

## 博士学位論文審査報告書

大学名	早稲田大学
研究科名	スポーツ科学研究科
申請者氏名	岩田 理沙
学位の種類	博士（スポーツ科学）
論文題目	身体冷却としてのプレクーリングとポストクーリングにおける効果の性差 Sex differences in pre-cooling and post-cooling effects as body cooling.
論文審査員	主査 早稲田大学教授 村岡 功 博士（医学）（東京医科大学） 副査 早稲田大学教授 坂本静男 医学博士（聖マリアンナ医科大学） 副査 早稲田大学教授 鈴木克彦 博士（医学）（弘前大学）

運動はその強度や時間に応じて体温を上昇させる。特に暑熱環境下での運動時における体温上昇は著しく、このことによって運動パフォーマンスの低下や熱中症におけるリスクの増大がもたらされる。これらを回避するために、スポーツ現場では様々な方法で身体冷却（クーリング）が行われている。その方法は目的によって使い分けられており、運動の前にあらかじめ体温を低下させることを目的として行うプレクーリング、運動中や運動の間に体温の低下や疲労感の軽減を目的に行うミッドクーリングや、運動後速やかに体温を低下させることや炎症の抑制を目的として行うポストクーリングがある。

しかしながら、運動パフォーマンスの改善を目的とした身体冷却に関する先行研究では、そのほとんどが男性を対象にしており、女性で得られている知見は少ない。男性と女性では、身体組成の違いや性ホルモンの影響によって、運動および冷却に対する応答が異なると言われている。また、運動時における身体冷却を最適化するためには、男女間の体温調節機能の違いに基づいて、性差を考慮して行うことが重要であると考えられている。そこで本研究では、身体冷却としてのプレクーリングとポストクーリングにおける性差の影響を明らかにするために、体温調節機能および遅発性筋肉痛（DOMS）の観点から研究を行うこととした。

本論文は6章から構成されており、以下にその概要を記す。

第1章では、研究の背景と目的について述べており、第2章では、文献考証として、①プレクーリングによる運動パフォーマンスへの効果とアイススラリーによるプレクーリング、②ポストクーリングによる運動誘発性高体温への効果、炎症反応および筋肉痛の抑制への効果、および③性差による体温調節機能、身体冷却、遅発性筋肉痛への影響について、従来の知見を詳細に記述するとともに、先行研究における課題等を浮き彫りにしている。そして、第3章～第5章では、3つの研究課題、【研究課題1】アイススラリーによるプレクーリングが暑熱環境下における持久性運動時の体温調節機能に与える性差の影響、【研究課題2】持久性運動後のアイススラリー摂取が体温調節機能に与える性差の影響、【研

【研究課題3】レジスタンス運動後の冷水浴が遅発性筋肉痛に与える性差の影響、について以下の通り詳細に記述している。

【研究課題1】新たな身体冷却方法としてアイススラリーに注目が集まっている。これを用いたプレクーリングは、持久性の運動パフォーマンスを改善することが報告されている。しかしながら、この結果は男性によるものであり、女性ではそのような知見は得られていない。そこで本研究課題では、暑熱環境下におけるアイススラリーを用いたプレクーリングが、運動継続時間および体温調節応答に及ぼす影響について、男女間で比較することとした。被験者は健康な若齢成人24名（男性12名、女性12名）であり、糖質・電解質を含むアイススラリー摂取試行と同組成の常温スポーツ飲料を摂取する試行を行った。両試行では運動前にそれぞれを体重当たり7.5g摂取させ、温度38℃と湿度40%の条件下において、55%  $Vo_{2max}$  強度での自転車エルゴメータ運動を継続可能な時間まで行わせた。測定項目は体温関連指標（直腸温、皮膚温）、主観的指標（温熱感、熱快適感、主観的運動強度）、呼吸循環指標（酸素摂取量、呼吸交換比、心拍数）、発汗指標（発汗開始ポイント、全身発汗量）および運動継続時間であった。その結果、主観的運動強度と熱快適感において運動後半に男女間で差がみられたものの、その他の測定項目では男女間で有意な差はみられなかった。これらの知見から、運動パフォーマンスの改善を目的としたアイススラリーによるプレクーリングでは、性差を考慮する必要はないと結論された。

【研究課題2】運動によって引き起こされる高体温による熱中症の重症化リスクは、体温の高さとその持続時間に依存している。そのため、30分以内に危険体温から速やかに体温を低下させることが重要となる。男性におけるアイススラリー摂取では、ポストクーリングよりもプレクーリングの方で効果が大きいと言われているが、女性ではこの種の研究はなされていない。また、女性では男性よりも熱中症のリスクが高いとの報告もあることから、本研究課題では女性におけるポストクーリングの効果を検討することとした。被験者は研究課題1と同様であり、アイススラリーあるいは同組成の常温スポーツ飲料を、研究課題1での運動終了後に体重当たり5g、そして10分および15分後にそれぞれ1.25gずつ摂取させ、同じ環境条件下（気温38℃・湿度40%）において60分間の座位回復を行わせた。測定項目は研究課題1と同様の体温関連指標と主観的指標、および心拍数と発汗量であった。その結果、アイススラリーによるポストクーリングでは、女性においてのみ直腸温と温熱感の低下が観察されるとともに、運動後の血圧低下を抑制することが示された。研究課題1と2の結果から、女性ではアイススラリーによるプレクーリングよりもポストクーリングの方が効果的であると結論された。

【研究課題3】不慣れな運動や高強度の伸張性運動はDOMSを引き起こして、運動意欲やパフォーマンスの低下をもたらす。そのため、これまでにDOMS抑制のためのポストクーリングが検討されており、なかでも冷水浴は最も冷却効果の大きい方法として用いられている。冷水浴の効果には個人差に加えて性差があると言われていることから、本研究課題では、DOMSに対する冷水浴の効果に性差が生じるか否かを検討することとした。被験者は健康な若齢成人の男女16名（男性8名、女性8名）であり、70~75% 1RM強度でのレッグプレスとレッグエクステンションをそれぞれ10回×3セットと、引き続いての腸骨までの冷水浴（水温15℃）を15分間行わせた。運動の前後および冷水浴2、24、48ならびに72時間後に、主観的筋肉痛、大腿周径囲、関節可動域、カウンタームーブメントジャンプおよび

血液指標（白血球数、好中球数、クレアチンキナーゼ活性、ミオグロビン濃度）の測定を行った。その結果、冷水浴による DOMS への効果に性差は見られず、本研究で対象となった男女間での身体組成の違いは、DOMS に対する冷却効果に影響を与えるほどの差ではなかったと考えられた。それゆえ、同条件（水温 15°C で 15 分間）の冷水浴では、男女間で同様の効果が得られると結論された。

第 6 章では、総合討論として、3 つの研究課題で得られた成果のまとめ、実際のスポーツ場面における本研究成果の応用、および今後の研究課題について言及している。

以上、本研究では、持久性運動パフォーマンスの改善を目的としたアイスラリー摂取によるプレクーリングと、DOMS 抑制を目的とした冷水浴によるポストクーリングにおいて、性差による影響は見られなかった。一方、上昇した体温の速やかな低下を目的としたアイスラリーを用いたポストクーリングでは、女性でのみ冷却効果が得られた。これらのことから、女性におけるアイスラリー摂取による身体冷却では、プレクーリングよりもポストクーリングの方でより有効である可能性が示唆された。また、3 つの研究課題の結果から、プレクーリングおよび DOMS 抑制を目的としたポストクーリングでは、性差を考慮する必要性は低いこと、一方で、暑熱環境下における運動時の体温上昇の抑制および高体温からの回復のためのポストクーリングにおいては、性差を考慮して男女それぞれで適切なプロトコルを考案することが必要であると示唆された。

しかしながら、身体組成が大きく異なる男女間での検討に加えて、運動パフォーマンスに及ぼすプレクーリングによる主観的指標の違いやミッドクーリングの影響など、依然として検討すべき課題は残されている。未だ課題は残されているものの、本論文は、これまであまり検討されてこなかった女性を対象として、プレクーリングとポストクーリングの影響を明らかにしようとした点で意義深い。また、実際のスポーツ・運動場面において、女性では運動前に行うプレクーリングよりも、運動中や運動の間に冷却を行うことが有効である可能性が示唆される一方で、男性では運動時における代謝性熱産生量が大きいことから、プレクーリングが有効であることを示唆した点も有意義である。

これらの研究内容は高度な専門的知識に基づいており、かつ、指導教員の下で行われた研究成果はオリジナリティに富むとともに学術的意義を有し、以下に記した学術雑誌に掲載されるなど、関連する分野の研究者からも一定の評価を得ている。これらのことから、本審査委員会は、本論文が博士（スポーツ科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

以上

【研究課題 1】 Iwata R. Kawamura T. Hosokawa Y. Chang L. Suzuki K. and Muraoka I. (2020) Differences between sexes in thermoregulatory responses and exercise time during endurance exercise in a hot environment following pre-cooling with ice slurry ingestion. *Journal of Thermal Biology*, 94, [102746]

【研究課題 3】 Iwata R. Chang L. Akiyama H. Kawamura T. Suzuki K. and Muraoka I. (2021) The effects of sex differences on delayed-onset muscle soreness by cold-water immersion following resistance exercise, *Gazzetta Medica Italiana*, In press.