

運動によって誘発される遅発性筋痛に対する  
人工炭酸泉浴の影響

中 野 匡 隆

愛知東邦大学

# 運動によって誘発される遅発性筋痛に対する 人工炭酸泉浴の影響

中 野 匡 隆\*

## 目次

1. 緒言
2. 方法
3. 結果
4. 考察

## 1. 緒言

運動は、場合によっては骨格筋細胞に損傷を引き起こす。特に、高強度や長時間の運動では筋や結合組織に微細な損傷が生じる[1]。ここでの「損傷」は、筋線維の断裂（肉離れ）や打撲、腱や靭帯の損傷ではなく、筋原線維や筋線維周囲の結合組織の微細な損傷であり、血管損傷は伴わず、損傷に伴う痛みも発生時にはほとんどないものを指す[1]。この運動によって引き起こされる筋線維の損傷が引き金となって、いわゆる筋肉痛が起こると考えられている。このような軽度の筋損傷や筋肉痛は、伸張性筋収縮（eccentric exercise contraction : ECC）を伴う運動で生じやすく、マラソン、短距離走、レジスタンス・トレーニング、階段下り、坂下り走などでより多く生じることがいわれている[1]。

筋肉痛には、運動中に痛みを感じ、運動終了後には消失する現発性筋肉痛、運動直後から発生する急性筋肉痛、運動後数時間～48時間ほど経過してから発現し、1～3日後にピークに達し、1週間ほどで自然に痛みが消失して、回復する遅発性筋痛（Delayed Onset Muscle Soreness : DOMS）がある。とくに、DOMSはECCの多い運動や高強度・高頻度の激運動で発生しやすいことがいわれており、一般的には不慣れな運動や久しぶりに行った運動で発生しやすい。しかし、その発生機序は未だ不明であり、痛みが遅れて発生することもミステリーとなっている。その予防および回復の方法についても様々な研究があるが明確に効果のあるものはほとんどない。たとえば、非ステロイド性消炎鎮痛薬では、運動前に投与するとDOMSの発生を抑えるが、いったん発生してしまった後では効果がないという報告が多い[2]。このことから、DOMSは発生してしまったのちの劇的な回復は困難であることが示唆される。

筋線維が損傷すると、筋細胞内に存在するタンパク質であるミオグロビン（Mb）やクレアチ

---

\* 愛知東邦大学人間健康学部

ンキナーゼ（CK）などの酵素が血液中に出てくるため、これらは間接的な筋損傷マーカーとして使われている[3]。痛みは、非常に測定が困難な項目であるため、幾つかの研究では100mmの直線の片端を「痛み無し」、もう一方の端を「最高の痛み」とし、痛みの程度を直線上にマークさせるvisual analog scale法（VAS）が用いられている。また、筋損傷マーカーと痛みの申告（VAS）は、変化の経過が一致しないこともいわれており、筋損傷が起こったからといって、痛みを伴うとは限らず、他方では筋損傷の程度がそれほど大きくないにもかかわらず、痛みが発生することがある。

近年では、人工的に炭酸ガス（CO<sub>2</sub>）を高濃度で溶け込ませた炭酸泉が、スーパー銭湯などの入浴施設や美容室での洗髪時に利用するシャワーになど急速に利用が普及している。一方で天然炭酸泉は日本には少ないが、ヨーロッパには多く、古くから飲用や入浴によって心臓病や高血圧の治療に用いられてきた[4]。炭酸泉の明確な生理作用は、炭酸ガスが浸漬部の皮膚から吸収され、浸漬部の皮膚血管を拡張し、それによって皮膚血流量の増加が引き起こされることが明らかとなっている[5,6]。また、近赤外線分光法を用いた実験では、炭酸泉による血流量増加効果は、表層組織だけでなく深部組織、つまり筋の血流量も増加させることが示唆されている[7,8]

しかし、臨床的に確かに血管拡張の効果があるけれども、その作用機序についてはまだ研究が必要である状態が続いている。その一方で、臨床的に効果が確実にあるということが、エビデンスがない様々な効果を期待させてしまっている[9]。炭酸泉が一般的になりつつあるなか、人工炭酸泉浴はスポーツにおける筋疲労をはじめとする様々な効果の検証が進められている[10,11]。とはいえ、一般的には、まだまだその効果が過度に期待されており、スポーツコンディショニングを考える上で重要な要因である筋肉痛に対しても同様である。

そこで、本研究は伸張性筋収縮運動に伴う遅発性筋痛や筋損傷に対する人工炭酸泉浴の影響を検討した。

## 2. 方法

日常規則的にレジスタンス・トレーニングを行っていない健康な学生12名（男性9名、女性3名）が被験者として実験に参加した。被験者の年齢、身長、体重、体脂肪率は、それぞれ23±2歳、170.0±9.3cm、66.4±12.6kg、19.0±6.3%（平均±標準偏差）であった。実験は中京大学大学院体育学研究科倫理委員会「ヒトを対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を受け、被験者に口頭と書面にて実験の目的、内容、予想し得る最小限の不利益について十分な説明を行い、同意を得たうえで実施した。また、実験に際しては、安全に配慮し、現在治療中の疾患や筋骨格に関する疾患や障害をもっておらず、運動の妨げになるような外傷、機能障害がないこと、定期的な抗炎症薬の服用などの薬物治療を行っていないことをスクリーニングし、実験期間中に薬などの使用、アイシングおよび激しい運動は避けるように指示した。

実験のための運動としては、下腿三頭筋の伸張性筋収縮が伴うように傾斜45度の踏み台の上で片脚カーフレイズ運動を左右20回ずつの5セット行った（画像1）[12]。カーフレイズ運動は、

実施前に実演し、踵が台に可能な範囲で接するまでゆっくりと下ろすように指示をした。

カーフレイズ運動終了後、人工炭酸泉浴あり条件あるいは人工炭酸泉浴なし条件のどちらかをランダムに実施した。その後、3日後まで測定を実施した。そして、2週間の間隔をあけた後に、もう一方の条件を同様の手順にて実施した。人工炭酸泉浴あり条件では、濃度1000ppm以上の人工炭酸泉（42℃、）へ10分間の下腿浴を運動終了後に実施した（画像2）。測定は運動前（ベースライン）、24時間後、48時間後、72時間後に行なった（画像3）。

測定項目は、痛みの評価として、安静時のVASと筋肉を動かした時のVAS、筋損傷マーカーとして、医師による採血からCK、Mbを測定した。

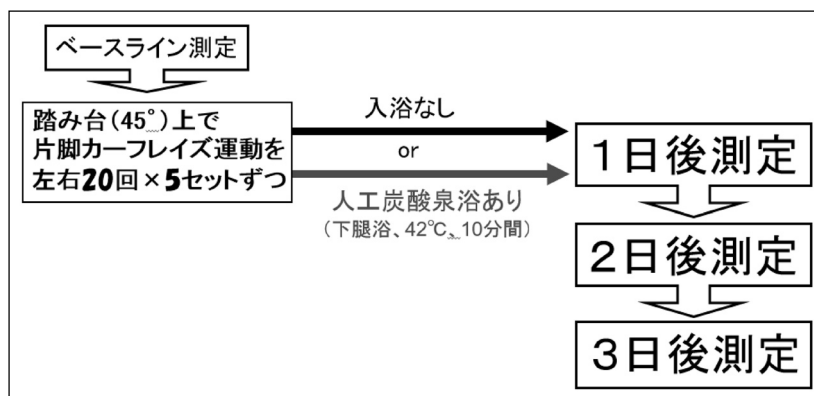
統計処理はSPSS for Windows Ver.17を用い、2元配置分散分析（入浴条件×時間）を行い、実験条件間の差の検定を行い、相互作用が認められた場合は、多重比較を実施した。なお、有意水準は危険率5%以下とした。



画像1. カーフレイズ運動



画像2. 人工炭酸泉の下腿浴



画像3. 実験プロトコル

### 3. 結果

図1に炭酸泉あり条件と炭酸泉なし条件のCKを示す。炭酸泉あり条件では、 $135.2 \pm 54.2$  IU/L (ベースライン)、 $176.0 \pm 108.6$  IU/L (24時間後)、 $187.2 \pm 126.62$  IU/L (48時間後)、 $199.5 \pm 135.0$  IU/L (72時間後)であり、炭酸泉なし条件では、 $199.0 \pm 171.0$  IU/L (ベースライン)、 $268.8 \pm 286.5$  IU/L (24時間後)、 $318.1 \pm 254.3$  IU/L (48時間後)、 $489.6 \pm 702.5$  IU/L (72時間後)であった。

図2に炭酸泉あり条件と炭酸泉なし条件のMbを示す。炭酸泉あり条件では、 $9.3 \pm 3.0$  ng/ml (ベースライン)、 $11.0 \pm 6.1$  ng/ml (24時間後)、 $8.3 \pm 3.5$  ng/ml (48時間後)、 $9.4 \pm 5.7$  ng/ml (72時間後)であり、炭酸泉なし条件では、 $10.1 \pm 4.8$  ng/ml (ベースライン)、 $12.3 \pm 10.5$  ng/ml (24時間後)、 $24.9 \pm 40.5$  ng/ml (48時間後)、 $21.3 \pm 30.6$  ng/ml (72時間後)であった。

炭酸泉あり条件と炭酸泉なし条件の安静時VASは、炭酸泉あり条件では、 $0.3 \pm 0.5$  mm (ベースライン)、 $8.1 \pm 7.2$  mm (24時間後)、 $4.4 \pm 4.8$  mm (48時間後)、 $1.7 \pm 2.0$  mm (72時間後)であり、炭酸泉なし条件では、 $0.3 \pm 0.5$  mm (ベースライン)、 $5.3 \pm 6.8$  mm (24時間後)、 $4.5 \pm 5.5$  mm (48時間後)、 $4.3 \pm 7.4$  mm (72時間後)であった。

図3に炭酸泉あり条件と炭酸泉なし条件の筋収縮時VASを示す。炭酸泉あり条件では、 $0.5 \pm 0.7$  mm (ベースライン)、 $17.3 \pm 14.6$  mm (24時間後)、 $15.8 \pm 16.7$  mm (48時間後)、 $7.4 \pm 9.2$  mm (72時間後)であり、炭酸泉なし条件では、 $1.3 \pm 3.4$  mm (ベースライン)、 $14.3 \pm 11.2$  mm (24時間後)、 $9.4 \pm 9.6$  mm (48時間後)、 $6.6 \pm 8.3$  mm (72時間後)であった。

いずれの測定項目においても統計的有意差は認められなかった。

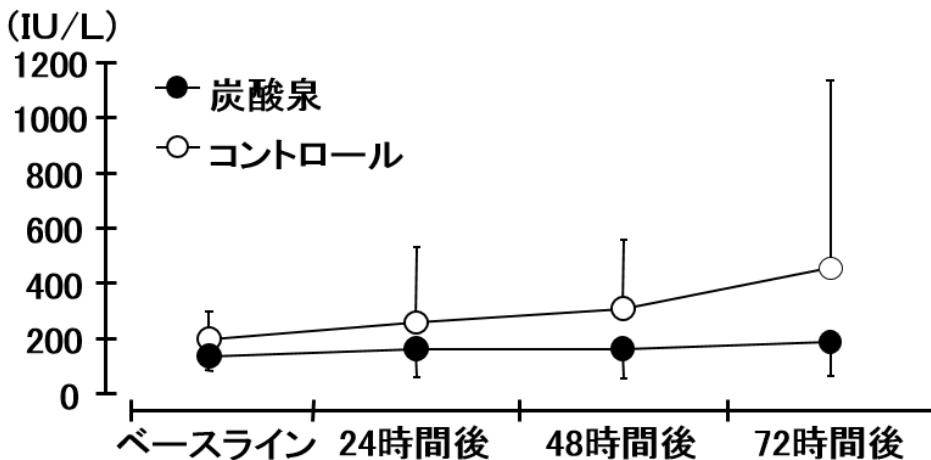


図1. クレアチンキナーゼの変化

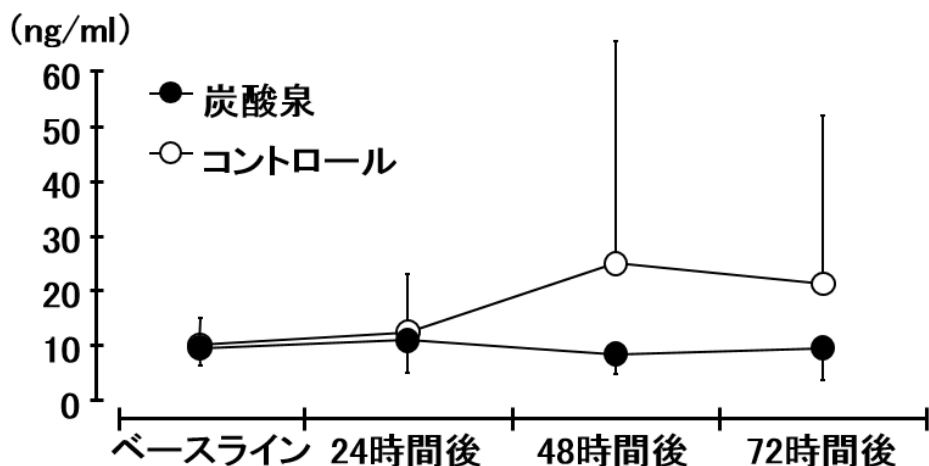


図2. ミオグロビンの変化

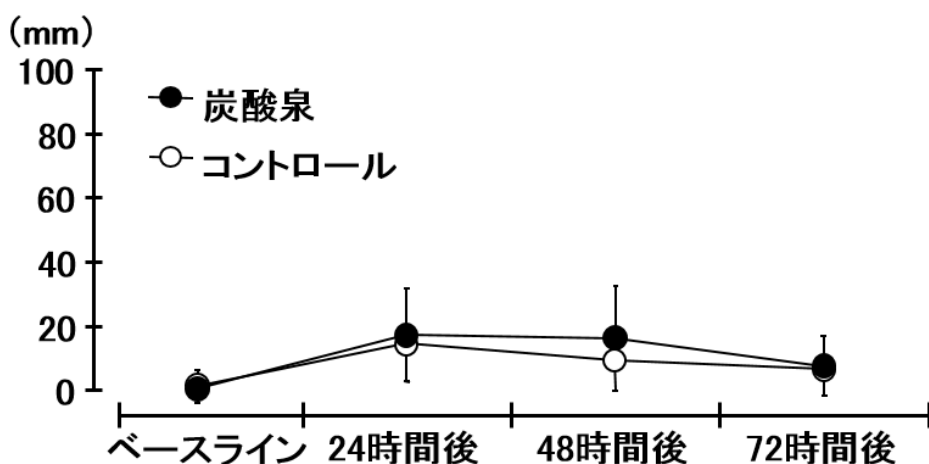


図3. 筋痛 (VAS) の変化

#### 4. 考察

本研究では、ECCを含む運動後の筋痛、筋損傷に対する人工炭酸泉浴の効果を検証したが、人工炭酸泉浴あり条件と炭酸泉浴なし条件の2条件間に統計的な差を認めることはできなかった。しかし、筋損傷を評価するCK、Mbで若干ではあるが人工炭酸泉浴あり条件で低値を示す傾向があり、痛みに関しては、軽減される効果を確認した先行研究もある[13]。したがって、人工炭酸泉の遅発性筋痛および運動に誘発される筋損傷からの回復への効果は慎重に検討する必要があり、今後も継続した調査が必要であると考えられる。

一般的に言われている人工炭酸泉浴の効果の多くは、血流量の増加に関連付けられたものであ

る。本研究では、炭酸ガスの濃度が1500ppmという比較的高濃度の人工炭酸泉を42℃で使用した。水への炭酸ガスの溶解度は、酸素よりも20倍も高いが、水温が上がると飽和濃度が低下する。しかし、飽和濃度以下では比較的安定し、1時間に5ppm程度しか気化しない[5]。したがって、本研究での人工炭酸泉浴では、炭酸ガスの血管拡張作用は十分に受けることができていると考えられる。くわえて、人工炭酸泉浴中、浸漬部位である下腿の皮膚表面には炭酸ガスの気泡の付着がみられ、入浴後には浸漬部位は顕著に紅潮し、非浸漬部との間に明瞭な境界線も確認されたことから、本研究では血流量の測定は実施していないが、十分に血管拡張作用は得られ、血流量の増加はしていたと考えられる。

本研究のリミテーションとして、筋痛が生じるという被験者の不利益が最小限になるように考慮し、運動の強度・頻度を低くしたことによって、筋痛や筋損傷の程度が小さかったため、その効果が顕著に出なかった可能性が否定できない。測定項目であったCK、Mb、VASは、先行研究に比較し、運動後での上昇が低く抑えられていた。被験者によっては、筋損傷マーカーであるCK、Mbが低いながらも上昇したにもかかわらず、筋痛を全く訴えなかった被験者もいた。今後は、自体重による負荷での検討だけでなく、ウエイトなど高負荷における検討も必要かもしれない。また、本研究では、運動終了後10分間のみ入浴という比較的短いものであった。くわえて、日常生活における入浴等の制限は指示しなかった。日本においては入浴が日々の習慣である人々が多いうえに、先行研究には連日の入浴（連浴）の効果を報告しているものもあり、人工炭酸泉の入浴法についてはより効果的な方法を検討する必要があるかもしれない[14]。

本研究では、人工炭酸泉浴あり条件となし条件で比較したため、炭酸ガスを含まない水（いわゆる水道水）との比較ができていない。さらに、温度についても通常の炭酸泉浴より若干高温の42℃に設定していたため、温熱作用が負荷されない35℃との比較もしていない。従来、水セラピー、クライオセラピー、疲労回復を意図した様々な入浴など炭酸泉ではない、いわゆる水道水においても、その効果の検証やスポーツにおけるコンディショニングへの応用方法が頻繁に研究されているが、効果が認められるものばかりではなく、効果が薄い、効果がない、あるいは不利益の可能性を報告するものもある[10, 11, 15-19]。今後、この分野では、更なる調査の必要性があると考えられる。

スポーツ現場では、入浴の様々な応用方法が考案されている。そのなかで、温度や入浴時間ではなく、水質を変化させ効能を得ることのできる人工炭酸泉には期待も大きい。しかし、より有効に利用するためには本研究では十分な知見が得られなかった。したがって、本研究の結論としては、伸張性筋運動後の発生する筋痛（VAS）、CK、Mbで評価される筋損傷に対する人工炭酸泉浴の効果は未だ不明と言わざるを得ない。

## 参考文献

- [1] 平野裕一、加賀谷淳子『トレーニングによるからだの適応』杏林書院、40-53、2002
- [2] Cheung, K., Hume, P., Maxwell, L., Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Med.* 33、145-164、2003
- [3] 大野秀樹、井澤鉄也、長澤純一、伏木亨、跡見順子『運動生理・生化学辞典』大修館書店、338-339、2001
- [4] 入来正窮「人工高濃度炭酸泉の基礎と臨床」*人工炭酸泉*. 4、39-48、2003
- [5] 松本孝朗、中野匡隆、伊藤僚、小粥隆司、天野雅斗、後藤宏章、山下直之、西崎逸朗「炭酸泉の生理作用」*中京大学体育研究所紀要*. 23、63-72、2009
- [6] Nishimura N, Sugeno Y, Matsumoto T, Kato M, Sakakibara H, Nishiyama T, Inukai Y, Okagawa T, Ogata A., Effects of repeated carbon dioxide-rich water bathing on core temperature, cutaneous blood flow and thermal sensation. *Eur J Appl Physiol.* 87(4-5)、337-42、2002
- [7] Hartmann, B., Pittler, M., Drew, B., CO<sub>2</sub> Balneotherapy for Arterial Occlusion Diseases, Physiological and Clinical Practice. *人工炭酸泉*. 1、10-16、1998
- [8] Komoto Y., Kohmoto T., Sunakawa M., Eguchi Y., Yorozu H., Kubo Y., Dermal and subcutaneous tissue perfusion with a CO<sub>2</sub>-bathing. *Z Physiothe.* 38、103-112、1986
- [9] 中野匡隆「人工炭酸泉浴へ期待される効果 -入浴施設利用者へのアンケート調査より-」*東邦学誌*. 41、63-168、2012
- [10] 中野匡隆、塚中敦子、小粥隆司、伊藤僚、天野雅斗、山下直之、後藤宏章、松本孝朗「スポーツコンディショニングへの人工炭酸泉の応用～運動後の血中乳酸濃度回復への影響～」*中京大学体育研究所紀要*. 22、57-61、2008
- [11] 水野貴正、中野匡隆、松本実、松本孝朗、梅村義久「人工炭酸泉浴が関節可動域と筋の弾性に与える影響」*日本生気象学会雑誌*. 48(1)、15-22、2011
- [12] Tegeder et al, Release of algescic substances in human experimental muscle pain. *Inflamm Res.* 51、93-402、2002
- [13] 萬秀憲、江口泰輝、砂川満、河本知二、古元嘉昭「人工炭酸浴に関する研究 第5報 血中乳酸量及び筋肉痛に与える人工炭酸浴の影響」*日本温泉気候物理医学会雑誌*. 49(2) : 89-94、1986.
- [14] 砂川満、河本知二、古元嘉昭、萬秀憲、江口泰輝「人工炭酸泉浴連浴の効果 -特に組織ガス分圧、組織循環の変化について-」*日本温泉気候物理医学会雑誌*. 49(2) : 83-88、1986.
- [15] Darryl J. Cochrane, Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review. *Physical Therapy in Sport.* 5、26-32、2004.
- [16] António Ascensão, Marco Leite, António N. Rebelo, Sérgio Magalhães, José Magalhães, Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a one-off soccer match. *Journal of Sports Sciences.* 29(3)、217-225、2011.
- [17] J. R. Jakeman, R Macrae, R Eston, A single 10-min bout of cold-water immersion therapy after strenuous plyometric exercise has no beneficial effect on recovery from the symptoms of exercise-induced muscle damage. *Ergonomics.* 52(4)、456-460、2009.
- [18] Noriyuki Yamamoto, Tadashi Wada, Fumiko Takenoya, Masaaki Hashimoto, High concentration CO<sub>2</sub>-water Immersion promotes a recovery from the muscle hardness induced by resistance exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise.* 49(5S)、945、2017
- [19] Motoi Yamane, Hiroyasu Teruya, Masataka Nakano, Ryuji Ogai, Norikazu Ohnishi, Mitsuo Kosaka, Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. *Eur J Appl Physiol.* 96、572-580、2006

受理日 平成30年10月5日