

令和 3 年 5 月 27 日現在

機関番号：43807

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K10917

研究課題名（和文）炭酸泉を用いた身体冷却法の開発

研究課題名（英文）Development of a body cooling method using carbonated water

研究代表者

林 恵嗣（Hayashi, Keiji）

静岡県立大学短期大学部・短期大学部・教授

研究者番号：00431677

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、低温の炭酸泉を用いることで、効果的に、かつ快適・安全に身体を冷却することができるかどうかについて検討した。その結果、水温30℃で濃度1000ppmに設定した場合、水道水よりも約1.7倍冷却効果が高く、不快感も軽減できることが明らかとなった。しかしながら、水温をより低くしたり、濃度を低くしたりした場合には、冷却効果が水道水と同程度になったり、不快感の軽減効果も見られなくなることが明らかとなった。これらのことから、身体冷却を行う際には、水温や濃度と言った条件を調節する必要があることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

通常、炭酸泉は温浴効果を高めることを目的として使用される。これを、冷却効果を高めること、そして冷却時の不快感軽減を目的として使用する点で独創的な研究である。研究の結果、低温で高濃度の炭酸泉に浸漬することで、水道水に浸漬するよりも早く体温を低下させることができ、さらには不快感も軽減できることが示された。このことは、炭酸泉を用いた身体冷却の方法は、水道水を用いるよりも効果的であり、冷却を施される側の負担軽減にもつながることを示しており、新しい身体冷却方法として提案できるものと期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we investigated whether a low-temperature carbonated water can effectively, comfortably, and safely cool the body. As a result, it was found that when the water temperature was 30°C and the concentration was 1000 ppm, the cooling effect was about 1.7 times higher than that of tap water, and the discomfort sensation was also reduced. However, when the water temperature was lowered or the concentration was lowered, the cooling effect became the same level as that of tap water or the effect of reducing discomfort was no longer observed. These results suggest that it is necessary to adjust the conditions of water temperature and concentration when body cooling is used.

研究分野：運動生理学、環境生理学

キーワード：体温 皮膚血管拡張 熱中症 二酸化炭素

1. 研究開始当初の背景

暑熱環境下(夏季)での運動時には、体温が過度に上昇することがある。この過度な体温上昇は直接的もしくは間接的に運動パフォーマンスの低下を引き起こしたり、熱中症を引き起こしたりする。最近では、健康志向の高まりもあり、老若男女問わず運動やスポーツ活動が盛んに行われているが、近年では熱中症発生件数は増加しており、競技者でなくとも暑熱下での各種スポーツ活動時における安全確保は非常に重要である。さらに、競技者においては、暑熱下においても高いパフォーマンスを発揮せねばならないこともある。したがって、暑熱下において運動能力を高める、もしくは運動能力の低下を抑制する方法を明らかにすることも、健康・スポーツ科学分野において非常に重要であると言える。このように、効果的な暑さ対策を構築することは重要な課題であると言える。

これまで暑さ対策としては、あらかじめ暑さに馴れることで熱放散反応(皮膚血管拡張反応および発汗反応)を高めるといった暑熱順化や、事前に身体を冷却して体温を低下させておくプレクーリング等についての研究が行われ、また実際に行われてもきた。さらには、球技系スポーツのハーフタイムのような運動と運動の合間に行う冷却も、素早く体温を低下させることで暑熱下での運動時においては有用であることが示唆されている。このように、暑さ対策としては、熱放散能力を高める方法と効果的に身体を冷却させる方法が考えられてきた。しかしながら、身体冷却については、冷水に身体を浸漬することから、冷たい・寒いという不快感があることや、皮膚血管が収縮することで急激な血圧上昇が生じるといった欠点があるのも事実である。特に、プレクーリングの場合には、運動前に体温を低下させることから、冷却時間が長くなってしまいうような欠点もある。したがって、不快感を生じさせず効果的に行える身体冷却方法を構築することは、暑さ対策を迫る上で重要な課題の一つと言える。

熱放散反応の一つである皮膚血管拡張反応は、暑熱順化や運動トレーニングによって向上することが明らかとなっている一方で、血液中の二酸化炭素分圧が低下すると抑制されることも明らかとなっている。二酸化炭素(CO₂)は血管拡張作用があることから、血液中の二酸化炭素分圧の低下は皮膚血管拡張を抑制することになる。このことは、血液中のCO₂が多くなると皮膚血管が拡張する可能性を示唆する。皮膚血管内のCO₂濃度を高める方法の一つに炭酸泉(CO₂を含む水)への浸漬があり、実際に、炭酸泉に浸漬すると、皮膚血管が拡張することが明らかとなっている。通常、炭酸泉は皮膚血管拡張を誘発することで、熱移動を起こしやすくして温熱効果を高めることを目的として用いられ、組織酸素分圧を高めることで褥瘡(床ずれ)等の創傷治療を目的として用いられ、あるいは、このようなCO₂による皮膚血管拡張作用によって生じた熱移動が促進された状態を利用すれば、短時間に身体を冷却できる可能性がある(CO₂を含まない冷水に浸漬した場合、低温刺激による皮膚血管収縮が起こることで、断熱作用が働いてしまい効果的に冷却できない)。また、炭酸泉浸漬の特徴として、皮膚血管拡張によって生じる皮膚血流量の増加により、通常の温水よりも暖かく感じられることや、皮膚血管が拡張することで血圧上昇もみられないことが挙げられる。このことは、炭酸泉に浸漬する場合には、CO₂を含まない冷水に浸漬するよりも冷たい・寒いという不快感が生じにくく、急激な血圧上昇のリスクも低くなることを示す。このようなことから、低温の炭酸泉を用いることで、効果的に、かつ快適・安全に身体を冷却することができると考えられる。しかしながら、身体冷却方法の確立を目的として炭酸泉を用いた研究はほとんどなく、低温の炭酸泉浸漬がCO₂を含まない冷水浸漬と比較して、本当に効果的に身体を冷却することができるかどうか、またどの程度のCO₂濃度であると身体冷却が促進されるのか等については明らかでない。

2. 研究の目的

本研究は、皮膚血管拡張反応の特徴と炭酸泉の特徴を利用した新たな身体冷却方法の構築を目指すものであり、低温の炭酸泉への浸漬が冷却手段として効果的であるかどうかを明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、体温が上昇した状態から、低温の炭酸泉浸漬とCO₂を含まない水への浸漬を行い、体温が元の温度に戻るのにどのくらいの差があるかを検討し(実験)、さらに、どの程度のCO₂濃度であれば身体冷却が促進されるのかを検討した(実験)。

【実験】

実験では、体温を1℃程度上昇させた状態から、低温の炭酸泉浸漬とCO₂を含まない水(水道水)への浸漬を行い、体温が元の温度(加温前)まで戻るのに要する時間および冷却速度(冷却時間と体温変化から算出)を比較して、炭酸泉浸漬の有効性を検討した。また、快適感覚(1:快適~4:非常に不快、までの4段階スケール)と温熱感覚(1:寒い~7:暑い、までの7段

階スケール)を測定して、冷却中の感覚を評価した。この実験では、炭酸泉と水道水の温度を 30 にした場合(冷却中にほとんどふるえが生じない水温)(実験 - 1)と、炭酸泉と水道水の温度を 25 にした場合(水道から出る水温に近い温度)(実験 - 2)で、両者の冷却効果を比較した。実験 では、炭酸泉の濃度を 1,000 ppm に設定した。

【実験】

実験 では、実験 と同様に、体温を 1 程度上昇させた状態から、より低い CO₂ 濃度の炭酸泉浸漬(500 ppm)を行い、体温が元の温度まで戻るのに要する時間を比較して、CO₂ 濃度の違いによる冷却効率を評価した。

【本研究で用いる炭酸泉】

本研究では、人工炭酸泉製造装置を利用して濃度 500~1,000 ppm の炭酸泉を生成して用いる。一般的な環境下においては、濃度 1,000 ppm 程度では人体への影響はほとんどないと考えられている。

4. 研究成果

【実験 - 1】

被験者は健康な男性 9 名であった。被験者は、40 の湯(水道水)に 15 分間入浴して体温を上昇させた後、30 の低温炭酸泉(濃度 1,000 ppm)もしくは水道水に浸漬した。低温炭酸泉および水道水への浸漬時間は、体温が入浴前のレベルにまで戻るか、被験者が測定中止を求めるまでとした。入浴および炭酸泉、水道水への浸漬は腋窩の高さまでとした。炭酸泉と水道水への浸漬の順番はランダムにして行った。測定項目は、外耳道温、皮膚温、心拍数、快適感覚、温熱感覚であった。

図 1 に実験中の外耳道温と平均皮膚温の変化を示す。40 の湯への入浴により、外耳道温は 0.6~0.7 上昇した。低温炭酸泉に浸漬していた時間は 9±4 分で、水道水に浸漬していた時間は 14±5 分であった(P < 0.05)。冷却速度は、低温炭酸泉条件で 0.11±0.05 /分、水道水条件で 0.06±0.04 /分であった(P < 0.05)。一方、皮膚温や心拍数には条件間で差がみられなかった。また、冷却 5 分時の快適感覚は炭酸泉浸漬時で 1.2±0.4、水道水浸漬時で 2.1±0.8 であり(P < 0.05)、炭酸泉浸漬の方が快適に感じていた。温熱感覚は、炭酸泉浸漬時で 3.2±1.0、水道水浸漬時で 2.1±0.9 であり(P < 0.05)、炭酸泉浸漬の方が温かく感じていた。

以上のように、炭酸泉濃度が 1,000 ppm の場合、炭酸泉の方が水道水よりも冷却効果が約 1.7 倍高く、低温による不快感が軽減されることが示された。

【実験 - 2】

被験者は健康な男性 9 名であった。被験者は、40 の湯(水道水)に 15 分間入浴して体温を上昇させた後、25 の低温炭酸泉(濃度 1,000 ppm)もしくは水道水に浸漬した。低温炭酸泉および水道水への浸漬時間は、体温が入浴前のレベルにまで戻るか、被験者が測定中止を求めるまでとした。入浴および炭酸泉、水道水への浸漬は腋窩の高さまでとした。炭酸泉と水道水への浸漬の順番はランダムにして行った。測定項目は、舌下温、皮膚温、心拍数、快適感覚、温熱感覚であった。

40 の湯への入浴により、舌下温は 0.8~0.9 上昇した。炭酸泉に浸漬していた時間は 9±4 分で、水道水に浸漬していた時間は 14±5 分であり、炭酸泉浸漬で有意に短くなった(P < 0.05)。冷却速度は、炭酸泉条件で 0.12±0.07 /分、水道水条件で 0.07±0.03 /分であったが、条件

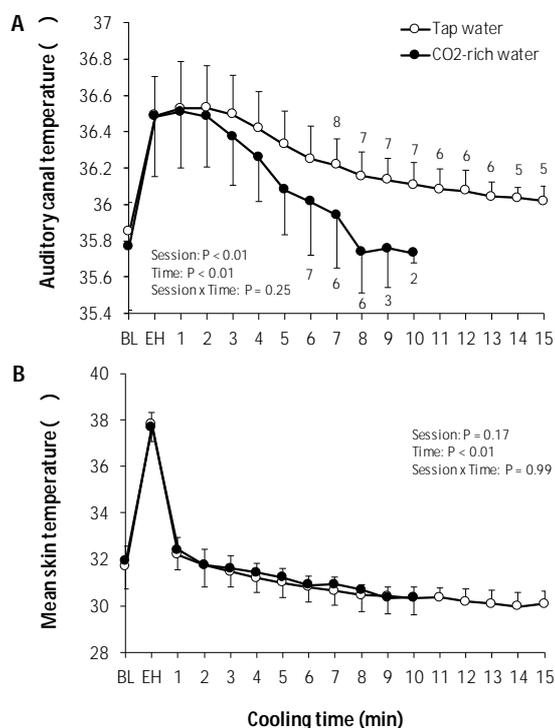


図 1 実験中の外耳道温(A)と平均皮膚温(B)の変化。

図中の数字は冷却中の被験者数を示す。BL はベースライン、EH は加温終了を示す。

間で有意差は見られなかった。しかし、9名中7名で炭酸泉浸漬の方が冷却速度は大きくなった(図2)。皮膚温や心拍数には条件間で差がみられなかった。また、快適感覚および温熱感覚においても条件間で差は見られなかった。

以上のように、水温を25に設定すると、水温30の場合と異なり、冷却速度に有意差がみられなくなった。水温を低下させることで、浸漬直後の皮膚血管収縮の程度が大きくなり、炭酸泉による皮膚血管拡張の効果が出にくくなる可能性が考えられる。しかし、本実験の条件では冷却時間は短時間であることから、冷却前の体温がより高い条件であれば冷却時間が長くなり、差が生じることも考えられる。

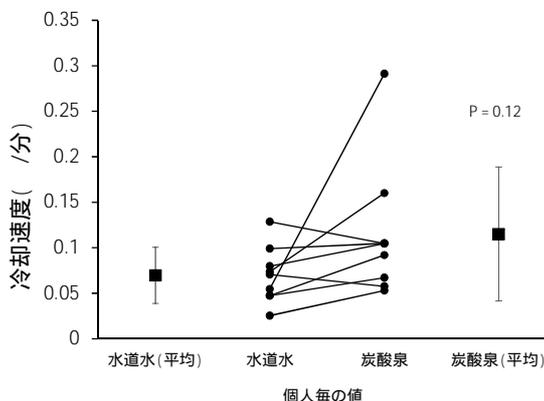


図2. 冷却速度。
両端が平均値を示し、中央が個人の値を示す。

【実験】

被験者は健康な男性10名であった。被験者は、40の湯に15分間入浴して体温を上昇させた後、30の低濃度炭酸泉(500ppm)もしくは水道水に浸漬した。低濃度炭酸泉および水道水への浸漬時間は、体温が入浴前のレベルにまで戻るか、5分以上体温変動がみられないか、被験者が測定中止を求めるまでとした。入浴および炭酸泉、水道水への浸漬は腋窩の高さまでとした。炭酸泉と水道水への浸漬の順番はランダムにして行った。測定項目は、外耳道温、皮膚温、心拍数、快適感覚、温熱感覚であった。

図3に実験中の外耳道温と平均皮膚温の変化を示す。40の湯への入浴により、外耳道温は0.6上昇した。低濃度炭酸泉に浸漬していた時間は 10 ± 6 分で、水道水に浸漬していた時間は 13 ± 6 分であり、条件間で差は見られなかった。冷却速度は、低濃度炭酸泉条件で 0.08 ± 0.04 /分、水道水条件で 0.08 ± 0.06 /分であり、こちらも条件間で差は見られなかった。皮膚温や心拍数にも条件間で差がみられなかった。また、快適感覚および温熱感覚においても条件間で差は見られなかった。

以上のように、炭酸泉の濃度が低くなると、高濃度(1,000ppm)の場合と異なり、炭酸泉による冷却効果や不快感軽減効果は見られなくなることが示された。

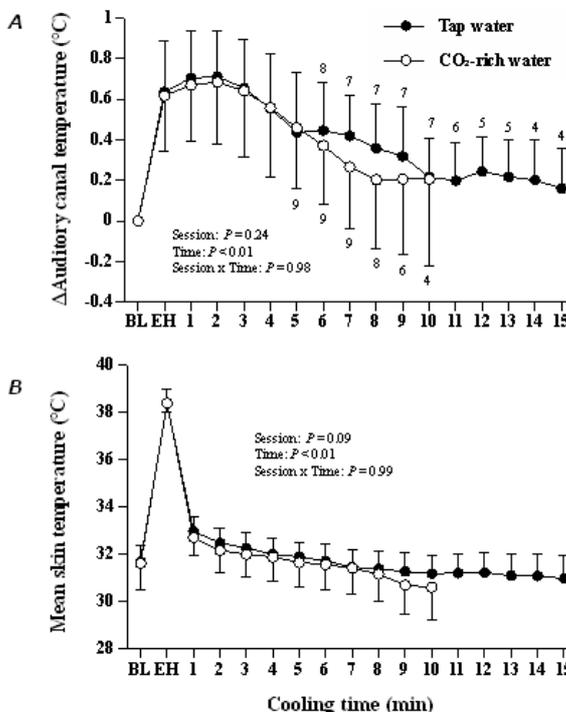


図3 実験中の外耳道温(A)と平均皮膚温(B)の変化。
図中の数字は冷却中の被験者数を示す。BLはベースライン、EHは加温終了を示す。

以上の実験結果から、低温の炭酸泉を身体冷却へ用いることによって、水道水よりも早く体温を低下させ、かつ不快感を軽減できることが明らかとなった。しかしながら、炭酸泉の濃度や水温によっては、効果がみられなくなったり、小さくなったりすることも明らかとなった。今後は、より効果的に冷やせる水温や濃度を明らかにするとともに、条件によって皮膚血管の反応がどのように変化するかを明らかにする必要があると考えられる。本研究によって、次のステップへ進むための新たな情報を得ることができたと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hayashi Keiji	4. 巻 96
2. 論文標題 A novel cooling method using carbon dioxide-rich water after passive heating	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Thermal Biology	6. 最初と最後の頁 102843 ~ 102843
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jtherbio.2021.102843	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Hayashi Keiji, Suekuni Misato, Sugiyama Koji	4. 巻 38
2. 論文標題 Effect of food intake on respiratory chemosensitivity to CO2 in young adults	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physiological Anthropology	6. 最初と最後の頁 8 (1-4)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40101-019-0200-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Hayashi Keiji, Ito Nozomi, Ichikawa Yoko, Suzuki Yuichi	4. 巻 44
2. 論文標題 Effect of food intake on the ventilatory response to increasing core temperature during exercise	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism	6. 最初と最後の頁 22 ~ 30
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1139/apnm-2018-0069	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5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 林 恵嗣
2. 発表標題 低濃度炭酸泉による冷却効果の検討
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川 剛司, 嶋原 耕平, 林 恵嗣, 若林 斉, 西保 岳
2. 発表標題 環境温が低酸素下でのスプリント運動パフォーマンスに及ぼす影響
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林 恵嗣
2. 発表標題 低温炭酸泉による冷却効果の検討
3. 学会等名 第74回日本体力医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keiji Hayashi, Takuya Kanada, Koji Sugiyama
2. 発表標題 Relationship between respiratory chemosensitivity and hyperthermia-induced hyperventilation
3. 学会等名 The 18th International Conference on Environmental Ergonomics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 恵嗣, 金田 拓也, 杉山 康司
2. 発表標題 運動時の体温上昇が呼吸化学感受性に及ぼす影響
3. 学会等名 第73回日本体力医学会大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 麻見 直美、川中 健太郎	4. 発行年 2019年
2. 出版社 羊土社	5. 総ページ数 200
3. 書名 運動生理学	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------