

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：30120

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03073

研究課題名(和文)人工炭酸泉浴が骨格筋のコンディショニングを改善させる可能性の検討

研究課題名(英文)The possibility of artificial CO₂-hot spring bath improves conditioning of skeletal muscle

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・教授

研究者番号：70299329

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：我々は人工的に作成された炭酸泉に浸漬することで運動後の疲労した筋のコンディショニング改善に影響するか否かを検討した。レジスタンス・トレーニングによる筋硬度の回復は炭酸泉浴で促進された。また、間欠的掌握運動後の前腕部筋血流量は同温水道水浴と比較して炭酸泉浴において有意に増加した。そして、PGE合成酵素の遺伝子発現量が炭酸泉でより多かったことは、炭酸泉浸漬時の血管拡張にPGE₂が関与する可能性を示唆した。さらに、短時間激運動後の筋疲労回復や血中乳酸濃度低下を促進する傾向であった。これらことから、炭酸泉浴は高強度運動で誘発される筋疲労から回復を早め、筋のコンディショニング改善に貢献するであろう。

研究成果の概要(英文)：We investigated whether the immersion of extremities including agonist muscles into artificially made CO₂-water influences improvement of muscle conditioning in fatigue after exercise. Recovery of muscle hardness due to resistance training was promoted by CO₂-water immersion. In addition, the forearm muscle blood flow after the intermittent handgrip exercise increased significantly in the CO₂-water immersion compared with the tap-water immersion. The gene expression level of PGE synthase was higher in CO₂-water suggested that PGE₂ might be involved in vasodilation when dipped in CO₂-water. Furthermore, there was a tendency to promote recovery of muscle fatigue after very short maximum effort exercise and to promote lowering of blood lactic acid concentration. The results of a series of the study suggested that high concentration artificial CO₂-water may promote recover from muscle fatigue induced by high intensity exercise and contribute to improving conditioning of the muscle.

研究分野：運動生理学

キーワード：人工炭酸泉 骨格筋 筋疲労回復 コンディショニング

1. 研究開始当初の背景

炭酸泉浴のヒト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。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(三菱ケミカルクリンスイ)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、生理機能に対する炭酸泉浴の作用を人工炭酸泉と実験動物(ラット)を用いて確認、その作用機構を解析している。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(Hashimoto & Yamamoto, *J Appl Physiol*, 2004, Yamamoto and Hashimoto, *Int J Biometeorol*, 2007)。一方、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し、近赤外線分光分析法により炭酸泉部分浴が浸漬部筋血流を増加させる可能性を示唆し、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。さらに、最大下全身運動後の人工炭酸泉浴により唾液中コルチゾールが減少し、疲労回復の促進効果が認められた(Yamamoto & Hashimoto *Med Sci Sports Exerc* 2013)。また、近年、ラットを用いた筋損傷モデル実験において人工炭酸泉浴後にMyonuclear Numberと筋線維サイズが増加する事(*J Phys Ther Sci*, 2012)及びその増加にはMyogeninの増加がある事(*J Phys Ther Sci*, 2

013)が報告された。

2. 研究の目的

人工炭酸泉浴による骨格筋のコンディショニングを改善させる可能性について、以下の項目を検討した。

- (1) 人工炭酸泉浴による骨格筋組織への柔軟性の効果を探る。
- (2) 人工炭酸泉前腕浴が筋疲労の進行を抑制し、疲労からの回復を促進する効果の検討。
- (3) 実験動物を用いて人工炭酸泉浴による血管拡張作用の検討。
- (4) 高強度運動後に発生する骨格筋組織の硬度化を軽減させる可能性についての検討。

3. 研究の方法

(1) 炭酸泉浸漬部の骨格筋弾性の検討

健康な成人男性11名が本実験に参加した。被検者は水道水群5名、炭酸泉群6名にランダムに分けられ、クロスオーバー試験を行った。本実験ではReal-Time Tissue Elastography (RTE)を用いた(NOBLUS、日立アロカ、東京)。測定は、運動前安静時、運動後、回復期(足浴)後に行った。また、浸漬部(BF_{immersion})と非浸漬部の皮膚血流量(BF_{skin})を測定した。被検者は、高さ2.5cm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。運動後、10分間の回復期に水道水足浴(35℃、CO₂ ≤20ppm)または人工炭酸足浴(35℃、CO₂ ≥1000ppm)を行った。

(2) 人工炭酸泉前腕浴が筋疲労の回復を促進する効果の検討

被検者は、健康な男子大学生であった。握力を連続記録した。被検者の利き手側前腕浅指屈筋近赤外線分光測定装置により筋血流量を測定した。被検者(男性5名)は最大努力で握力を2度測定、その平均値を最大握力とした。PCモニター画面上で最大握力の35%付近を維持し続けるよう被検者に指示した。

指示したレベルを3秒以上下回った時点で休止、10秒の休息の後、同様な指示を繰り返し、維持できる時間が5秒を下回った時点で1セットの終了とした。終了後10分間の休息を挟み同様な操作を繰り返し、全3セット行った。休息中は利き手前腕を腕浴装置浴槽内に置き、動かさないよう指示した。浴槽は人工炭酸泉または同温の水道水(31.6~33.2)で満たした。

(3) 実験動物を用いて人工炭酸泉浴による血管拡張作用を検討

ウィスター系雄性ラット(12週齢)をウレタンの腹腔投与で麻酔して用いた。動物は胸部以下の体毛を刈られ、血圧、心電図、結腸温度、皮膚温度、皮膚組織血流の記録用のプローブを装着され、浴槽の水温が30となるよう制御された。浴槽水は同温度の水道水または人工炭酸泉とした。浸漬30分後に皮膚血流測定部位であった腰部皮膚を採取し、ラットの全RNAについてcDNAマイクロアレイ(Gene Chip, Affymetrix)解析が行われた。

(4) 高強度運動後における骨格筋組織の硬度化を軽減させる可能性について検討

健康な成人男性6名が本実験に参加した。被検者には、自転車エルゴメーターを用いて30秒間のWingate anaerobic test(WAT)を課した。運動後の回復期に10分間の水道水浴(tap浴)および人工炭酸泉浴(1000ppm以上、CO₂泉浴)の2条件を最低6日の間隔が空くように日を改めて行った。水温は35とした。さらに、VAS、血中乳酸濃度(BLa)を連続記録した。また、安静時と入浴後に右外側広筋周辺部の筋硬度(Strain Ratio: SR)を計測した。

4. 研究成果

(1) 超音波を用いた組織弾性イメージング技術(Elastography)による炭酸泉浸漬部の骨格筋弾性の検討

足浴中のBF_{immersion}はtap足浴よりもCO₂足浴で有意に大きかった(tap足浴 vs. CO₂足

浴: 2.1±1.2 vs. 5.5±1.8 ml·min⁻¹·100g⁻¹, p<0.05)。また、足浴後のUEによるSRの値は、CO₂足浴がtap足浴よりも有意に大きくなった(0.67±0.08 vs. 1.37±0.28, p<0.05)(図1)。さらに、足浴後のVASはCO₂足浴がtap足浴よりも有意に小さく(33.9±16.2 vs. 18.1±10.2 mm, p<0.05)、疲労感が軽減した。

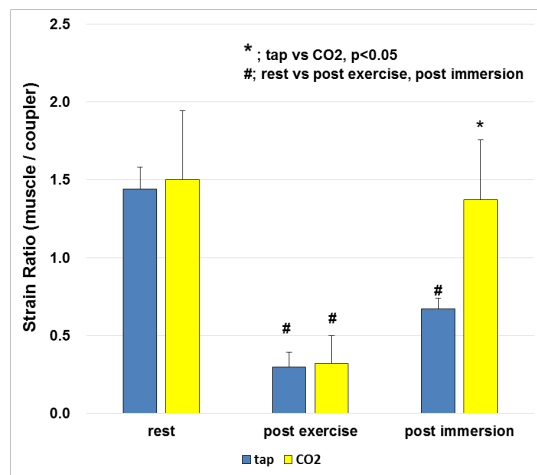


図1 筋硬度(Strain Ratio)の変化

(2) 人工炭酸泉前腕浴が筋疲労の進行を抑制し、疲労からの回復を促進する効果の検討

指示した握力を維持できる時間は、第1セット第1回目の維持時間を基準とすると水道水浴群では各セット第1回目の維持時間はそれぞれ、56±6%(平均±SEM、第2セット)、36±3%(第3セット)と減少した。一方、人工炭酸泉群では50±3%(第2)、32±5%(第3)と減少した(図2)。

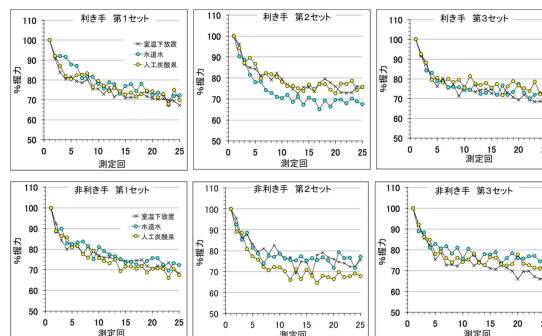


図2 25回の両手同時握力測定にともなう握力低下(筋疲労)の進行

(3) 実験動物を用いて人工炭酸泉浴による血管拡張作用を検討

人工炭酸泉浸漬の結果から血管作用が知

られているPGと一酸化窒素の合成に関連する酵素の比較を行った。細胞膜リン脂質からアラキドン酸を切り出す酵素(PLA₂)は19種のサブタイプが検出され、そのうち16種は炭酸泉の方で発現量がより多く(0.04~3.01%)、3種はより少なかった(0.52~12.15%)。PGE₂、PGI₂の前駆体(PGG₂)合成酵素(COX-2)は炭酸泉群で発現量が平均4.7%少なかったが、刺激誘導型のPGE合成酵素(PGE synthase)は炭酸泉群の方が1.33%多かった。PGI₂合成酵素は1.45%、PGI₂受容体は1.21%炭酸泉群の方が多かった(図3)。一酸化窒素合成酵素では、刺激で発現量が増加するもの(iNOS)は炭酸泉群が1.16%多く、血管平滑筋に常時発現しているもの(eNOS)は1.69%少なかった。

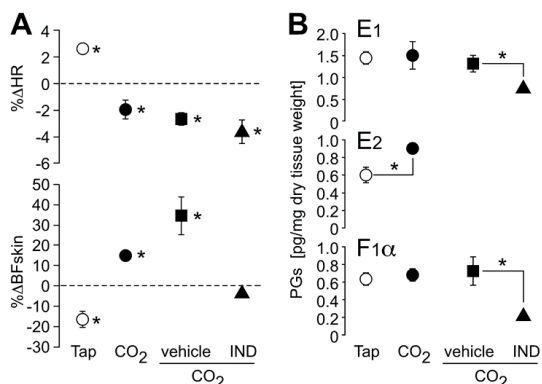


図3 人工炭酸泉浴における心拍数と皮膚血流量(A)及び血管拡張作用物質の変化(B)

(4) 高強度運動後における骨格筋組織の硬度化を軽減させる可能性について検討

同温にも拘らず入浴中の主観的温度感覚はCO₂泉浴がtap浴より有意に温かく感じていた(入浴10分目 tap浴 vs CO₂泉浴、 -0.17 ± 0.76 vs 1.17 ± 0.41 , $p < 0.01$)。また、

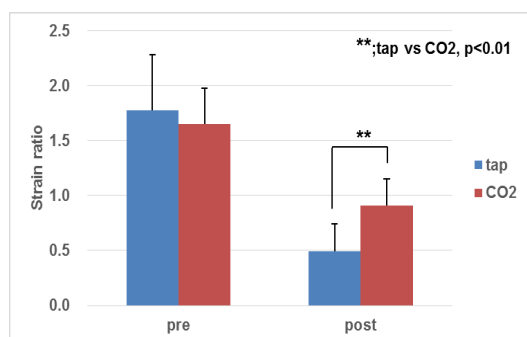


図4 WAT後の外側広筋SRの変化

入浴後のSRはCO₂泉浴がtap浴より有意に早く回復していた(0.49 ± 0.25 vs 0.91 ± 0.25 , $p < 0.01$)(図4)。

筋の柔軟性は、おもに反射回路を介した拮抗筋間の - 連関による筋緊張の程度に依存するとされ、上位中枢からの - 制御も要因である。人工炭酸泉浴に交感神経活動の抑制効果があることから、筋硬度減少にも中枢神経系の関与する可能性が考えられる。炭酸泉浴後に見られる筋硬度の減少が、末梢局所性か中枢性かは検討の余地がある。

本実験条件下の室温・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tap足浴よりもさらにCO₂泉足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。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。

このように本研究の結果は、運動後の筋のコンディショニングの改善に人工炭酸泉浴が効果的である可能性を示唆するものとなった。温泉浴の効果として、心理学的効果との相加・相乗的部分を看過してはならないけれども、各種の生体機能に与える影響とその内在機構を生理学的に検討すべき点は多く残されている。

5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計7件)

山本憲志、和田匡史、竹ノ谷文子、橋本眞明：カーフ・レイズ後の人工炭酸泉部分浴による下腿部筋硬度の変化。人工炭酸泉研究会雑誌 7(1)：74-80, 2018.

橋本眞明、山本憲志：炭酸泉浴 = 二酸化炭素泉浴の生理機能への作用とメカニズム。人工炭酸泉研究会雑誌 7(1)：21-31, 2018.

橋本眞明、小室悠作、佐竹里穂、佐藤裕周、鈴木百合香、関根彩香、実沢里穂、山本憲志：筋疲労に対する人工炭酸泉部分浴の影響評価。体力・栄養・免疫学雑誌(JPFNI) 25:114-115, 2015.

山本憲志、橋本眞明：人工炭酸泉浴が骨

格筋のコンディショニングを向上させ自律神経機能を整える可能性の検討 . 平成26年度 一般財団法人 日本健康開発財団研究年報36, 17-23, 2015.

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 . 人工炭酸泉研究会雑誌 6(1): 24-27, 2015.

橋本眞明、山本憲志 : 実験動物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 . 人工炭酸泉研究会雑誌 6(1): 8-10, 2015.

山本憲志、橋本眞明 : 人工炭酸泉入浴前後の上腕 - 足首脈波伝播速度の変化 . 人工炭酸泉研究会雑誌 6(1): 5-7, 2015.

和田匡史、山本憲志、岩原文彦 : 人工炭酸泉後の睡眠解析 . 平成27年度電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集 797-799, 2015.

[学会発表](計 30 件)

Masaaki Hashimoto, Noriyuki

Yamamoto : Influence of CO₂-water bath on gene expression in the skin of anesthetized rats. 第 95 回日本生理学会大会, 3. 30. 2018, 高松市 .

Noriyuki Yamamoto, Maiko Watanabe, Mai Nakazaki, Tooru Hatakeyama, Tadashi Wada, Fumiko Takenoya,

Masaaki Hashimoto : Influence of artificial high concentration CO₂-water leg-bath on vascular elasticity and blood flow. 第 95 回日本生理学会大会, 3. 30. 2018, 高松市 .

Tadashi Wada, Noriyuki Yamamoto, Masaki Wada, Hirofumi Jigami, Takaaki Matsumoto, Yoshimitsu Shimomura : An analysis of night sleep after CO₂ water bath in elite athletes. 2017 Asics Conference of Science and Medicine in Sport. 10.23. 2017, Langkawi, Malaysia.

Masaaki Hashimoto, Noriyuki

Yamamoto : Soaking in bathtub filled with artificial-CO₂-hot spring water may suppress a progress of muscle fatigue during continual resistance exercise after bath. The 21th International Congress of Biometeorology, 9.5. 2017, Durham, UK.

Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto, Tadashi Wada, Fumiko Takenoya, : Investigate of possibility to promote recovery of muscle hardness and soreness by using artificial CO₂-hot spring bath. The Congress of International Society of Biomechanics. Brisbane, Australia. 7. 26. 2017.

Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto, Tadashi Wada, Fumiko Takenoya, : Artificial CO₂-water foot bath facilitate a recovery from muscle hardness by resistance exercise. 22th Annual Meeting of the European College of Sport Science. 7. 6. 2017, MetropolisRuhr, Germany.

Noriyuki Yamamoto, Tadashi Wada, Fumiko Takenoya, Masaaki Hashimoto : High concentration CO₂-water immersion promotes a recovery from the muscle hardness induced by resistance exercise. 64th Annual Meeting of the American College of Sports Medicine. 6. 2. 2017, Denver, Colorado, USA.

Masaaki Hashimoto, Noriyuki

Yamamoto : Forearm bathing with CO₂-water between exercises increased muscle blood without an effect on exercise performance. 第 94 回日本生理学会大会, 3. 28. 2017, 浜松市 .

Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto,

Tadashi Wada, Fumiko Takenoya :
Artificial high concentration
CO₂-water foot bath facilitates a
recovery from gastrocnemius muscle
hardness induced by calf raise
resistance exercise. 第94回日本生理
学会大会, 3. 28. 2017, 浜松市 .

Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto,
Tadashi Wada, Fumiko Takenoya, :
Artificial CO₂-water both improved
muscle flexibility and hardness in
male college students. 21th Annual
Meeting of the European College of
Sport Science. 7. 6. 2016, Vienna,
Austria.

Masaaki Hashimoto, Noriyuki
Yamamoto : Effects of bathing in
CO₂-enriched water on muscle fatigue
produced by intermittent resistance
exercise. 第93回日本生理学会大会, 3.
24. 2016, 札幌市 .

Noriyuki Yamamoto, Masaaki Hashimoto,
Tadashi Wada, Fumiko Takenoya, :
Effects of artificial high
concentration CO₂-water both on quiet
standing posture control. 第93回日
本生理学会大会, 3. 24. 2016, 札幌市 .
Noriyuki Yamamoto, Tadashi Wada,
Hitoshi Yanagi, Fumiko Takenoya,
Masaaki Hashimoto : The possibility of
increase in both the local oxygen
consumption and blood flow the
skeletal muscle by the forearm
immersion to artificial CO₂ water. The
8th Federation of Asian and Oceanian
Physiological Societies Congress
(FAOPS), 11.23. 2015, Bangkok,
Thailand.

Masaaki Hashimoto, Noriyuki
Yamamoto : Bathing in

artificial-CO₂-hot spring between
resistance training may inhibit
muscle fatigue progression after bath.
The 8th Federation of Asian and
Oceanian Physiological Societies
Congress (FAOPS), 11.23. 2015,
Bangkok, Thailand.

Masaaki Hashimoto, Noriyuki
Yamamoto : An influence of local
bathing on recovery of performance
after muscle fatigue: a pilot study
comparing the effect of CO₂ enrich- and
normal- tap water. 第92回日本生理学
学会大会, 3. 22. 2015, 神戸市 .

Noriyuki Yamamoto, Tadashi Wada,
Hitoshi Yanagi, Fumiko Takenoya,
Masaaki Hashimoto : A possibility to
promote the recovery from fatigue
after submaximal pedaling exercise by
bathing with high concentration
CO₂-water in healthy subjects. 第92
回日本生理学会大会, 3. 22. 2015, 神
戸市 .

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・教
授

研究者番号 : 70299329

(2) 研究分担者

橋本 眞明 (HASHIMOTO, Masaaki)
帝京科学大学・医療科学部・教授

研究者番号 : 30156294

和田 匡史 (WADA, Tadashi)

国土館大学・理工学部・教授

研究者番号 : 00320101

竹ノ谷 文子 (TAKENOYA, Fumiko)

星薬科大学・薬学部・准教授

研究者番号 : 30234412

(3) 連携研究者

船渡 和男 (FUNATO, Kazuo)

日本体育大学・体育学部・教授

研究者番号 : 60181442