

機関番号：30120

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500556

研究課題名 (和文) 人工炭酸泉連浴による筋毛細血管新生と筋持久力向上の可能性

研究課題名 (英文) Possibility of improving muscle endurance and new vessel formation in artificial CO<sub>2</sub>-water bathing

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

研究成果の概要 (和文)：炭酸泉浴は浸漬部皮膚の紅潮、皮膚血管の拡張、皮膚血流量を増加させる。また、冷受容器機能を修飾し、同温の水道水に比べ暖かく感じる。本研究では人工炭酸泉浴が浸漬部筋組織の血流をも増加させる可能性があり、近赤外分光法により筋組織酸素動態、筋血流量を測定し、身体運動のウォームアップ及び疲労回復への効果を探った。その結果、人工炭酸泉連浴により浸漬部の筋血流量、筋酸素消費量は有意に増加し、筋代謝を刺激していた。また、筋持久力の改善が認められた。これらのことから人工炭酸泉浴は筋疲労の回復や筋持久力の向上に貢献するものと考えられる。

研究成果の概要 (英文)：Clinical observations of CO<sub>2</sub>-hot spring immersion revealed the effects, an immersed part reddening, vasodilatation, skin blood flow improvements, etc. Therefore, CO<sub>2</sub>-hot spring was inhibited cold sensation, but increased warm sensation in immersed skin. The present study was investigate to effect of warm-up and recovery from exercise whether CO<sub>2</sub>-water immersion influences local muscle O<sub>2</sub> consumption (MO<sub>2</sub>) and blood flow (BF<sub>muscle</sub>) by using near-infrared spectroscopy (NIRS). Results suggest that the artificial CO<sub>2</sub>-water bathing may increase muscle-blood flow as well as skin blood flow and stimulate the muscle metabolism. Also, muscle endurance of repetitive hand grip exercise was improved. It was suggested that artificial CO<sub>2</sub>-water bathing contributed to recovery of muscle fatigue and improved muscle endurance in human.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、スポーツ科学

キーワード：人工炭酸泉、近赤外分光法、筋持久力、筋毛細血管新生

## 1. 研究開始当初の背景

炭酸泉浴の作用としては皮膚への局所作用と全身作用が知られており、さらに近年の研究

では皮膚から進んで筋への作用が注目されている。本研究では人工炭酸泉浴が浸漬部の皮膚のみならず、筋組織の血流をも増加させる

可能性が示されていることから、近赤外分光法により筋組織酸素動態を測定すると共に、皮膚血流との分離評価を行い、身体運動のウォームアップ及び疲労回復への効果を探る。また、実験用動物を用いた皮下pH測定などにより、皮膚や筋血流への作用メカニズムについて検討を行う。さらに、被検者の人工炭酸泉連浴により、筋血流への作用が血管新生血管内皮増殖因子（Vascular Endothelial Growth Factor：VEGF）を通じて発現している可能性を検討し、同時に、筋持久力に対する影響について検討する。

## 2. 研究の目的

人工炭酸泉浴が浸漬部の皮膚のみならず、筋組織の血流をも増加させる可能性があることから、1) 近赤外分光法により筋組織酸素動態を測定し、皮膚血流との分離評価を行い、筋血流への作用を確認する。2) 被検者の連浴実験により、筋持久力に対する影響、身体運動のウォームアップ及び疲労回復への効果を検討する。3) 微量透析法を用いた皮下のpH測定システムを構築し、人工炭酸泉浸漬部筋組織における血流量増大の重要な作用因子と考えられる炭酸ガスの作用メカニズムを明らかにする。4) 人工炭酸泉連浴による血管新生について、血管内皮増殖因子（Vascular Endothelial Growth Factor：VEGF）の関与を明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) 近赤外分光装置による炭酸泉浸漬部の筋組織酸素動態の検討

血行再建術及び運動療法等の実施が困難な閉塞性動脈硬化症に人工炭酸泉治療が有効であることが報告されている。しかしながら、人工炭酸泉浸漬部の筋組織酸素動態は確認されておらず、筋組織血流及び組織酸素動

態を近赤外分光装置にて検討する。被検者5名を対称に20日間の人工炭酸泉部分浴による筋組織血流量および筋酸素消費量の検討を行う。

### (2) 人工炭酸泉浸漬部皮下のpHの検討

麻酔下ラット10匹を用いて、背部を切開し、皮下pH測定用プローブを挿入できるスペースを確保する。水道水及び人工炭酸泉での心拍数、血圧、皮膚血流量、皮膚血管抵抗といった生体応答を確認する。炭酸ガスの皮下への透過を検討するため、皮下組織の上にセロハンを敷き、その上に自作した中空糸膜のプローブを置き、生理食塩水を還流させ、中空糸膜を介して浸透した体液のpHの変化を検討する。

### (3) 人工炭酸泉の連浴による筋持久力向上の検討

水道水及び人工炭酸泉での前腕部部分浴を10名の被検者にて20日間、1回15分を行い、生体応答を確認する。連浴前後で前後の浸漬部皮膚血流量と筋血流量の変化および血管抵抗値、さらに心拍変動から  $CV_{R-R}$  を算出し自律神経機能の変化を水道水浴グループ、人工炭酸泉浴グループで比較検討する。両グループの連浴前後で握力運動の筋持久力を測定する。測定はストレインゲージ式握力計を用いて持続性最大握力、また、50回の連続最大握力運動のそれぞれを行う。同時に筋電図（EMG）にて総指伸筋、橈側手根屈筋、尺側手根屈筋の筋活動を記録し、この記録から積分筋電図（IEMG）を求め、筋疲労を評価する。

## 4. 研究成果

近赤外分光装置による炭酸泉浸漬部の筋組織酸素動態を検討した実験では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申告があった。皮膚血流量 ( $BF_{skin}$ ) も先行研究と同様に水道水と比較して有意に増加した (3.6 倍、 $p < 0.01$ )。人工炭酸泉浸漬部の浸漬部筋組織の筋血流量 ( $BF_{muscle}$ ) は水道水より 32%増加した。また、動脈圧閉時の  $Oxy-Hb$  減少速度は人工炭酸泉浸漬部で 15%大きかった。測定部位組織における total-Hb は、当該部位の血液含量すなわち血管内容積を反映し、血管収縮・拡張状態に影響される。結果は、人工炭酸泉浴が浸漬部皮膚のみならず、筋組織の毛細血管を拡張し、組織の血液量が増え、浸漬部筋酸素消費量 ( $MO_2$ ) の増加を、つまり人工炭酸泉浴による筋組織の代謝が増加すること示唆した。このことから、人工炭酸泉浴による筋代謝の増加は、ある種のトレーニングに匹敵する可能性を秘めていると推察される。さらに、筋持久力の向上などパフォーマンスの改善についても検討が出来るものと考えられる。

人工炭酸泉浸漬部皮下透析液の pH は、水道水浸漬中と比べ人工炭酸泉浸漬により  $7.42 \pm 0.05$  から  $7.26 \pm 0.05$  へ有意に減少した ( $n=6$ ,  $p < 0.005$ )。また、 $PGI_2$  は緩衝液中での半減期が 2~3 分で、安定な 6-keto $PGF_{1a}$  に加水分解されるため、安定産物を定量し、推定した。水道水浸漬と比べ人工炭酸泉浸漬中に皮膚血流が増加した個体の皮膚では、皮膚ホモジェネート中の  $PGI_2$  濃度が有意に大きかった (水道水:  $20.3 \pm 3.7$  pg/mg 組織乾燥重量、人工炭酸泉:  $26.8 \pm 4.4$ )。同様に  $PGE_1$  濃度も人工炭酸泉浸漬で有意に大きかった。PG 生合成阻害剤 (インドメタシン) の投与で、人工炭酸泉浸漬による皮膚血流増加は消失し、 $PGI_2$  濃度は 80%以上減少していた。

水道水浸漬と比べ人工炭酸泉浸漬時の皮膚血管拡張がインドメタシン投与で消失するこれまでの結果 (日生気誌 2004) を再確認

できた。この時、皮膚組織で血管拡張性 PG の合成が促進されていた。皮下での pH 減少は約 0.2 であったが、皮膚組織内部の pH 減少はもう少し大きいかもしれない。いずれにせよ、浴水から皮膚に拡散した  $CO_2$  は皮膚組織の pH を減少させ、血管拡張性の PG 産生を促進し、皮膚血管抵抗を減少させたと考えられる。合成阻害剤を用いた実験結果から、血管拡張作用の強い一酸化窒素はこの現象に関与していないと考えられるが、その他の拡張性因子や VEGF の関与も疑われる。人工炭酸泉浸漬中は水道水浸漬中と比べ、皮膚血流の有意な増大、心拍数の有意な減少が観察された。

ラット皮膚で刺激により PG 産生酵素の発現が増加し、血管内皮では pH 減少が PG 産生を促進すると報告されている。実験結果から、 $CO_2$  泉浴中は皮膚の pH 減少により局所的に  $PGE_2$  産生が促進され、付近の血管を拡張した可能性がある。 $PGI_2$  の血管拡張作用  $PGE_2$  の 8 倍との報告もあり、今回検出できなかった量の  $PGI_2$  が関与した可能性は残る。

2 週間連浴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、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。人工炭酸泉連浴肢での  $BF_{skin}$  も先行研究と同様に水道水と比較して約 2 倍有意に増加した ( $p < 0.05$ )。しかしながら、水道水浴対照肢では有意な変化は見られなかった。 $BF_{muscle}$  は連浴後 46%増加した ( $p < 0.05$ )。また、 $MO_2$  も連浴後 51%増加した ( $p < 0.01$ )。同時に 50 回の連続最大掌握運動の低下率は 2 週間連浴肢で有意に低くなった。動物を用いた先行研究では、人工炭酸泉の連浴により虚血肢、正常肢の両方で筋毛細血管密度が増加したと報告されている。筋毛細血管密度は筋持久力と密接な関係がある。人工炭酸泉連浴を行うことで、筋に供給される酸

素運搬能力や酸素利用能力が増加し、筋持久力にも影響を及ぼすかもしれない。本実験の結果から人工炭酸泉連浴による浸漬部筋酸素動態の改善が示唆された。しかしながら、連浴期間が短く、今後更なる検討が必要であろう。

#### 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 1 件)

- ① Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto: Repeated arm immersion into artificial CO<sub>2</sub>-rich water increased O<sub>2</sub> consumption and blood flow in skeletal muscle of the immersed arm. *Annalen der Meteorologie CD-ROM Hum2-P03, 1-4*, 2008. 査読有

[学会発表] (計 16 件)

- ① Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto: Bathing with CO<sub>2</sub>-rich water improved physical flexibility in male college students. 第88回日本生理学会大会, 3.29.2011, 横浜. *J Physiol Sci*, 61, S240, 2011.
- ② 橋本眞明, 山本憲志: 人工炭酸泉全身浴によりからだの柔軟性は促進するか? 第15回人工炭酸泉研究会, 12. 10. 2010, 東京.
- ③ 山本憲志, 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49回日本生気象学会大会, 11. 5. 2010, 東京. *Jpn. J. Biometeor.* 47(3), S33.
- ④ 山本憲志: 最大下運動後の人工炭酸泉全身浴が筋疲労を回復させる可能性. 日本体育学会第61回大会. 9. 10. 2010, 豊田.
- ⑤ Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto: Artificially made CO<sub>2</sub>-rich water immersion facilitates a recovery from muscle fatigue after submaximal exercise. 第 87 回日本生理学会大会, 5 . 20. 2010, 盛岡. *J Physiol Sci*, 60, S193, 2010.
- ⑥ 橋本眞明, 北尾直也, 山本憲志: 人工炭酸泉浴中の血管拡張機構解明のてがかり—麻酔下ラットの皮膚で生ずる媒介物質—. 第14回人工炭酸泉研究会, 12. 11.

2009, 東京

- ⑦ 山本憲志, 橋本眞明: 最大下全身運動後の人工炭酸泉浴が筋疲労回復を促進させる可能性. 第14回人工炭酸泉研究会, 12. 11. 2009, 東京
- ⑧ 山本憲志, 橋本眞明, 柳等: 人工炭酸泉前腕部分浴による浸漬部筋酸素動態の変化. 第21回北海道体育学会大会, 11. 14. 2009, 北見.
- ⑨ 山本憲志, 橋本眞明: レジスタンス・トレーニング後の人工炭酸泉浴が筋硬度回復促進をさせる可能性. 第48回日本生気象学会大会, 10. 31. 2009, つくば.
- ⑩ 山本憲志: 最大下全身運動後の人工炭酸泉浴が疲労回復に及ぼす影響. 第 64 回日本体力医学会大会, 9. 19. 2009, 新潟. *体力科学* 58(6), 393, 2009.
- ⑪ Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto: High concentration artificial CO<sub>2</sub>-water bathing was improved muscle stiffness in muscle fatigue after resistance training. the 36th Congress of the International Union of Physiological Sciences, 7. 30. 2009, 京都. *J Physiol Sci*, 58, S106, 2009.
- ⑫ 山本憲志, 橋本眞明: 人工炭酸泉浴は運動後の疲労回復を促進するか: 筋硬度回復への影響. 第 13 回人工炭酸泉研究会, 12. 12. 2008, 東京.
- ⑬ 橋本眞明, 山本憲志: 人工炭酸泉を用いた炭酸泉浴の作用メカニズムの解析. 日本適応医学会第 12 回学術集会, 6. 7. 2008, 別府.
- ⑭ 山本憲志, 橋本眞明: 人工炭酸泉への前腕部 2 週間連浴が浸漬部筋代謝に与える影響. 第 47 回日本生気象学会大会, 11. 24. 2008, 奈良. *日本生気象学会雑誌* 45(3), S55, 2008.
- ⑮ Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto: Repeated arm immersion into artificial CO<sub>2</sub>-rich water increased O<sub>2</sub> consumption and blood flow in skeletal muscle of the immersed arm. 18<sup>th</sup> International Congress of Biometeorology, 9. 25. 2008, 東京.

- ⑩ 山本憲志：高濃度二酸化炭素水・前腕部部分浴の2週間継続による浸漬部筋代謝増強の可能性. 第63回日本体力医学会大会, 9. 19. 2008, 別府. 体力科学 57(6), 713, 2008.

[図書] (計 1件)

- ① 山本憲志：スポーツサイエンス入門、田口貞善、矢部京之助、伊坂忠夫 編著、丸善株式会社、2010. 第8章 長距離・マラソンの科学、pp. 92-100.

## 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 MASAOKI)  
帝京科学大学・医療科学部・教授  
研究者番号：30156294