

暑熱下運動中におけるペルチェ素子による 頸部冷却の有用性の検討

北海学園大学 内藤 貴司
(共同研究者) 福山市立大学 林 聡太郎
鳥取大学 斎藤 辰哉
九州大学 斎藤 篤司

The Effects of Neck Cooling with Peltier Element Device During Exercise in the Heat

by

Takashi Naito
Hokkai-Gakuen University
Sotaro Hayashi
Fukuyama City University
Tatsuya Saito
Tottori University
Atsushi Saito
Kyushu University

ABSTRACT

This study aimed to compare the effects of neck cooling using Peltier elements or internal cooling achieved by ingesting ice slurry during exercise on thermal strain in hot conditions. Eight healthy male participants underwent a randomized crossover trial with two conditions: (1) internal cooling (INT trial) and (2) neck cooling using a Peltier-based neck cooler (NECK trial). Participants performed 45 min of cycling exercise while monitoring rectal temperature, tympanic temperature, mean skin

temperature, heart rate, thermal sensation, thermal discomfort, perceived exertion, and reaction time. The results showed that in the NECK trial, neck skin temperature significantly decreased from 5 min after exercise onset. However, rectal temperature remained elevated in 40 min. Thermal sensation was significantly improved in the NECK trial up to 20 min, but the INT trial showed significantly lower at the 40-min. No significant differences were found in thermal discomfort, perceived exertion, or reaction time. These findings suggest that Peltier-based neck cooling effectively improves thermal sensation in the early stages of exercise but has limited effects on deep body temperature regulation. For effective heat stress prevention, combining neck cooling with internal cooling or other body cooling methods may be necessary.

キーワード

アイススラリー, ネッククーラー, 直腸温, 温熱感覚, 鼓膜温

Keyword

ice slurry, neck cooler, rectal temperature, thermal sensation, tympanic temperature

要 旨

本研究は、暑熱下運動におけるペルチェ素子による頸部冷却とアイススラリー摂取による体内冷却を比較し、その有用性を明らかにすることを目的とした。健康男性8名を対象に、①体内冷却（INT 試行）と②頸部冷却あり（NECK 試行）のランダム化比較試験を実施し、自転車エルゴメーターによる45分間の運動を行った。運動中の直腸温、鼓膜温、平均皮膚温、心拍数、温熱感覚、温熱不快感、主観的運動強度、全身反応時間を評価した。結果として、NECK 試行では頸部の皮膚温が運動開始5分後以降で有意に低下したが、運動後半時の直腸温は高値を示した。温熱感覚は運動開始から20分目まで有意に改善されたが、40分目ではINT 試行が有意に低値を示した。温熱不快感や主観的運動強度、全身反応時間にも有意な差は認められなかった。これらの結果から、ペルチェ素子による頸部冷却は短時間の温熱感覚改善には有効であるものの、深部体温の抑制には限界があるこ

とが示唆された。暑熱障害の予防には、より広範囲の身体冷却や体内冷却を組み合わせる必要があると考えられる。

緒 言

我が国では地球温暖化の影響によって平均気温は上昇しており、消防庁は熱中症による救急搬送が過去3年で7万件/年以上に達していると報告している¹⁾。熱中症は運動中のみならず、身体活動時にも発症が見受けられており、その対策は喫緊の課題となっている。熱中症発症は深部体温の過度な上昇が主要因として考えられており、その抑制方略としてアイススラリーによる身体冷却が検討されている。アイススラリーは微小な氷と水が混ざった液体であり、経口摂取のため深部体温を直接冷却できることからその有用性が示されている²⁾。

身体冷却は近年の機器発展によって、様々なものが存在する。例えば、保冷剤がポケットに内包されたベスト型の冷却衣服の使用は高強度の間欠

性運動時の平均皮膚温や心拍数を低下させ、有用性が示されている³⁾。また、背部にファンが搭載された外気通風式の衣服の使用は鼓膜温や平均皮膚温の上昇の抑制や低下の促進⁴⁾が報告されている。これらはスポーツ競技場面に加えて、職場における熱中症予防策のひとつであり、我が国では数多くの機器が市販されている。暑熱環境下でのこれらの機器の使用は熱中症予防に効果的とされている一方で、最適な着用方法やその有用性は必ずしも科学的・医学的に検証されていない場合も存在する。

近年、身体冷却の機器としてペルチェ素子を用いたネッククーラー（頸部冷却）がある。ペルチェ素子は接合された異なる2種類の半導体（n型、p型）から構成され、直流電流の極性を制御することで温度を比較的容易に変化させることができる。ペルチェ素子に電流を流すと片方の接面からもう一方に動く際に、熱も輸送するという特性を持つため発熱および吸熱をすることができる⁵⁾。ペルチェ素子を用いたネッククーラーはこの吸熱を利用し、通電することで熱移動を発生させ、ペルチェ素子のプレートが頸部に接地することで身体冷却を行うものである。頸部冷却は先行研究において凍らせたアイスタオル⁶⁾や保冷剤⁷⁾が検討され、温熱快適性を改善することが報告されている。しかし、これらは一定時間使用すると冷却媒体が融解し、使用困難となるデメリットがある。ペルチェ素子を用いた頸部冷却は、電源さえあれば、身体冷却が可能であり、安静時の発汗量および皮膚温の上昇を抑制し、温熱感覚や快適性を改善させることが報告されている⁸⁾。我々が知る限り、ペルチェ素子による頸部冷却は上記の先行研究を含めて数編しかなく、身体冷却の有用性が示されているアイスラリー摂取による体内冷却と比べて有効かは不明である。したがって、本研究の目的は暑熱下運動におけるペルチェ素子による頸部冷却とアイスラリー摂取による体内冷却を

比較し、その有用性を明らかにすることを目的とする。

1. 方法

1.1 被験者

被験者は、健常男性9名が実験に参加した。しかし、1名の被験者は実験中に軽度の熱中症を発症してドロップアウトしたため、8名（年齢 = 20 ± 1 歳、身長 = 1.713 ± 0.036 m、体重 = 63.26 ± 13.21 kg）の被験者を解析対象とした。彼らはアスリートでは無かったが、日常的に運動習慣のある被験者であった。また、いずれの被験者も常用薬を服用しておらず、何ら心臓血管系及び呼吸器系の疾病歴を有していなかった。彼らには本研究の目的、方法、危険性等を十分に説明し、被験者全員から実験に参加することに同意を得た。本研究は、福山市立大学倫理審査委員会（承認番号：2024005）の承認を得て実施した。

1.2 実験デザイン

本研究では、暑熱環境下運動におけるペルチェ素子による頸部冷却とアイスラリー摂取による体内冷却を比較検討するため、ランダム化比較試験を行った。全ての被験者は運動時に1) 体内冷却試行（INT）と2) 頸部冷却試行（NECK）の2試行を実施した。

1.3 実験プロトコル

本実験は各試行4日以上の間隔をあげ、ランダムで実施した。また、全ての実験は体温調節応答に対する日内変動を考慮し、同時刻に実施した。各被験者は実験前日より激しい運動やアルコール、カフェイン等の栄養サプリメント摂取が制限された。彼らは実験の2時間前に500 mLの水分を摂取し、それ以降は絶食をした。実験室（室温20℃、相対湿度50%）に到着し30分以上安静後、半袖シャツ、短パンと運動靴（総重量は約1.3

kgであり、衣服面積比（着衣と裸体の体表面積比率）は1.12、衣服熱抵抗は $0.063 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ または 0.405 clo 、衣服蒸発性熱抵抗は $0.010 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{kPa})$ に着替えた⁹⁾。採尿、身長および体重を測定した後、測定器具を装着した。その後、被験者は室温 $34.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $52 \pm 3\%$ 、黒球湿球温度 $29.5 \pm 0.6^\circ\text{C}$ の暑熱環境下において全身反応時間を測定後、自転車エルゴメーター（AEROBIKE 75XL III, COMBI社製）上で5分間安静にした。自転車運動は回転数60 rpmとし、体重1 kg当たり2.0 wattの強度で15分間実施した。その後5分間の休息をとり、それを計3回反復した（図1）。運動終了後、汗を十分拭き取り、全身反応時間、体重測定および採尿を行なった。

1. 4 身体冷却介入

体内冷却はアイススラリー（リポビタンアイススラリー Sports, 大正製薬社製）を5分間の休息時に体重1 kg当たり3.75 g摂取した。また、NECK 試行では、同飲料を室温のまま摂取した。頸部冷却はパルチエ素子のプレート（ $6.5 \times 3.5 \text{ cm}$ ）が左右の頸部に接着するように設計されたネッククーラー（ネッククーラー Evo, サンコー

社製）を用いた。このネッククーラーは、運動開始時から着用された。図2に、室温 25°C におけるパルチエ素子プレートの温度変化を示した。

1. 5 測定項目

尿比重は実験前後に採尿を行い、デジタル尿比重屈折計（PAL-09S, アタゴ社製）を用いて測定した。体重は市販の体重計（BC-316, タニタ社製）を使用し、50 g単位で測定した。直腸温は、潤滑剤を塗ったサーミスタカテーテル（ITP010-11: 日機装サーモ社製）を直腸内に15 cm挿入した。頸部、上腕部、胸部、および大腿部の4点にサーミスタプローブ（ITP082-24: 日機装サーモ社製）を装着し、その上をサージカルテープで覆った。鼓膜温は赤外線式温度計（Thermoscan7, Braun社製）を用いて5分毎に2回測定し、平均値を採用した。心拍数は無線式携帯型心拍計（H-10, Polar社製）を胸部に装着し、30秒毎に記録した。全身反応時間はマットスイッチ（VoltOnoJump, S-cade社製）を用いた。被験者はマットスイッチの上に立ち、1.5 m前に設置されたモニターから光刺激が呈示された後、できる限り早くジャンプした。光刺激の呈示は1.25 mの高さから黄色で照射され、

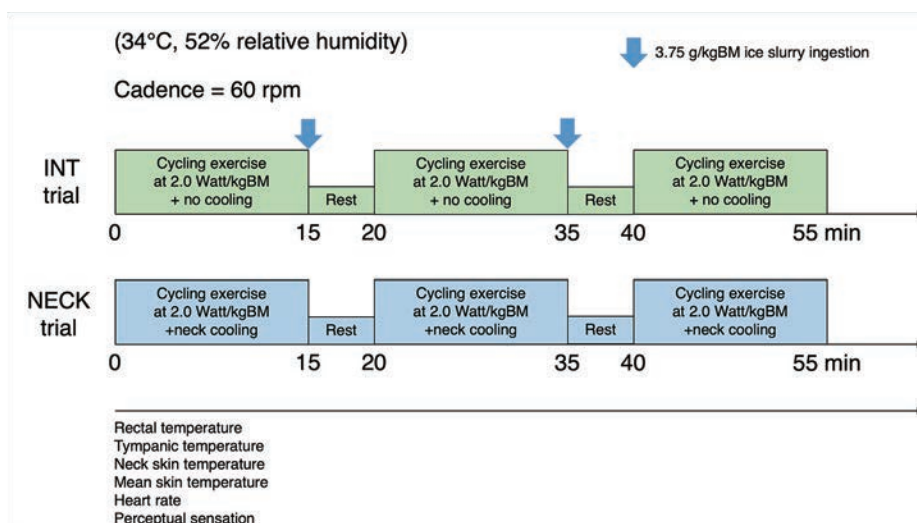


図1 Schematic representation of the experimental protocol

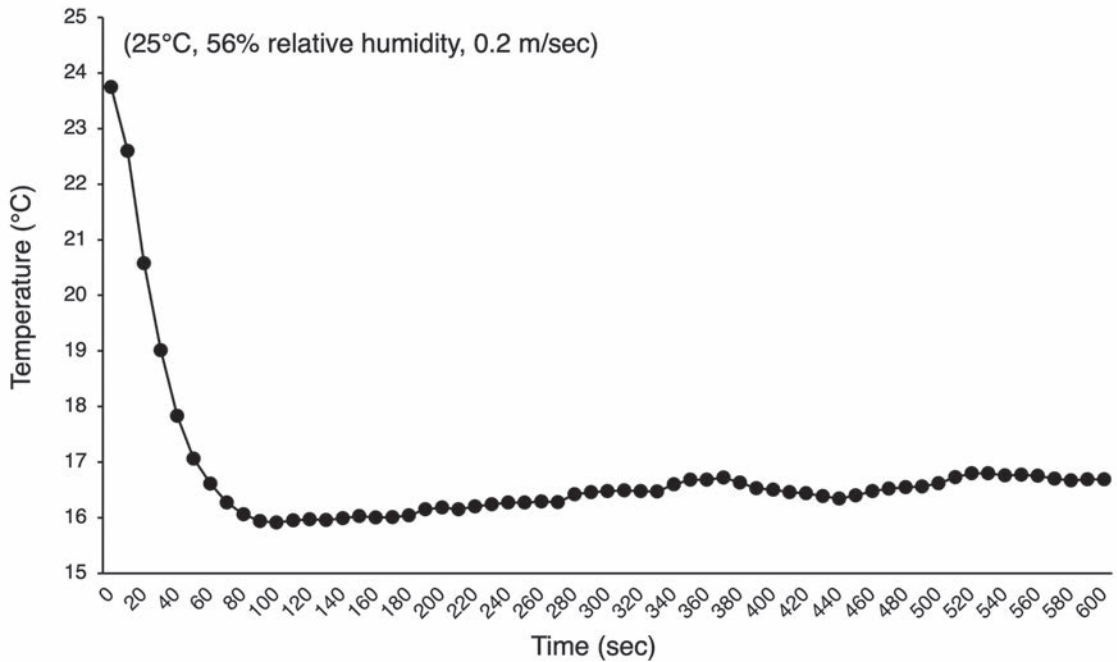


図2 Temperature change of Peltier element plate at room temperature of 25°C

ランダムな間隔であった。本試行前に練習試行を行い、本試行は運動の前後で5回ずつ実施した。

主観的感覚は温熱感覚（1：とてもさむい，9：とてもあつい）を9段階スケール¹⁰⁾，温熱不快感（1：とても不快，7：とても心地よい）を7段階スケール¹¹⁾，主観的運動強度（Rating of perceived exertion: RPE，7：非常に楽である，19：非常にきつい）をBorg（1982）の15段階スケール¹²⁾を用いて5分毎に記録した。

1. 6 算出項目

平均皮膚温および総発汗量を算出するために、下記の公式を用いた。

$$\text{平均皮膚温 (°C)} = 0.43 \times \text{胸部皮膚温} + 0.25 \times \text{上腕部皮膚温} + 0.32 \times \text{大腿部皮膚温}^{13)}$$

$$\text{総発汗量 (g)} = \text{運動前の体重} - \text{運動後の体重} + \text{飲水量}$$

1. 7 統計処理

結果は、全て平均値±標準偏差値で示した。全ての統計処理は、SPSSのバージョン28 (Statistical package for social science: IBM社製)を用いて行った。データの正規性と試行間の等分散性は、それぞれShapiro-Wilkの検定とLeveneの検定を用いて検定した。Shapiro-Wilkの検定またはLeveneの検定の結果が有意水準より低い場合、データはノンパラメトリック検定を使用して分析された。ノンパラメトリックデータ（主観的指標）は、Friedmanの二元配置分散分析を用いて分析した。有意差が認められた場合は、Wilcoxonの符号付順位検定を用いて比較した。運動前後の体重および尿比重、体温や心拍数などの生理学的指標は繰り返しのある2要因（試行×時間）分散分析（Two-way repeated ANOVA）を用いた。有意な交互作用が認められた場合および総発汗量は対応のあるt検定によって比較した。多重比較検定にはBonferroni法を用いた。

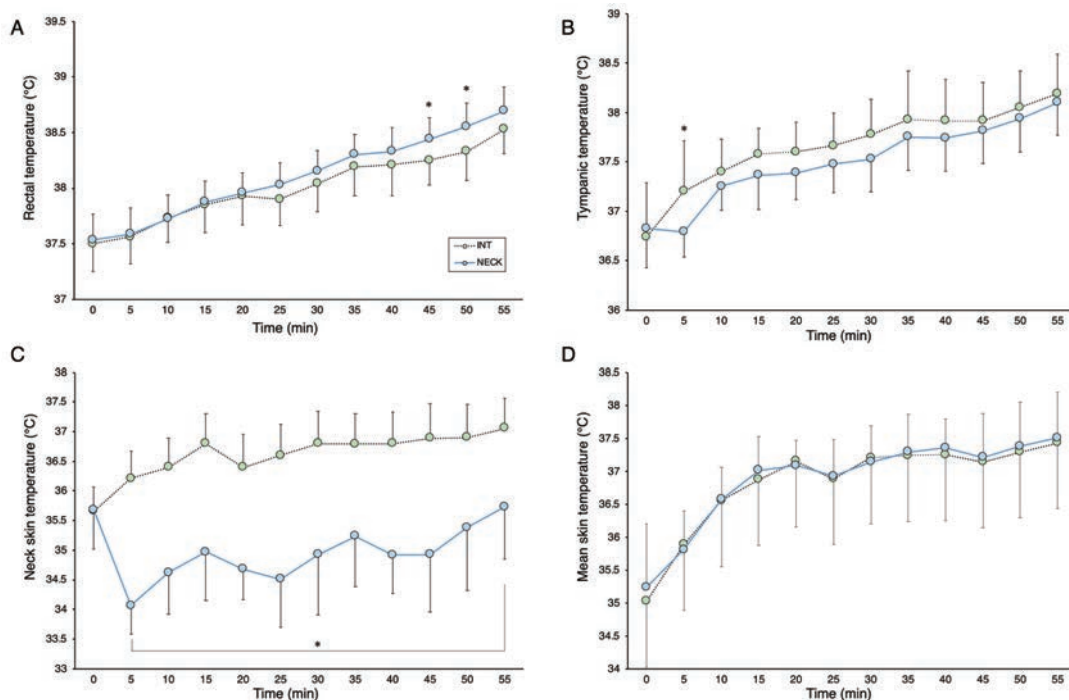


図3 The rectal (A), tympanic (B), neck skin (C), and mean skin temperatures (D) during experimental trials
*: INT vs. NECK, $P < 0.05$

表1 Body composition and reaction time during experimental trials

	INT		NECK	
	Pre	Post	Pre	Post
Body mass (kg)	63.35 ± 12.89	62.75 ± 12.45	63.28 ± 13.21	62.33 ± 13.06
Urine specific gravity	1.019 ± 0.009	1.019 ± 0.007	1.017 ± 0.008	1.020 ± 0.010
Total sweating volume (kg)	545 ± 234		944 ± 190*	
Reaction time (msec)	350.8 ± 545.8	381.7 ± 456.7	371.2 ± 977.5	353.7 ± 112.6

Values are means ± SD. INT, internal cooling trial, NECK, neck cooling trial.

2. 結果

2.1 体温調節指標

各試行における運動時の直腸温、鼓膜温、頸部皮膚温および平均皮膚温は図3に示した。運動時の直腸温は45および50分目においてINT試行で有意に低値を示した ($P < 0.05$)。鼓膜温は運動開始5分後にNECK試行が有意に低値を示した ($P < 0.05$)。頸部皮膚温は0分目では有意な差は認められなかったが、5分目以降からNECK試行がINT試行よりも有意に低値を示した ($P < 0.05$)。またその低値は、実験終了まで持続した。平均皮膚温

は2試行間で有意な差は認められなかった。

2.2 体水分状態

各試行における運動開始前の体重および尿比重は2試行間で有意な差はなかった。運動終了後、体重の減少が2試行で認められ、総発汗量はNECK試行が有意に高値を示した ($P < 0.05$; 表1)。

2.3 心拍数

各試行における運動時の心拍数は、2試行間で有意な差は認められなかった (図4A; $P < 0.05$)。

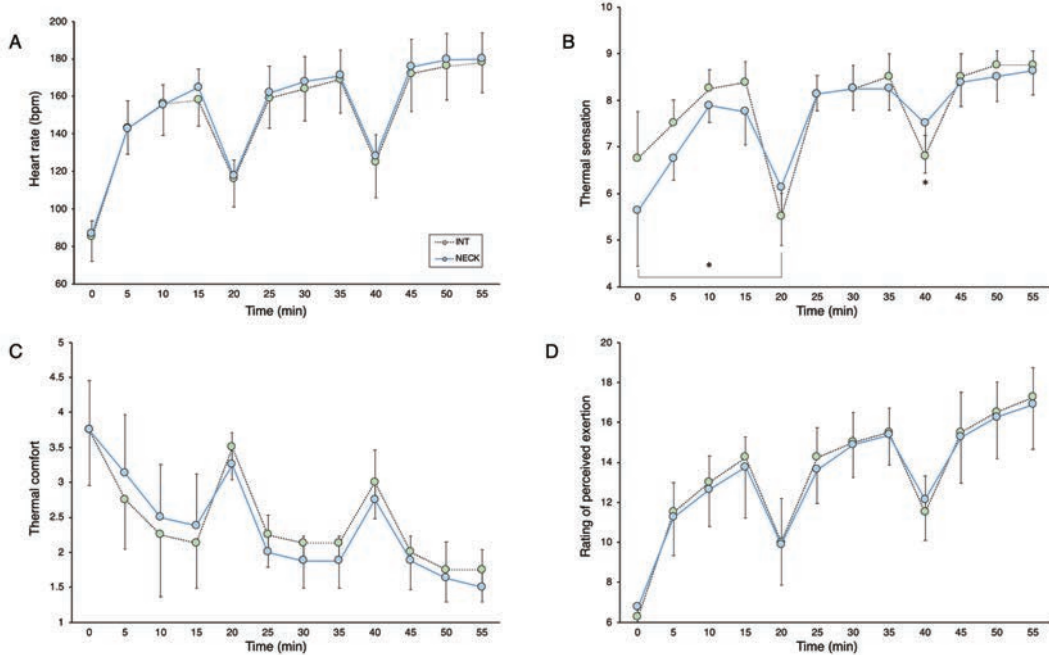


図4 The heart rate (A), thermal sensation (B), thermal comfort (C), and rating of perceived exertion (D) during experimental trials
*: INT vs. NECK, <math>P < 0.05</math>

2. 4 主観的指標

NECK 試行における温熱感覚は、0-20分目までINT試行よりも有意に低値を示した(図4B; $P < 0.05$)。一方、40分目の温熱感覚はINT試行が有意に低値を示した。温熱不快感および主観的運動強度は、2試行間で有意な差は認められなかった(図4C, 4D; $P > 0.05$)。

2. 5 全身反応時間

各試行における運動時の心拍数は、2試行間で有意な差は認められなかった(表1)。

考察

本研究の主な知見は、暑熱環境下での運動中におけるペルチェ素子を用いたネッククーラーによる頸部冷却はアイススラリー摂取による体内冷却と比較して①運動開始直後の鼓膜温は低値を示したが、直腸温は運動の後半時に高値を示した。②頸部の皮膚温は低下させた。③温熱感覚は運動の

前半において有意に低値を示したが、40分目では高値を示した。一方で、温熱不快感や主観的運動強度は有意な差が認められなかった。

暑熱障害は、深部体温の過度な上昇が発症の要因の一つとされている。その対策として、近年アイススラリー摂取による体内冷却は微小な氷の融解熱を利用して、直接胃や腸を直接冷却することができ、深部体温を効率的に低下させる¹⁴⁾。また、頸部冷却は頸部に位置し、脳へ血液を供給する総頸動脈を冷却することで、熱負荷を低減する方略¹⁵⁾として用いられている。深部体温低減の機序は冷却法で異なっているが、本研究ではペルチェ素子を用いたネッククーラーによる頸部冷却はアイススラリー摂取による体内冷却と比較して直腸温の上昇を有意に抑制しなかった。近年のレビュー論文において頸部冷却は実践的な冷却方略ではあるが、深部体温の低減は困難であることを示唆している^{16,17)}。これは、冷却部位の体表面積の狭小であることに起因していると考えら

れる。頸部は、体表面積の中で10%以下しかない。本研究で使用したペルチェ素子の寸法は6.5×3.5 cmであり、それが左右の頸部を冷却しているが、皮膚表面への接触面積は約45 cm²であった。DuBois et al. (1916)の体表面積算出式(体表面積 = 71.84 × 身長0.725 × 体重0.425)によると、今回の平均体表面積は1.743 m²で、平均体表面積に対する冷却面積の割合は0.25%であった¹⁸⁾。したがって、本研究で使用したペルチェ素子を用いたネッククーラーによる頸部冷却はアイススラリー摂取による体内冷却と比べて深部体温に対する影響は限定的であったと考えられる。また、この深部体温への影響が発汗量の差に貢献した可能性が示唆された。

本研究におけるペルチェ素子を用いたネッククーラーによる頸部冷却は、運動開始時から前半にかけての温熱感覚を改善した。頸部は顔面部と同様に温度に対する高い感受性(alliesthesial sensitivity)を有しており¹⁹⁾、軽度の熱負荷を受けた際に冷刺激を加えると全身の温熱感覚が即座に軽減される可能性があることが示されている²⁰⁾。したがって、NECK 試行における頸部の温熱感覚は0分目から有意に低値を示したが、これは0分目から冷却を開始したため、急激に頸部が冷やされたことで即時的に温熱感覚が改善したと考えられる。実際に、運動開始5分目においてNECK 試行の鼓膜温はINT 試行に比べて低値を示している。一方で、NECK 試行において頸部の皮膚温は運動終了時まで有意に低値を示していたが、温熱感覚は20分目から差がなくなり、40分目ではアイススラリー摂取による体内冷却が低値を示した。これはアイススラリー摂取による口腔や消化器の温度受容器が刺激されたこと²¹⁾に加えて、頸部冷却に対する慣れが関連していると考えられる。外部からの冷却は温度受容器に対する適応(慣れ)を生じさせ、感受性の高い寒冷受容器の数が減少し、寒冷感覚の閾値が上昇するため、

より低い温度を感知することが困難になる²²⁾。このことから、参加者は慢性的な冷却介入に慣れるため、その後の冷却介入の有効性が低下する可能性が示唆されている²³⁾。したがって、本研究の知見も踏まえ、ペルチェ素子を用いたネッククーラーによる頸部冷却において運動の後半時にも温熱感覚を改善するには、間欠的な装着や継続的な装着における冷却媒体の温度変化を加える必要がある。実際にネッククーラーによる頸部冷却において、ネッククーラーを適宜交換した場合、温熱感覚の改善が報告されている¹⁵⁾。

暑熱下運動中における頸部冷却による主観的感覚の改善は不快感を軽減し¹⁷⁾、持久性運動能力の低下を抑制することが確認されている²⁴⁾。加えて、先行研究において頸部冷却の使用はより複雑な認知能力の改善をすることを報告している²⁵⁾が、Ando et al. (2015)は頸部冷却による認知機能の改善には熱負荷の低減の必要性を示している²⁶⁾。これはアイススラリー摂取による体内冷却の先行研究においても見解が一致している²⁷⁾。これらの知見はペルチェ素子を用いたネッククーラーによる頸部冷却はアイススラリー摂取による体内冷却と同様に認知機能(全身反応時間)の改善に対する熱負荷の低減には限定的であることを示唆した。

結 論

本研究で使用したペルチェ素子を用いたネッククーラーによる頸部冷却はアイススラリー摂取による体内冷却と比較して、運動時の冷却部位の皮膚温を低下させ、運動前半において温熱感覚を改善した。一方で、アイススラリー摂取による体内冷却はペルチェ素子を用いたネッククーラーによる頸部冷却と比べて直腸温の上昇の抑制が観察された。したがって、本研究で用いたペルチェ素子を用いたネッククーラーによる運動時の頸部冷却の有用性は限定的であり、暑熱障害の予防の観点

からは更なる身体冷却法の使用が必要であることが示唆された。

謝 辞

実験に協力してくださった福山市立大学の学生の皆様に感謝申し上げます。

本研究を遂行するにあたり、助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に心よりお礼申し上げます。

文 献

- 1) 総務省 (online) 令和 6年 (5~9月) の熱中症による救急搬送状況. https://www.soumu.go.jp/main_content/000974432.pdf, (参照日 2025年 2月 28日)
- 2) Bongers C., de Korte J.Q., Eijsvogels T., Infographic. Keep it cool and beat the heat: cooling strategies for exercise in hot and humid conditions., *Br. J. Sports Med.*, (2020)
- 3) Chaen Y., Onitsuka S., Hasegawa H., Wearing a Cooling Vest During Half-Time Improves Intermittent Exercise in the Heat., *Front Physiol.*, 10:711 (2019)
- 4) Naito T., Saito T., Ohhashi M., Hayashi S., Recovery with a fan-cooling jacket after exposure to high solar radiation during exercise in hot outdoor environments., *Front Sports Act. Living*, 5:1106882 (2023)
- 5) 西村崇宏・唐澤洋之・瀬尾明彦・土井幸輝. ヒト手掌部での温度感覚による仮現運動において温度刺激の揭示時間と SOAが発生率に及ぼす影響の評価. 日本感性工学会論文誌. 11 (3) 475-481 (2012)
- 6) Bright F.M., Chaseling G.K., Jay O., Morris N.B., Self-paced exercise performance in the heat with neck cooling menthol application, and abdominal cooling., *J. Sci. Med. Sport.*, 22:371-7 (2019)
- 7) Galpin A.J., Bagley J.R., Whitcomb B., Wiersma L.D., Rosengarten J., Coburn J.W., Judelson D.A., Effects of intermittent neck cooling during repeated bouts of high-intensity exercise., *Sports.*, 4:38 (2016)
- 8) Chen J., Takasu R., Tanaka H., Comfort associated with local cooling in a hot environment: verification of Peltier device cooling., *Adv. Exerc. Sports Physiol.*, 27 (3) :45-54 (2021)
- 9) Zuo J.M., E. A., Heat Transfer Characteristics of Sports Apparel., *Journal of ASTM International*, 1 (10) : 10 (2004)
- 10) ISO. Ergonomics of the physical environment — Subjective judgement scales for assessing physical environments. ISO 10551. 28 (2019)
- 11) Bedford T., The warmth factor in comfort at work: a physiological study of heating and ventilation., *Ind. Health Res. Board.*, 76:iv+102 (1936)
- 12) Borg G.A., Psychophysical bases of perceived exertion., *Med. Sci. Sports Exerc.*, 14 (5) : 377-81 (1982)
- 13) Ramanathan N.L., A New Weighting System for Mean Surface Temperature of the Human Body., *J. Appl. Physiol.*, 19:531-3 (1964)
- 14) Naito T., Iribe Y., Ogaki T., Ice ingestion with a long rest interval increases the endurance cycling capacity and reduces the core temperature in the heat., *J. Physiol. Anthropol.*, 36:9 (2017)
- 15) Zhu L., Theoretical evaluation of contributions of heat conduction and countercurrent heat exchange in selective brain cooling in humans., *Ann. Biomed. Eng.*, 28:269-77 (2000)
- 16) Cao Y., Lei T.Z., Wang F., Yang B., Mundel T., Head, face and neck cooling as per cooling (cooling during exercise) modalities to improve exercise performance in the heat: a narrative review and practical applications., *Sports Med. Open.*, 8:16 (2022)
- 17) Ruddock A., Robbins B., Tew G. Bourke L. Purvis A. Practical cooling strategies during continuous exercise in hot environments: a systematic review and meta-analysis., *Sports Med.*, 47:517-532 (2017)
- 18) DuBois D., DuBois E.F., A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known., *Archives of Internal Medicine*, 17:9 (1916)
- 19) Stevens J.C., Choo K.K., Temperature sensitivity of the body surface over the life span., *Somatosens. Motor. Res.*, 15 (1) : 13-28 (1998)
- 20) Cotter J.D., Taylor N.A.S., Distribution of cutaneous sudomotor and alliesthesial thermosensitivity in mildly heat-stressed humans: an open-loop approach., *J. Physiol.*, 565:335-345 (2005)
- 21) Villanova N., Azpizoz F., Malagelada J.R., Perception and gut reflexes induced by stimulation of gastrointestinal thermoreceptors in humans., *J. Physiol.*, 501:215-22 (1997)

- 22) Kozyreva T.V., Adaptation to cold of homeothermic organism: Changes in afferent and efferent links of the thermoregulatory system., *J. Exp. Integr. Med.*, 3:255–265(2013)
- 23) Desai T., Bottoms L., Neck cooling improves table tennis performance amongst young national level players., *Sports.*, 5:19(2017)
- 24) Douzi W., Dugue B., Vinches L., Sayed C.A., Halle S., Bosquet L., Dupuy O., Cooling during exercise enhances performances, but the cooled body areas matter: A systematic review with meta-analyses., *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 29 (11) : 1660-1676 (2019)
- 25) Lee J.K.W., Koh A.C.H., Koh S.X.T., Liu G.J.X., Nio A.Q.X., Fan P.W.P., Neck cooling and cognitive performance following exercise-induced hyperthermia., *Eur. J. Appl. Physiol.*, 114:375-384 (2014)
- 26) Ando S., Komiyama T., Sudo M., Kiyonaga A., Tanaka H., Higaki Y., The effects of temporal neck cooling on cognitive function during strenuous exercise in a hot environment: a pilot study., *BMC Res. Notes.*, 8:202(2015)
- 27) Saldaris J.M., Landers G.J., Lay B.S., Zimmermann M.R., Internal precooling decreases forehead and core temperature but does not alter choice time during steady state exercise in hot, humid conditions., *J. Therm. Biol.*, 66-72(2019)