

高濃度人工炭酸泉浴における浸漬部位の違いが身体冷却に及ぼす影響

田中 佑季*・長野 央歩*・田井村 明博*

DIFFERENCES IN BODY COOLING ACCORDING TO THE PARTS IMMERSSED IN HIGH-CONCENTRATION ARTIFICIAL CARBONIC ACID WATER BATHING

Yuuki TANAKA, Hisaho NAGANO, Akihiro TAIMURA

Abstract

The purpose of this study is to examine differences in body cooling according to the parts immersed in high-concentration artificial carbonic acid water.

The subjects' core (tympanic) temperature was increased by a pedal ergometer. They then immersed their hands or hands and forearms in stirred 25°C carbonic acid water. The decrease in tympanic temperature was observed.

There was no significant difference in the decrease in tympanic temperature between the two conditions.

The results suggest that immersing the hands in carbonic acid water might reduce core temperature elevated by exercise heat production/environmental heat stress to the same extent as immersing the forearms.

キーワード: 身体冷却, 核心温, 高濃度人工炭酸泉, 浸漬部位, 動静脈吻合

Key words: *Body Cooling, Core temperature, Artificial Carbonic Acid Water, Immersion Part, Arterio-venous Anastomoses*

1. 緒 言

近年、地球温暖による平均気温の上昇に伴い、夏季の熱中症患者の増加が深刻な問題となっている¹⁾。高温、高湿環境が熱放散効率を低下させ熱中症の危険度が高まると考えられており、高体温時の迅速な対応が重要である。身体冷却には様々な方法があり、水浴²⁾⁻⁴⁾、ファンクーリング⁵⁾⁶⁾、アイスパックによる冷却⁶⁾、アイススラリー摂取⁷⁾⁸⁾などがある。それらの中でも水浴は冷却効果が大きいことが知られている⁹⁾。

高濃度人工炭酸泉には皮膚血管収縮抑制作用があり、浸漬部の皮膚血流量を高く維持することから、皮膚温より低温の高濃度人工炭酸泉浴が深部熱を皮膚表面に循環させ熱放散を促進する可能性が報告されている¹⁰⁾。

運動後の水温 20°C の高濃度人工炭酸泉前腕浴では、身体が耐寒反応を起こし皮膚血管が収縮してしまい核心部に熱が蓄積する可能性¹¹⁾、水温 33°C の高濃度人工炭酸泉前腕浴では、水温が高すぎるため核心温は低下せず、浸漬部位が不快に感じる事が報告されている¹²⁾。

そこで田中らはこれらの水温の中間領域として 30°C と 25°C で下腿浴を行い、いずれの水温条件においても炭酸泉浴の方が真水浴より浸漬部の皮膚血流量を高く維持しつつ、耐寒反応も抑制し、身体冷却が可能であることを明らかにした¹³⁾。さらに、25°C の炭酸泉に下腿部より表面積の小さい前腕部を浸漬させた実験においても同温の真水浴と比較して浸漬部の皮膚血流量を高く維持し、暑熱環境暴露や運動により上昇した核心温を低下させることを報告している¹⁴⁾。

浸漬部位に関しては表面積がより大きい方が核心温をより低下させることが報告されている¹¹⁾¹⁵⁾。DeGroot ら¹⁶⁾は身体冷却に関する多くの研究をレビューし、真水の冷水 (10°C または 20°C) 浸漬では、浸漬

* 長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科
Graduate School of Fisheries and Environmental Sciences, Nagasaki University

した四肢のサイズ / 表面積に応じて深部温の低下が大きくなること、手部や前腕部の浸漬は、靴脱ぎを要する足部浸漬より容易に冷却できること報告している。

一方、ヒトの皮膚には、手掌や足底、指爪床部などの無毛部皮膚に動静脈吻合 (Arteriovenous Anastomoses: AV) が存在している¹⁷⁾。ヒトの四肢の熱放散量が手足の AVA の血流量に依存する¹⁸⁾ という報告から、AVA の存在する手部の冷却は効果が大きく、冷却の方法が簡便であることから注目されている。

本研究では、25℃の高濃度人工炭酸泉による前腕浴と手部浴で核心温の低下の程度を比較し、高濃度人工炭酸泉浴における身体冷却の部位差について検討することを目的とした。

2. 方法

2.1 被験者

被験者は健康な男子学生 6 名 (年齢: 22.5 ± 2.0 歳) であった。

全ての被験者に対し、事前に実験の詳細を書面と口頭にて説明し、書面にて実験参加への同意を得た。実験直前に被験者の健康状態を確認した後、実験を開始した。本研究は長崎大学環境科学部・環境保全設計学系倫理委員会の承認を得て行なった。

2.2 実験条件

実験は室温 30℃、相対湿度 70% に設定した人工気象室内で行なった。被験者には、半袖 T シャツと半ズボンを着用させた。また、測定前日の飲酒と激しい運動を禁止し、当日の測定開始二時間前からは、絶飲食状態とした。

運動により被験者の核心温を上昇させた後、水温 25℃の高濃度人工炭酸泉 (以後、炭酸泉と表記) に両手部または両手部と両前腕部を浸漬させるプロトコルとした。浴槽内には渦流を起こす条件で行なった。

実験は温熱的に身体に負担が少ない秋季に実施した。

2.3 実験方法

実験前に自転車エルゴメーター (エアロバイク 75XL, Combi 社製) によって、各被験者の最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) を推定した。

被験者は手部のみを浸漬させる炭酸泉手部浴条件 (以後、H と表記) を 1 回、比較対照として手部と前腕部を浸漬させる炭酸泉前腕浴条件 (以後、HF と表記) を 1 回の計 2 回の実験を 1 日以上 (最長 7 日) の間隔をおいて行った。各実験において被験者を、H を先に行なう群と HF を先に行なう群にわけクロス

オーバーデザインとした。

2.4 実験手順

人工気象室の環境に慣れるために、被験者には少なくとも実験開始 30 分前までに入室してもらい、測定開始までの間に各測定部位に血流計プローブ及びサーミスタセンサ、赤外線センサ、心拍計を装着した。各測定値が安定したのを確認後、測定を開始した。

5 分間の安静後、自転車エルゴメーターによって 20 分間のペダリング運動を行なわせた。運動負荷はペダリング運動を始めて 5 分後に各被験者別に推定した最大酸素摂取量の 50% の仕事率 (PWC50% $\dot{V}O_{2max}$) になるよう設定した。ペダリング運動後 1 分間クールダウンとして軽くペダリング運動をした後に 2 分間で自転車エルゴメーターから椅子へと移動し着座させた。その後、両手または両前腕を炭酸泉へ 20 分間浸漬させた。出浴後は浸漬した部位をタオルで拭き、浸漬終了後 10 分までの経過を測定した (Fig. 1)。

炭酸泉は人工炭酸泉製造装置 (CARBO THERA mini, 三菱レイヨン・エンジニアリング社製) により、1000 ppm 以上 (pH < 5.0) に調整した。

全ての実験において水温の管理は浸漬の直前まで行った。水槽内には渦流を起こした。渦流は恒温水槽 (TR2, 井内盛栄堂株式会社製) に付属しているヒーターの攪拌ポンプ (噴流攪拌式 最大吐出量: 10L/min 最大揚程: 1.4m) に依存した。

2.5 測定項目

皮膚血流量

レーザー・ドップラー血流計 (ALF21D, アドバンス社製) を用いて左手背と左前腕部の 2 箇所を、5 秒ごとに測定した。

皮膚温

サーミスタセンサ (RXK67, TECHNO SEVEN 社製) を用いて左手背と左前腕部を 5 秒ごとに測定した。

心拍数

ハートレイトモニター (ポラール社製) を用いて 1 分ごとに測定した。

核心温 (鼓膜温)

耳栓型温度サーミスタセンサ (耳栓型センサ, Gram 社製) と耳赤外線体温計 (CE サーモ, ニプロ社製) を用いて鼓膜温を 5 秒ごとに測定した。

温度感覚

「手部」または「前腕」(浸漬部位) と「全身」について、実験開始直後から 0、4、27、29、35、40、47、49、55、58 分後の計 10 回聞き取りを行った。0.0 「耐えられないほど冷たい」から 4.0 「普通」、8.0 「耐えられないほど熱い」の 17 段階で評価した。

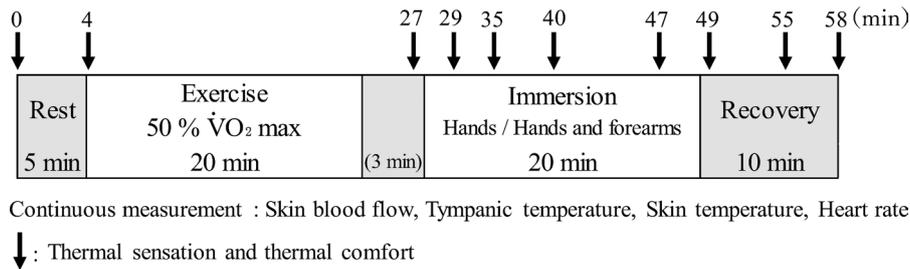


Fig. 1 Experiment protocol

Subjects were asked to rest on an exercise bike for 5 minutes and then pedal for 20 minutes, then continued pedaling for 1 minute to cool down. After this time, the subjects sat on a chair, and immersed forearms or hands in CO₂ water at 25°C for 20 minutes. After immersion, subjects removed their immersion parts from the bathtub and rested for 10 minutes.

温度快適性

「手部」または「前腕」（浸漬部位）と「全身」について、実験開始直後から0、4、27、29、35、40、47、49、55、58分後の計10回聞き取りを行った。1.0「心地よい」から3.0「普通」、5.0「不快」の9段階で評価した。

発汗量

実験の前後に体重計（ID 1 Plus; Mettler Toledo 社製）を用いて体重を測定した。測定した実験前後の体重差を算出し、発汗量を推定した。

2.6 分析方法

データロガー（LS200 及び LT8, Gram 社製）を介してパソコン上に取り込み保存した皮膚血流量、鼓膜温及び皮膚温のデータは1分ごとに平均値を求めた。皮膚血流量と心拍数は安静時5分間の平均値を100%とした1分毎の相対値に変換し、運動後半5分間（20～24分）及び浸漬後半5分間（43～47分）の平均値を求めた。皮膚温は浸漬後半5分間（43～47分）の平均値を求めた。鼓膜温の変化量は運動直前（4分）と運動終了時（24分）の差及び浸漬直前（27分）と浸漬終了時（47分）の差を求めた。鼓膜温、皮膚温、皮膚血流量、心拍数は、繰り返しのある二要因分散分析及びウィルコクソン符号付順位和検定、発汗量、温度感覚、温度快適性はウィルコクソン符号付順位和検定を用いた。本研究における統計的有意差は危険率5%未満を有意とした。統計解析には Excel StatcelQC software (version 2016 for Windows) を用いた。

3. 結果

被験者の身体的特徴

身長：169.6±7.3cm、体重：62.0±6.1kg、体脂肪率：13.7±7.7%、BMI：21.6±1.5、 $\dot{V}O_2$ max：48.1±7.5ml/

min/kg、PWC50% $\dot{V}O_2$ max：128.6±20.6Wであった。

皮膚血流量

左手部では運動によりHで750.06±468.16%、HFで593.39±202.12%上昇した。条件間に有意差は認められなかった。浸漬中、両条件で安静時よりも高く推移しており、浸漬後半5分間はHが238.44±50.77%、HFが259.29±92.86%となり、条件間に有意差は認められなかった（Fig. 2A、B）。

左前腕では運動によりHで708.67±221.98%、HFで611.19±131.51%上昇した。条件間に有意差は認められなかった。浸漬後半5分間はHが205.09±60.80%、HFが288.17±90.89%となったが、条件間に有意差は認められなかった（Fig. 2C、D）。

鼓膜温 (n=5)

安静時はHが37.57±0.39℃、HFが37.52±0.36℃であった。運動によりHでは0.62±0.17℃、HFでは0.59±0.17℃上昇したが条件間に有意差は認められなかった（Fig. 3A）。浸漬直後から鼓膜温が低下し、浸漬直前と浸漬終了直後の鼓膜温の差はHが-0.74±0.13℃、HFが-0.61±0.22℃で、条件間に有意差は認められなかった。（Fig. 3B）。

皮膚温

安静時の左手部の皮膚温はHが35.07±0.42℃、HFが35.08±0.46℃であった。運動によりHでは0.99±0.37℃、HFでは0.99±0.46℃上昇し、浸漬後半5分間はHが27.21±0.27℃、HFが27.49±0.58℃で、条件間に有意差は認められなかった。

安静時の左前腕部の皮膚温はHが34.44±0.74℃、HFが34.46±0.63℃であった。運動によりHでは1.74±0.34℃、HFでは1.39±0.83℃上昇し、条件間に有意差は認められなかった。浸漬後半5分間はHが32.75±0.15℃、HFが27.31±0.52℃であった。

心拍数

安静時の心拍数はHで84.7±12.4bpm、HFで80.7

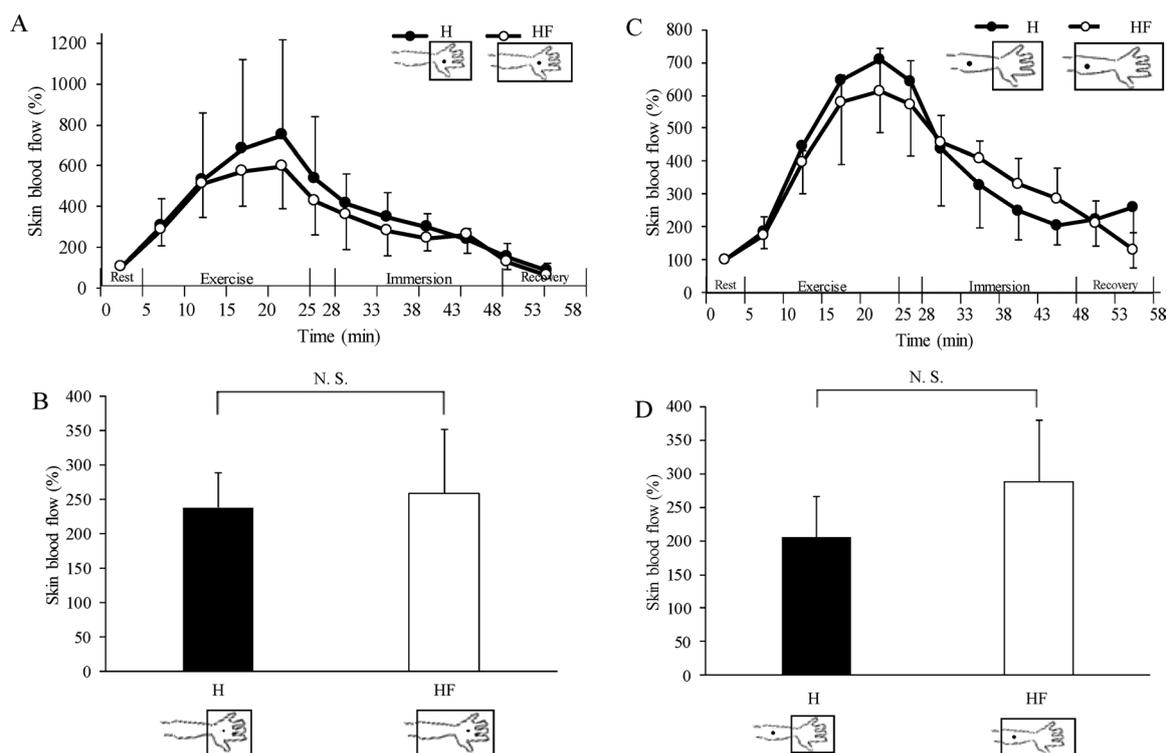


Fig. 2 Skin blood flow of left hand (A, B) and forearm (C, D), H: Hand immersion, HF: Hand and forearm immersion.

Time-course of skin blood flow of left hand (A) and forearm (C) during the experiment.

Skin blood flow relative to the resting value for the last 5 minutes during immersion.

There was no significant difference between conditions.

All values are expressed as mean \pm standard deviation.

± 12.4 bpmであった。運動終了直前5分間はHが 158.9 ± 10.3 bpm、HFが 155.1 ± 9.8 bpmに上昇し、条件間に有意差は認められなかった。浸漬終了前5分間はHが 81.4 ± 10.5 bpm、HFが 81.4 ± 12.8 bpmで条件間に有意差は認められなかった。

温度感覚 (浸漬部)

安静時はH: 4.3 ± 0.3 、HF: 4.3 ± 0.6 であった。運動により両条件ともに上昇し、H: 6.4 ± 1.1 、HF: 6.1 ± 1.0 となった。浸漬開始12分後(40分)において、H (2.6 ± 0.8)とHF (2.9 ± 0.8)はほぼ同じ温度感覚であった。浸漬19分後(47分)、HF (3.4 ± 0.5)はH (2.8 ± 1.0)よりもやや温かく感じる結果となったが有意差は認められなかった。

温度快適性 (浸漬部)

安静時はH: 3.3 ± 0.3 、HF: 3.3 ± 0.3 であった。運動によりH: 4.3 ± 0.6 、HF: 4.2 ± 0.7 となり両条件でやや不快と感じていた。浸漬開始12分後(40分)において、H (2.3 ± 0.6)とHF (2.3 ± 0.8)はほぼ同じ温度快適性であった。浸漬19分後(47分)も、HF (2.3 ± 0.6)はH (2.3 ± 0.6)と同じ温度快適性であった。

発汗量

実験前後の体重の変化は条件間で差は認められなかった (H: 0.36 ± 0.08 kg, HF: 0.36 ± 0.07 kg)。

4. 考 察

皮膚温より低温の高濃度人工炭酸泉浴では、同温度の真水浴と比較して浸漬部の皮膚血流量を高く維持できることから上昇した核心温を低下させる可能性が報告されている¹⁹⁾²⁰⁾。

本研究では、25℃の高濃度人工炭酸泉による手部浴と前腕浴で運動中に上昇した核心温の低下の程度を比較し、高濃度人工炭酸泉浴における冷却の部位差について検討することを目的とした。浸漬部である左手部の皮膚血流量は両条件で運動によって上昇し、浸漬開始後、徐々に減少したが、浸漬後半5分間においても浸漬終了まで安静時の約2倍の値を示した。これは炭酸泉浴の皮膚血管収縮抑制効果を報告している先行研究¹⁹⁾²⁰⁾の結果を支持した。左前腕部の皮膚血流量は浸漬中両条件で安静時よりも高い値を示し、ややHFが高く推移したが条件間に有意差は認められなかつ

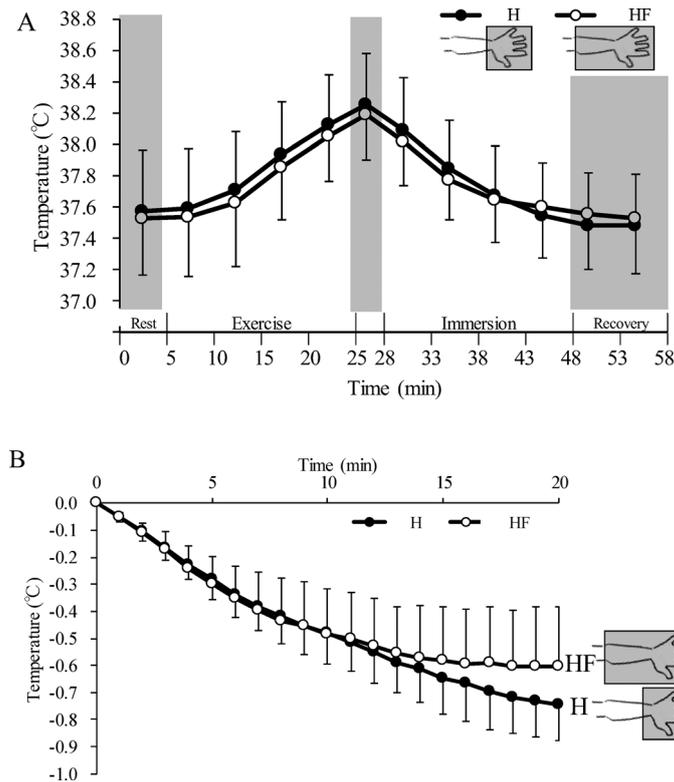


Fig. 3 Tympanic temperature, H: Hand immersion, HF: Hand and forearm immersion. Time-course of tympanic temperature during the experiment (A). Changes in tympanic temperature from before immersion (B). There was no significant difference between conditions.

た。Hにおいて非浸漬部である前腕部の皮膚血流量がHFと差がないことから、炭酸泉に手部を浸漬させることでAVAを含めた血管拡張作用が働き、手部で増加した血流が核心部へ戻るための血流量も大きくなり非浸漬部である前腕部の血流量も維持されると考えられた。HでHFと同等の熱放散が可能であることが示唆された。

運動によって上昇した鼓膜温は、両条件どちらにおいても浸漬によって低下したが、浸漬直前と浸漬終了時の鼓膜温の差を比較すると、両条件間に有意差は認められなかった。Hは浸漬部位の表面積が小さいにもかかわらずHFと同程度に鼓膜温を低下させた。この理由の一つとして四肢末端に多く存在するAVAの存在が大きいと考えられた。ヒツジを中性環境温(20°C)から中程度の暑熱環境(40°C)に移した際引き起こされる全身の血流分布の変化について、AVAの割合は1%から40%に上昇することが報告されており²¹⁾、ヒトの四肢の熱放散量は手足のAVAの血流量に依存する¹⁸⁾ことから、AVAが存在する手部が熱放散の大きな役割を担っている。さらに、浸漬部位である手部と前腕の冷点密度の違いや表面積の大きさも理由の一つと考えられた。前腕は表面積が大きい²²⁾ことに

よって冷点の数も多く²³⁾冷感を感じやすいと推察されるので、25°Cの水温で表面積の大きい前腕まで浸漬させると耐寒反応を起こしやすいと考えられる。耐寒反応として皮膚血管が収縮することで伴行静脈の血流量が上昇し、核心部に戻る血液が対向流性熱交換により温められながら核心部に戻ったため、核心温が低下抑制されたがと推察された。これらのことから、炭酸泉に手部のみを浸漬させることで前腕部までの浸漬と同等に冷却できることが示唆された。DeGrootら¹⁶⁾は真水の冷水による四肢浸漬では、浸漬した四肢のサイズ/表面積に応じて冷却の程度が大きくなること、また、前腕までの浸漬は手部や足部のみの浸漬よりその効果が大きいことを報告している。一方、運動によって上昇した核心温の低下の程度について、Tanaka et al.¹⁴⁾は水温25°Cの炭酸泉前腕浴が同温の真水浴より核心温が有意に低下し、冷却の程度が大きいことを報告している。浸漬部位による冷却程度の違いについて、水温条件、真水浴/炭酸泉浴条件も加え、より詳細な検討が必要である。

活動中の筋肉の周囲の冷却は、運動中の体温の上昇を抑制できる部位であると考えられており、運動中の核心温の上昇を抑制することができる。ただし、活動

中の筋肉の周りの過度な冷却は、活動中の筋肉の温度を低下させ、運動パフォーマンスに悪影響を与える可能性がある²⁴⁾。本研究で行った手部浴は運動の主な活動筋である下肢や上肢の筋温を下げることなく核心温を下げ、活動筋温を保持しパフォーマンスを維持できると推察される。

組織の損傷と生理学的機能不全の程度は、高体温の程度だけでなく、高体温状態である時間にも依存する²⁵⁾ことから、高体温への対応として核心温を平温まで下げることが必要である。先行研究では同じ温度と時間で真水浴と比較して、炭酸泉浴で有意に鼓膜温(耳内温)が低下した¹³⁾¹⁴⁾。この結果は、炭酸泉浴が真水浴よりも核心温を下げることを示唆しており、炭酸泉浴の熱中症対策としての有効性も示唆している。本研究では、浸漬部の皮膚温、心拍数、温度感覚、温度快適性、発汗量は両条件間においても有意差は認められず、浸漬部位条件として炭酸泉手部浴が炭酸泉前腕浴より小さい浸漬面積でも、同等に冷却できることが示唆された。

5. 研究の限界

本研究では、25℃の高濃度人工炭酸泉による前腕浴と手部浴で運動中に上昇した核心温の低下の程度を比較し、高濃度人工炭酸泉部分浴における身体冷却の部位差について検討を行った結果、手部浴では浸漬面積は小さいが、前腕浴と同等に冷却できることが示唆された。同温度の炭酸浴と真水浴の比較を行った先行研究¹⁴⁾では、炭酸浴で浸漬部の血流量が高く、深部温が有意に低下し、炭酸浴による冷却効果が高いことが報告されている。また、プレクーリング効果を検討した研究⁹⁾において、手部、足部及びビクールベストを併用した条件と冷却しないコントロール条件との比較実験において、深部温が有意に低値を示し、プレクーリング後の歩行運動中も有意に低値であったことが報告されている。しかし、本研究では真水浴及び運動後に冷却を行わないコントロール条件との比較実験を行っておらず、手部または前腕部の浸漬において、真水浴及びコントロール条件と比較して、どの程度の冷却が得られるのかが不明である。また、本研究の結果では発汗量の違いは認められなかったが、浸漬しないコントロール条件では、発汗による冷却効果が高まることで冷却に差が認められない可能性も考えられる。今後は、より実用的で簡便な冷却方法について検討するため、被験者を増やし、コントロール条件を加え、水温、浸漬部位、炭酸泉の濃度や浸漬時間についても検討する必要がある。

6. 結 論

本研究では、運動中に上昇した核心温の低下の程度について25℃の高濃度人工炭酸泉による手部浴と前腕浴で比較し、高濃度人工炭酸泉浴における冷却の部位差について検討した。その結果、炭酸泉浴25℃における身体冷却の浸漬部位の条件として、表面積の小さい手部浴であっても前腕浴と同等に冷却できることが示唆された。

本研究の結果から、夏季における運動や労働による高体温の状態を休憩時間に高濃度人工炭酸泉手部浴を用いて身体冷却を行うことで、熱中症対策の一つの対策になることが期待される。

《謝 辞》

お忙しい中、快く協力してくださった被験者の皆様のおかげで本実験を行うことができましたこと、心より感謝申し上げます。また、研究室のメンバーを含む本研究に関わり支えてくださった全ての方に厚く御礼申し上げます。

《引用文献》

- 1) 総務省消防庁. 過去の全国における熱中症傷病者救急搬送に関わる報道発表一覧 (http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/fieldList9_2_1.html) 最終アクセス日2018年9月10日
- 2) Casa DJ, McDermott BP, Lee EC, Yeargin SW, Armstrong LE, Maresh CM. Cold water immersion: the gold standard for exertional heatstroke treatment. *Exerc Sport Sci Rev*, 35: 141-149, 2007
- 3) Taylor NAS, Caldwell JN, Van Den Heuvel AMJ, Patterson MJ. To cool, but not too cool: that is the question—immersion cooling for hyperthermia. *Med Sci Sports Exerc*, 40: 1962-1969, 2008
- 4) Proulx CI, Ducharme MB, Kenny GP. Effect of water temperature on cooling efficiency during hyperthermia in humans. *J Appl Physiol*, 94: 1317-1323, 2003
- 5) Tokizawa K, Sawada S, Oka T, Yasuda A, Tai T, Ida H, et al. Fan-precooling effect on heat strain while wearing protective clothing. *Int J Biometeorol*, 58: 1919-1925, 2014
- 6) Sinclair WH, Rudzki SJ, Leicht AS, Fogarty AL, Winter SK, Patterson MJ. Efficacy of field treatments to reduce body core temperature in hy-

- perthermic subjects. *Med Sci Sports Exerc*, 41: 1984-1990, 2009
- 7) Onitsuka S, Zheng X, Hasegawa H. Ice slurry ingestion reduces both core and facial skin temperatures in a warm environment. *J Therm Biol*, 51: 105-109, 2015
 - 8) Jay O, Morris NB. Does cold water or ice slurry ingestion during exercise elicit a net body cooling effect in the heat? *Sports Med*, 48: 17-29, 2018
 - 9) 時澤健, 岡龍雄, 安田彰典, 田井鉄男, ソンスヨン, 澤田晋一. 暑熱負担を軽減する作業前の実用的かつ簡便な身体冷却方法. *労働安全衛生研究*, 8: 79-82, 2015
 - 10) 大森圭, 宮下智, 古川順光, 吉野直美, 村井真由美, 内田勝雄. 高濃度人工炭酸泉によるクーリングダウン効果. *山形保健医療研究*, 3: 43-47, 2000
 - 11) 長野央歩, Aklima KHATUN, 藤森加奈恵, 國分休, 田井村明博. 低温の人工炭酸泉浴における水温、浸漬部位の違いが体温調節反応に及ぼす影響. *体力・栄養・免疫学雑誌*, 26: 133-135, 2016
 - 12) Taimura A, Matsunami M, Nakagaichi M, Sugawara M. Effects of Highly Concentrated Artificial Carbonic Acid Forearm-Bathing on a Core Temperature Cooling for Hyperthermia. *Med. and Sci. in Sports Exercise*, 42: s542, 2010
 - 13) 田中佑季, 藤森加奈恵, 田井村明博. 運動後の高濃度人工炭酸泉前腕浴の身体冷却効果に関する研究. *日本生理人類学会誌*, 21: 63-71, 2019
 - 14) Tanaka Y, Nagano H, Taimura A. Body cooling effects of immersion of the forearms in high-concentration artificial carbonic acid water at 25°C. *J Physiol Anthropol*, 39: 2, 2020
 - 15) 長野央歩, 田井村明博, 藤森加奈恵. 運動後の人工炭酸泉浴における浸漬部位の違いが生体に及ぼす影響. *日本生理人類学会誌*, 21: 54, 2016
 - 16) DeGroot DW, Gallimore RP, Thompson SM, Kenefick RW. Extremity cooling for heat stress mitigation in military and occupational settings. *J Therm Biol*, 38: 305-310, 2013
 - 17) Grant R, Bland E. Observations on arterio-venous anastomoses in human skin and in the bird's foot with special reference to the reaction to cold. *Heart*, 15: 385-411, 1931
 - 18) 永坂鉄夫, 平田耕造. 四肢の熱放散量は手足のAVA血流量に依存する. *日生氣誌*, 25: 66s, 1988
 - 19) K. L. Schmid, 入來正躬 (訳). 炭酸浴 (炭酸泉). *人工炭酸泉研究会雑誌*, 1: 5-9, 1998
 - 20) 入來正躬. (人工) 高濃度炭酸泉の基礎と臨床. *人工炭酸泉研究会雑誌*, 4: 39-48, 2003
 - 21) Hales JRS, Iriki M. Integrated changes in regional circulatory activity evoked by spinal cord and peripheral thermoreceptor stimulation. *Brain Res*, 87: 267-79, 1975
 - 22) 藤本薫喜, 渡辺孟, 湯川幸一, 坂本淳. 日本人の体表面積に関する研究 第17篇 性・年齢・体型と部位別比率. *日衛誌*, 23: 437-442, 1968
 - 23) Strughold VH, Porz R. Die dichte der kaltpunkte auf der haut des menschlichen korpers. *Z Biol*, 91: 563-571, 1931
 - 24) Oksa J, Rintamaki H, Rissanen S. Muscle performance and electromyogram activity of the lower leg muscles with different levels of cold exposure. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 75: 484-490, 1997
 - 25) Richards R, Richards D, Schofield PJ, Sutton JR. Management of heat exhaustion in Sydney's the sun city-to-surf fun runners. *Med J Aust*, 2: 457-461, 1979

《連絡先》

田井村 明博

〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14

長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科 (環境科学領域) 環境生理学研究室

E-mail : taimura@nagasaki-u.ac.jp

(2020年3月17日受付, 2020年9月30日採用決定, 討論受付期限2021年11月末日)