

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：30120

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500678

研究課題名(和文)人工炭酸泉浴が身体の柔軟性を改善させ遅発性筋肉痛を軽減させる可能性の検討

研究課題名(英文) Possibility of artificial CO₂-water bathing to improve the flexibility of the body, reduce the late-onset muscle soreness.

研究代表者

山本 憲志 (Yamamoto, Noriyuki)

日本赤十字北海道看護大学・看護学部・准教授

研究者番号：70299329

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：炭酸泉浴(CO₂ ≥1000 ppm)は浸漬部皮膚の紅潮、皮膚血流の改善などが観察されている。炭酸泉浴の応答において、交感神経活動の減少が筋疲労回復の促進される可能性がある。我々はレジスタンス運動後の筋硬度や筋肉痛といった疲労回復に人工炭酸泉浴が影響を与えるか否かを検討した。レジスタンス運動後3日目に筋硬度は最大となり、その後漸次低下した。水道水浴における筋肉痛は運動後2日目にピークとなり、その後漸次低下した。炭酸泉浴において筋肉痛は3日目に消失した。人工炭酸泉浴は筋疲労からの急速な回復に貢献できる可能性を秘めていることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Clinical observations of CO₂-water immersion revealed the effects, such as an immersed part reddening, skin blood flow improvements, etc. In response to the CO₂-water bath, the reduction of sympathetic nerve activity may imply the facilitation of muscle fatigue recovery. We investigated whether the immersion of extremities including agonist muscles into artificially made CO₂-water influences recovery of muscle hardness and soreness in fatigue after resistance exercise. Maximum muscle hardness lasted for 3 days after exercise irrespective of the kind of bath-water, then decreased gradually to base line. In CO₂-water immersion compared with tap-water immersion, muscle hardness decreased quicker. Muscle soreness in tap-water peaked at the second day, and then reduced gradually. In CO₂-water case, muscle soreness disappeared at the third day. The present results suggest that bathing into artificial high-concentration CO₂-water may contribute to a rapid recovery from the muscle fatigue.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・身体教育学

キーワード：人工炭酸泉 柔軟性 遅発性筋肉痛

1. 研究開始当初の背景

炭酸泉浴の人生理機能に対する効果は、古くからヨーロッパで活用されている。特に、多くの天然炭酸泉が湧き出すドイツでは、炭酸泉浴が末梢循環障害、高血圧症、心臓病などの治療に用いられてきた。しかしながら、その効果をもたらすメカニズムの解析は遅れ、科学的根拠の乏しさが、療法など応用面での普及を妨げている。我が国では天然炭酸泉が非常に少なく、また、源泉付近に研究施設がないため、その実験的解析がほとんど行われていなかった。近年、人工炭酸泉製造装置が開発され、基礎・臨床研究への応用が可能となった。我々はこれまでに、水温35℃では浴水の含有炭酸ガス濃度に依存して皮膚血流量が増加すること、血圧の顕著な変化なしに毎分心拍数を低下させ、人の炭酸泉浴時のモデルとなり得ることを報告した。この心拍数の低下は副交感神経系よりも交感神経系の関与が大きいこと (Hashimoto & Yamamoto, *J Appl Physiol*, 2004)、その情報が神経性に伝達されている可能性が高いことを示すことを報告した。さらに、我々が行った前腕部の人工炭酸泉浸漬で筋血流量の増加を示唆する結果を得ており (Yamamoto & Hashimoto *Jpn J Physiol*, 2008)、全身及び局所のトレーニング後に人工炭酸泉浴を行うと活動筋での筋硬度が低下し、自律神経活動が抑制され疲労回復促進効果がある事が分かった (Yamamoto & Hashimoto *Jpn J Physiol*, 2009)。これは活動筋で蓄積した代謝産物の洗い流しが促進された可能性を示唆する。また、運動後の筋硬度増加の一部に筋の強縮が関与すると報告されており (Spriet LL. et al, *Am J Physiol*, 1989)、人工炭酸泉足浴が - 連関へ作用し筋の柔軟性を増加させる可能性を秘めている。

2. 研究の目的

人工炭酸泉浴が筋組織血流量を増加させ運動後の活動筋の筋硬度を低下させること

から、1) 浸漬による血管弾性を近年の新しい指標である上腕-足首間脈波伝播速度 (brachial-ankle Pules Wave Velocity; baPWV) を用いて検討する。2) レジスタンス・トレーニング後の筋硬度低下のメカニズムを探り、同時に - 連関の関与による筋腱の柔軟性への効果について確認する。3) 高強度運動後に発生する遅発性筋肉痛を軽減させる可能性について検討を行う。

3. 研究の方法

(1)人工炭酸泉入浴前後における上腕-足首間脈波伝播速度 (baPWV) の検討

健康な男子大学生5名を対象に人工炭酸泉入浴前後における上腕-足首間脈波伝播速度 (baPWV) の検討を行った。被検者は椅子座位にて5分間安静の後、浴槽に入り、15分間の水道水全身浴 (35℃、CO₂ ≤ 20ppm, tap) および人工炭酸泉全身浴 (35℃、CO₂ ≥ 1000ppm, CO₂) を、日を改めて行った。入浴前と全身浴後に、血圧脈波検査装置 (form PWV/ABI, オムロンコーリン, 東京) を用いてbaPWVの測定を行った。baPWV法は、四肢 (両上腕、両足首) に巻いた血圧測定カフの容積脈波からPWVを測定する方法である。大動脈弁口-上腕 (Lb)、大動脈弁口-足首 (La) の距離は身長から求める推定式で求め、求めた (La - Lb) を上腕と足首の脈波立ち上がりの潜時差 (t) で除して求めた。さらに、baPWV法は四肢血圧も測定するので、足首、上腕血圧比 (ankle-brachial pressure index: ABI) も同時に計測した (ABI = 足首血圧/高い方の上腕血圧)。また、ECG (マルメーターシステムWEB - 5000、日本光電、東京)、レーザードップラー組織血流計 (ALF-21N, Advance, 東京) を用いて浸漬部と非浸漬部の皮膚血流量は実験を通して連続記録した。安静時、入浴5分毎に主観的温度感覚スケールを用いて温度感覚を測定した。

(2) レジスタンス・トレーニング後の筋硬度低下の検討

健康な成人7名を対象にレジスタンス・トレーニング後の筋硬度低下の検討を行った。筋硬度計 (NEUTONE TDM-NA1, TRY-ALL, 東京) を用いて安静時、運動後、回復後の筋硬度の変動を計測した。同時にレーザードップラー組織血流計 (ALF-21N, Advance, 東京) を用いて浸漬部 ($BF_{\text{immersion}}$) と非浸漬部の皮膚血流量 (BF_{skin}) を測定した。また、筋電図を記録し、トレーニング中の筋活動を測定した。同時にエレクトロゴニオメータ - から関節の可動域を記録した。レジスタンス・トレーニングは自重でのカーフレイズ(爪先立ち運動)とした。筋硬度は立位にて腓腹筋を測定した。その後、椅子座位安静2分の後、高さ2.5 cmのプレート上につま先のみ架けて踵を浮かせて立ち、そこから4秒で足底屈、4秒で足背屈を行った。底屈 - 背屈を1回として100回行った。トレーニング後、10分間の回復期に椅子座位安静で下腿を空气中放置、水道水足浴 (35°C 、 $\text{CO}_2 \geq 20\text{ppm}$)、人工炭酸足浴 (35°C 、 $\text{CO}_2 \leq 1000\text{ppm}$) のいずれかとした。トレーニングは1日1回とし、トレーニングの間隔は2日以上空けた。また、安静時、運動後、回復後の下腿周径囲を計測した。

(3) 高強度運動後に発生する遅発性筋肉痛を軽減させる可能性の検討

健康な男子大学生12名を対象に高強度運動後に発生する遅発性筋肉痛を軽減させる可能性の検討を行った。被検者は各6名ずつ炭酸泉群、水道水群にランダムに分けられた。各被検者には椅子座位5分の後、高さ2.5 cmのプレート上につま先のみ架けて踵を浮かせて立ち、カーフ・レイズ(爪先立ち運動)を4秒足底屈、4秒足背屈のリズムで100回行った。その後、被検者はVAS、筋硬度を測定し、10分間の回復期に椅子座位安静で下腿の、水道水足浴 (35°C 、 $\text{CO}_2 \geq 20\text{ppm}$)、人工炭酸

泉足浴 (35°C 、 $\text{CO}_2 \leq 1000\text{ppm}$) を行った。10分間の足浴終了後に、再びVAS、筋硬度の測定を行った。2日目以降は、5分の椅子座位安静後VAS、筋硬度を測定し、10分間下腿の水道水足浴 (35°C 、 $\text{CO}_2 \geq 20\text{ppm}$)、人工炭酸泉足浴 (35°C 、 $\text{CO}_2 \leq 1000\text{ppm}$) を実施し、その後再びVAS、筋硬度の測定を行った。

4. 研究成果

人工炭酸泉入浴前後における baPWV を検討した実験では、全被検者において人工炭酸泉浴で顕著な皮膚の紅潮が確認され、浸漬部皮膚血流量の有意に増加した (3.2 ± 0.8 vs $6.9 \pm 3.3 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 100\text{g}^{-1}$, $p < 0.05$)。また、tap に比べ CO_2 の方が暖かいとの報告した被検者が4名、1名は温度感覚に変化はなかった (0.4 ± 0.6 vs 1.2 ± 0.8 , $p < 0.05$)。全身浴後の baPWV は左右ともに CO_2 の方が高い傾向であった (左; 1141.8 ± 49.0 vs $1234.6 \pm 66.6 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, 右; 1148.6 ± 32.5 vs $1234.0 \pm 59.5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$)。また、ABI は入浴前後で顕著な変化は見られなかった (左; 1.10 ± 0.07 vs 1.14 ± 0.06 , 右; 1.13 ± 0.07 vs 1.12 ± 0.08)。

単回の入浴では、血管弾性の指標に顕著な変化はなかった。我々の先行研究では、 CO_2 浴により運動後の筋硬度や柔軟性が向上した。体の柔軟性と baPWV 値には中高年以降有意な相関関係を示すとの報告がある (Yamamoto, Miyachi, Am J Physiol, 2009)。このことから動脈硬化などに CO_2 連浴とストレッチを負荷することで血管弾性の改善が期待できる。また、伊藤ら (2004) による大分県長湯温泉での被検者の続連浴実験では2週間目で baPWV が有意に減少すると報告されており、人工泉における連続浴の効果は今後の検討課題である。

レジスタンス・トレーニング後の筋硬度低下を検討した実験では、全ての被検者で腓腹筋の筋放電量が漸次増大し、動員される運動単位の増加を示唆した。運動終盤では関節可動域や筋放電量も低下し、疲労と考えられた。

カーフレイズ後の筋硬度と周径囲は、それぞれ 18-44%、1.6-9.2%増加した。回復後、筋硬度と周径囲は低下した。回復期の足浴は水道水よりも炭酸泉足浴で筋硬度が低い値となった。測定を行った全被検者において人工炭酸泉浴で顕著な皮膚の紅潮が確認され、また、水道水に比べ人工炭酸泉の方が暖かいとの内省報告があった。実験条件下の室温・水温では、多くの運動単位を動員する強度の筋活動後の回復期に室温下安静よりも水浴が、それよりもさらに人工炭酸泉浴が筋硬度の低下回復を促進することが明らかとなった。活動筋で蓄積した代謝産物の洗い流しが促進された可能性を示唆した。

一般的に筋肉痛とは、過度な負荷を筋にかけることによって生じる。筋肉痛がある筋は、スティフネス(硬さ)が増し、痛みに対する感受性が高まっており、関節可動域に減少もみられる。筋肉痛の発生メカニズムについては、様々な研究が行われており、乳酸説、筋痙攣説、筋温上昇説、損傷説、活性酸素説などが原因ではないかと言われているが、現在も筋肉痛の原因については明らかとなっていない。炭酸泉についても、現在様々な研究が実施されており、人工炭酸泉浴がヒトの身体に及ぼす影響についても明らかになりつつある。人工炭酸泉浴の効果については、組織の酸素分圧の随伴的上昇と、皮膚血流量の増加とを併せて考えると、炭酸泉浴による組織循環の改善は組織代謝に有意に作用しているものと評価され、浴後の保温作用と相俟って退行性変化に基づく痛み、凝りの改善作用があるなど報告されている。また、運動後に人工炭酸泉浴を行うことで、水道水での足浴よりも、筋硬度の低下・回復を促進することが明らかとなった。さらに近年の研究によると、人工炭酸泉が関節可動域と筋の弾性に与える影響では、筋の弾性は変化しないが関節可動域の角度が増加するということが報告されている。高強度運動後に発生する遅発性

筋肉痛を軽減させる可能性を検討した実験では、12人を水道水群、炭酸泉群にランダムに分け、両群ともに同様のカーフレイズ負荷を実施した。筋硬度の変化をみると炭酸泉群の方が筋硬度は低い値となり、実験3日目の水道水群と炭酸泉群における筋硬度の変化は炭酸泉群が水道水群より有意に低い値となった。このことから、筋硬度の回復において水道水浴より炭酸泉浴の方が有効であることが考えられる。また、4日目の筋硬度の値が両群共に有意な低下を認めた。これは、レジスタンス・トレーニングからの回復過程においては超回復という現象が見られる。それに伴い、筋の弾性が増加し、筋硬度が顕著に低下したのではないかと考えられる。本実験では筋肉痛を、VASを用いて評価した。VASの変化をみると、炭酸泉群の方が低い値となり、実験開始1日目の水道水群と炭酸泉群におけるVASの変化は炭酸泉群が水道水群より有意に低い値となった。このことから、炭酸泉浴を行うことで発生する筋肉痛が水道水群よりも軽減される可能性が示唆された。

一般的に筋肉痛とは、過度な負荷を筋にかけることによって生じる。筋肉痛がある筋は、スティフネス(硬さ)が増し、痛みに対する感受性が高まっており、関節可動域に減少もみられる。筋肉痛の発生メカニズムについては、様々な研究が行われており、乳酸説、筋痙攣説、筋温上昇説、損傷説、活性酸素説などが原因ではないかと言われているが、現在も筋肉痛の原因については明らかとなっていない。炭酸泉についても、現在様々な研究が実施されており、人工炭酸泉浴がヒトの身体に及ぼす影響についても明らかになりつつある。人工炭酸泉浴の効果については、組織の酸素分圧の随伴的上昇と、皮膚血流量の増加とを併せて考えると、炭酸泉浴による組織循環の改善は組織代謝に有意に作用しているものと評価され、浴後の保温作用と相俟って退行性変化に基づく痛み、凝りの改善作用があるとな

ど報告されている。また、運動後に人工炭酸泉浴を行うことで、水道水での足浴よりも、筋硬度の低下・回復を促進することが明らかとなった。さらに近年の研究によると、人工炭酸泉が関節可動域と筋の弾性に与える影響では、筋の弾性は変化しないが関節可動域の角度が増加するということが報告されている。

本研究の結果、運動後に炭酸泉による足浴を行なうことで運動直後の筋の疲労感や違和感、さらには筋肉痛の発生を水道水による足浴よりも微弱化できる可能性を示唆した。これらのことから、炭酸泉による入浴は筋肉痛の発生自体を抑制することはできなかったが、水道水に比べ痛み刺激の感受性を微弱化や筋肉痛の回復が促進される可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

山本憲志、和田匡史：人工炭酸泉浴が運動による筋疲労回復を促進させる可能性。平成25年度電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集 1006-1009, 2013. 査読有

Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto : High concentration artificial CO₂-water immersion facilitates a recovery from muscle fatigue after submaximal exercise. Francisco Maraver & Müfit Zeki Karagülle (Eds). Medical Hydrology and Balneology: Environmental Aspects, 6, 336-337, 2012. 査読有

Masaaki Hashimoto, Naoki Kitao, Noriyuki Yamamoto : Omega-6-eicosanoid may be involved in the cutaneous vasodilatation mechanism of the rat bathing in CO₂-rich water. Francisco Maraver & Müfit Zeki Karagülle (Eds). Medical Hydrology and Balneology: Environmental Aspects, 6, 311-312, 2012. 査読有

Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto : Bathing with CO₂-rich water improved physical flexibility and muscle stiffness in male college students. International Congress of Biometeorology 2011 Proceedings, 1-5, 2011. 査読有

Masaaki Hashimoto, Noriyuki Yamamoto : Physiological evidence in spa-cure:

cutaneous mediators of improved local blood circulation by CO₂-hot spring water bathing. International Congress of Biometeorology 2011 Proceedings, 6-11, 2011. 査読有

[学会発表](計 19 件)

Masaaki Hashimoto, Noriyuki Yamamoto : Candidate mechanism of skin vasodilation caused by contact with high concentration CO₂-water in the anesthetized rat. 第91回日本生理学会大会, 3. 17. 2014, 鹿児島市. J Physiol Sci, 64, S217, 2014.

Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto : High concentration CO₂-water bath may reduce the muscle hardness and soreness after resistance exercise. 第91回日本生理学会大会, 3. 18. 2014, 鹿児島市. J Physiol Sci, 64, S217, 2014.

Noriyuki Yamamoto, Tadashi Wada, Hitoshi Yanagi, Masaaki Hashimoto : Possibility of high concentration CO₂-water immersion to promote a recovery from muscle fatigue after submaximal exercise. 60th Annual Meeting of the American College of Sports Medicine. 5. 29. 2013, Indianapolis, Indiana, USA. Med Sci Sports Exerc, 45 (5): S154-155, 2013.

Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto : Bathing with artificial high concentration CO₂-water affected quiet standing posture control. The International Congress of Physiological Sciences. Birmingham, UK. 7. 23. 2013. IUPS 2013 Abstract Book, 572-573, 2013.

山本憲志、和田匡史、柳等、橋本眞明 : 高濃度人工炭酸泉浴が最大下運動による筋疲労回復を促進させる可能性。第27回身体動作学研究会。8.27. 2013, 草津。

山本憲志、和田匡史 : 人工炭酸泉浴が運動による筋疲労回復を促進させる可能性。平成25年度電気学会電子・情報・システム部門大会。9.5. 2013, 北見。

村木香保、平林菜つ美、中村綾香、深田英磨、山本憲志、橋本眞明 : 麻酔下ラットの人工二酸化炭酸泉炭酸浸漬による骨格筋血流への効果。第52回日本生気象学会大会, 11. 1. 2013, 米子. Jpn. J. Biometeor. 50(3), S31. 2013

山本憲志、橋本眞明 : 人工炭酸泉浴が姿勢制御能に及ぼす影響。第18回人工炭酸泉研究会, 12. 6. 2013, 東京。

Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto : High concentration artificial CO₂-water immersion facilitates a recovery from

muscle fatigue after submaximal exercise. 38th International Society of Medical Hydrology and Climatology. 6.22. 2012. Lanjaron, Granada, Spain.

Masaaki Hashimoto, Naoki Kitao, Noriyuki Yamamoto: Omega-6-eicosanoid may be involved in the cutaneous vasodilatation mechanism of the rat bathing in CO₂-rich water. 38th International Society of Medical Hydrology and Climatology. 6.22. 2012. Lanjaron, Granada, Spain.

山本憲志、橋本眞明、和田匡史: 人工炭酸泉浴が最大下運動によって生じたストレスを軽減できる可能性. 第 67 回日本体力医学会大会, 9.15. 2012, 岐阜. 体力科学 61(6), 684, 2012.

山本憲志、橋本眞明: 高濃度人工炭酸泉入浴前後の上腕-足首間脈波伝播速度の変化. 第 17 回人工炭酸泉研究会, 12. 7. 2012, 東京.

橋本眞明、山本憲志: 動物実験による人工炭酸泉浸漬部の皮膚血流と骨格筋血流の同時計測. 第 17 回人工炭酸泉研究会, 12. 7. 2012, 東京.

山本憲志、橋本眞明: 身体運動後の人工炭酸泉浴が疲労回復を促進させる可能性. 第 25 回身体動作学研究会, 7. 31. 2011, 東京.

山本憲志、竹ノ谷文子: 人工炭酸泉浴がレジスタンス・トレーニング後の筋硬度回復を促進させる可能性. 第19回日本運動生理学会大会, 8. 25. 2011, 徳島. Adv. Exerc. Sports Physiol. 17(2), 80, 2011.

山本憲志、根本昌宏、橋本眞明: 人工炭酸泉全身浴がからだの柔軟性を促進させる可能性. 第 50 回日本生気象学会大会, 11. 5. 2011, 京都. Jpn. J. Biometeor. 48(3), S70. 2011.

山本憲志、橋本眞明: 人工炭酸泉全身浴が持続的運動によるストレスを軽減できる可能性. 第 16 回人工炭酸泉研究会, 12. 2. 2011, 東京.

Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto: Bathing with CO₂-rich water improved physical flexibility and muscle stiffness in male college students. 19th International Congress of Biometeorology, 12. 7. 2011, Auckland, New Zealand.

Masaaki Hashimoto, Noriyuki Yamamoto: Physiological evidence in spa-cure: cutaneous mediators of improved local blood circulation by CO₂-hot spring water bathing. 19th International Congress of

Biometeorology, 12. 7. 2011, Auckland, New Zealand.

〔図書〕(計 1 件)

山本憲志: 健康・運動の科学 予防医学・介護のためのからだづくり. 田口貞善、小野寺孝一、山崎先也 編著、講談社サイエニク、2012. 第 2 章 生活習慣病予防のための運動処方、2.3 生活習慣病予防・改善のための効果的ウォーキング方法、pp.29-37.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 憲志 (YAMAMOTO NORIYUKI)
日本赤十字北海道看護大学・看護学部・准教授
研究者番号: 70299329

(2) 連携研究者

橋本 眞明 (HASHIMOTO MASA AKI)
帝京科学大学・医療科学部・教授
研究者番号: 30156294