発揮するパフォーマンスに与える身体の温熱状態の影響を検討している。

第2章では, 8秒の最大自転車漕ぎ運動を40秒間の休息をはさんで8回繰り返すRSCを実施し, 活動筋温がRSCパフォーマンスに及ぼす影響を検討している。RSC前半(1回~4回)については, 加温条件(WARM・HOT)は冷却条件(COLD・COOL)よりも心拍数や主観的運動強度に示される生理的負担が高く, 特にHOT条件において有意な鼓膜温の上昇と発汗量の増加が観察されたが, 運動パフォーマンス(平均パワー・ピークパワー・総仕事量)は加温条件が高か

った。しかし RSC 後半（5 回～8 回）は 4 つの温度条件間で運動パフォーマンスの顕著な違いがみられなかった。このように本章では間欠的運動時のパフォーマンスに与える活動筋温の影響は RSC 前半が大きく、後半では小さいことを明らかにしている。

第 3 章では、自転車エルゴメーターを使用して 1 分毎に運動負荷を増加させる GXT を実施し、GXT パフォーマンスに与える活動筋温の影響を検討している。加温条件（WARM・HOT）は冷却条件（COLD・COOL）よりも心拍数や貯熱量、総発汗量などに示される温熱ストレスは高かった。しかし、酸素摂取動態や最高酸素摂取量、及び疲労困憊に達する運動時間には 4 つの温度条件間で顕著な違いが見られなかったことから、GXT パフォーマンスに与える身体の温熱状態の影響は少ないことを示している。

第 4 章では本研究を総括し、中性温環境で実施する運動の形態が異なるとパフォーマンスに与える身体の温熱状態の影響も異なること、さらにスポーツや運動時のパフォーマンスを向上させるためのウォームアップやプレクーリングの内容を決める場合には、運動形態別に検討する重要性を述べている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は間欠的運動である繰り返しスプリントサイクリング（Repeated sprint cycling, RSC）と持久的運動能力を評価するための多段階漸増負荷テスト（Graded exercise test, GXT）を研究対象とし、水循環ズボンを使用して下半身を受動的に加温または冷却して活動筋（大腿部・下腿部）の平均深部温度をおよそ 38℃（HOT）、36℃（WARM）、34℃（COOL）、32℃（COLD）とする 4 つの温度条件を設定して、中性温環境（室温約 24 度）で実施した RSC と GXT が発揮するパフォーマンスにおよぼす身体の温熱状態の影響を検討している。

本研究では、まず 8 秒の最大自転車漕ぎ運動を 40 秒間の休息をはさんで 8 回繰り返す RSC を実施し、発揮されるパフォーマンスにおよぼす活動筋温の影響を検討した。RSC 前半（1 回～4 回）では、加温条件（WARM・HOT）は冷却条件（COLD・COOL）よりも生理的負担が高かったが運動パフォーマンス（平均パワー・ピークパワー・総仕事量）は加温条件が高かった。しかし RSC 後半（5 回～8 回）は 4 つの温度条件間で運動パフォーマンスの顕著な違いがみられなかったことから、間欠的運動時のパフォーマンスに与える活動筋温の影響は RSC 前半が大きく、後半は小さいことを明らかにしている。

次に自転車エルゴメーターを使用して 1 分毎に運動負荷を増加させる GXT を実施し、GXT パフォーマンスにおよぼす活動筋温の影響を検討している。加温条件（WARM・HOT）は冷却条件（COLD・COOL）よりも心拍数や貯熱量、総発汗量などに示される温熱ストレスは高かった。しかし、酸素摂取動態や最高酸素摂取量、および疲労困憊に達する運動時間には 4 つの温度条件間で顕著な違いが見られなかったことから、GXT パフォーマンスに与える身体の温熱状態の影響は少ないことを示している。

本研究における 2 つの実験結果から、中性温環境で実施する運動の形態が異なるとパフォーマンスに与える身体の温熱状態の影響も異なることが明らかになり、この知見は十分な新規性と独創性を有し学術的価値は高いと認められる。さらに本研究は、スポーツや運動時のパフォーマンスを向上させるためのウォームアップやプレクーリングの内容を決める場合には、運動形態別に

検討する重要性を示したもので、学術的にも社会的にも高く評価できるものと認められる。

以上より、本論文は博士論文として十分な内容を備えていると判断できる。

なお、本論文の研究内容は以下の2編の学術論文としてまとめられ、1編は既に掲載され、1編は印刷中である。そのいずれも申請者が筆頭著者である。

本学位論文の基礎となった学術論文

1. KEIKO INOUE, NAOYUKI YAMASHITA, MASASHI KUME, AND TETSUYA YOSHIDA  
DIFFERENCES IN THE REPEATED SPRINT PERFORMANCE BETWEEN THE FIRST  
AND LATTER HALVES OF TRIALS UNDER CONDITIONS OF SEVERAL THERMAL  
STATES IN EXERCISING MUSCLES, Journal of Strength and Conditioning Research  
2018  
doi: 10.1519/JSC.0000000000002793 (in press)
2. Keiko INOUE, Naoyuki YAMASHITA, Masashi KUME, Tetsuya YOSHIDA  
Changes in the physiological strain and graded exercise performance due to warming or  
cooling of the lower body in a temperate environment. The Journal of Sports Medicine and  
Physical Fitness, 2021 January;61(1):18-26 DOI: 10.23736/S0022-4707.20.10877-6