

## 人工炭酸泉浴負荷による廃用性萎縮筋の組織酸素飽和度上昇効果 実験的廃用性筋萎縮モデルラットを用いて

中嶋正明 小幡太志 秋山純一

### CO<sub>2</sub>-enriched Water Bathing Raises Oxygen Saturation in the Muscles of Disuse Muscle Atrophy

Masaaki NAKAJIMA, Futoshi OBATA, Junichi AKIYAMA

#### 要旨

人工二酸化炭酸泉浴（炭酸泉浴）は皮膚血流を促進する他、深部組織の酸素飽和度を上昇させる効果がある。一方、臨床の場において患者は活動性の低下や不動を余儀なくされることにより廃用性筋萎縮に陥っている者が多い。今回、我々は炭酸泉浴の深部組織の酸素飽和度を上昇させる作用が廃用性筋萎縮をきたした筋組織に対しても有効に作用するのか実験的動物廃用性筋萎縮モデルを用いて検証した。

ラットに3週間の尾部懸垂を負荷し後肢に廃用性筋萎縮を発症させた。ラットを無作為に淡水浴群と炭酸泉浴群に分けた。尾部懸垂から解放後、直ちに淡水浴と炭酸泉浴（CO<sub>2</sub>-concentration 1000ppm）を実施した。浴水温は38℃とし、下肢を15分間浸漬した。浸漬前、浸漬直後、出浴30分後、出浴60分後の組織酸素飽和度（StO<sub>2</sub>）を測定した。

StO<sub>2</sub>は淡水浴群では変化がなかったが、炭酸泉浴群では有意に上昇した。廃用性筋萎縮に対しても炭酸泉浴はStO<sub>2</sub>を上昇させる効果を持つことが明らかとなった。

廃用性筋萎縮者では筋組織における代謝が円滑に行われなため容易に筋疲労を来たしやすく、かつ、筋損傷の修復が遅延することが予想される。また、炎症物質が滞りやすくなるため痛みや炎症症状が長引くことも予想される。廃用性筋萎縮者に炭酸泉を適用することで、血流の改善による筋持久力の改善、筋疲労の改善、筋損傷の治癒促進が得られる。炭酸泉浴は、筋萎縮に陥った者に対するリハビリテーションにおいて、その作用と効果を見極め適用するならば有用性の高い水治療法として受け入れられるであろう。

キーワード：廃用性筋萎縮，ラット，炭酸泉，組織酸素飽和度

Key words : disuse muscle atrophy, Rat, CO<sub>2</sub>-enriched water, tissue oxygen saturation (StO<sub>2</sub>)

はじめに

人工二酸化炭酸泉浴（炭酸泉浴）は炭酸ガスの経皮侵入による皮膚血管拡張，皮膚血流量増加などの作用を持ち<sup>1~3)</sup>，褥瘡や糖尿病性潰瘍および閉塞性動脈硬化症に対して有効であることが報告されている<sup>4~7)</sup>。褥瘡や糖尿病性潰瘍および閉塞性動脈硬化症に対する炭酸泉浴の有効性は皮膚の血液循環促進効果だけでなく深部組織の血液胴体に対しても影響を及ぼしていることが予想された。そこで，我々は，炭酸泉浴が深部組織である筋に及ぼす効果を深部組織酸素飽和度を指標に評価した。そして炭酸泉浴が深部組織の酸素飽和度を上昇させる作用を有することを健常者を対象に明らかにした<sup>8~10)</sup>。一方，臨床の場合において患者は活動量の低下や不動を余儀なくされるため，廃用性筋萎縮を来している者が多い。今回，我々は，炭酸泉浴の深部組織の酸素飽和度上昇作用が廃用性筋萎縮をきたした



図1. ラット尾部懸垂

筋組織に対しても有効に作用するのかを実験的動物廃用性筋萎縮モデルを用いて検証した。

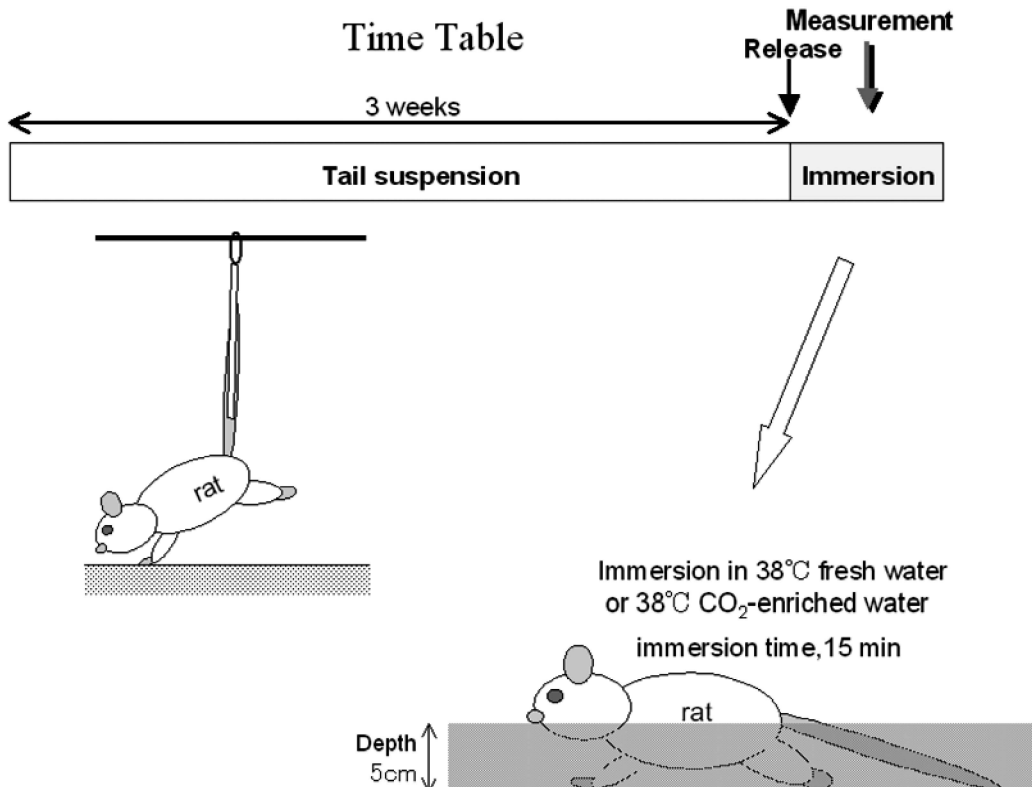


図2. Experimental methodology

### 対象と方法

実験動物として Wistar 系ラット（雄，11 週齢）6 匹が用いられた。後肢の廃用性筋萎縮は Morey<sup>11)</sup>の変法による尾部懸垂を行い（図 1），後肢を 3 週間免荷することで作成された。ラットの尾部に帆布を両面テープおよびキネシオテープを用いて固定し尾部懸垂を行った。この尾部懸垂の状態において，ラットは前肢でケージ内を自由に移動でき，飲水，摂食も自由である。3 週間後，実験動物は尾部懸垂から開放された。ただちに 38℃ 淡水，38℃ 人工炭酸泉への入浴負荷を行った。ラットは無作為に淡水浴群（n=3），炭酸泉浴群（n=3）に分けられ，下肢が浴水に浸漬されるよう 5cm の深さまで浴水を満たしたプラスチックケージ（幅 276 × 長さ 445 × 深さ 204mm）内に入れられた。入浴負荷時間は 15 分に設定され，その間の浴水の温度は一定に保たれた。人工炭酸泉の作成は，高濃度人工炭酸泉製造装置（三菱レイヨン・エンジニアリング）を用い，その炭酸濃度は 1000ppm に調整された。入浴負荷後のラットはタオルにて体の水分をよく除かれた後，室温 26 ± 1℃ に調整された部屋にて乾いたタオルで体幹

をくるまれ大腿後部の組織酸素飽和度が測定された。組織酸素飽和度の測定は浴水負荷前，直後，30 分後，1 時間後に行われた（図 2）。

統計処理は，各群内における入浴負荷前後の時系列内における StO<sub>2</sub> の比較には一元配置分散分析（ANOVA）を行い，有意な差が生じた場合に多重比較検定（Tukey HSD 法）による post-hoc test を行った。2 群間の比較には Wilcoxon signed-rank test を用いた。

### 結果

萎縮筋組織酸素飽和度は浴水負荷前，直後，30 分後，1 時間後に淡水浴群では，53.3 ± 1.9 % (Mean ± SD)，52.3 ± 0.8 %，52.5 ± 1.8 %，54.2 ± 1.8 %，炭酸泉浴群では，51.0 ± 0.8 %，53.5 ± 3.3 %，55.3 ± 2.1 %，57.4 ± 2.5 % となった（図 3）。

### 考察

淡水浴群では負荷前後で StO<sub>2</sub> に変化は認められなかった。それに対して炭酸泉浴群では StO<sub>2</sub> が負荷 30 分後，1 時間後と時間経過とともに上昇する傾向が認められた。淡水浴群では温熱効果が，炭酸泉浴群では温

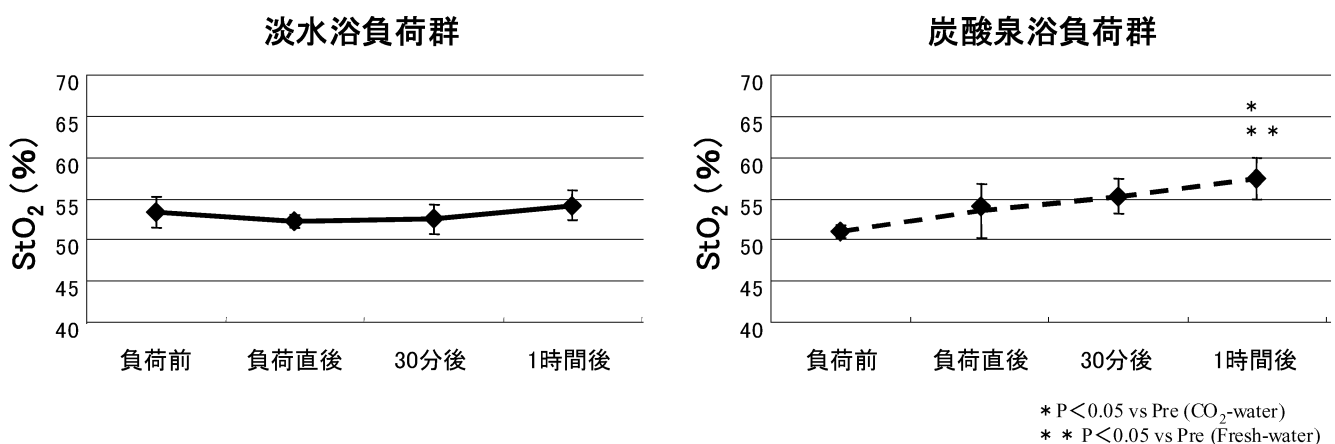


図3. 各浴水負荷前後におけるStO<sub>2</sub>の変化

熱効果と炭酸ガスによる効果が加わる。淡水浴群の  $StO_2$  に変化が認められなかったが炭酸泉浴群の  $StO_2$  は上昇したことから、炭酸泉浴群における  $StO_2$  の上昇は炭酸ガスによる効果と考えられる。これまでの報告から、経皮吸収された炭酸ガスは血管拡張作用を持ち血液循環を促進すること、および Bohr 効果により  $StO_2$  の上昇をもたらすことが明らかとなっている。今回の実験結果は、炭酸泉浴におけるこの作用が萎縮筋においても有効であることを示唆している。また健常成人を対象にした我々の実験では炭酸泉浴の負荷終了後、時間経過とともに深部組織の  $StO_2$  は徐々に減少したが、今回の萎縮筋を対象にした動物実験では、 $StO_2$  が炭酸泉浴負荷後 1 時間経過時点でも上昇していた。この現象は、炭酸ガスの組織血管に対する血管拡張作用とラットが懸垂負荷から解放され歩き回り萎縮筋に強い律動的な筋収縮がもたらされることが相乗的に働いた結果と推察される。

萎縮筋の組織酸素飽和度の上昇は基本的にはこの部位の血液循環促進を反映していると考えられる。萎縮筋における血液循環促進作用は筋力増強訓練を考えた場合、代謝を円滑にするため好ましい作用である。廃用性筋萎縮が避けられない骨折後やアキレス腱断裂後のギプス固定患者では筋組織における代謝が円滑に行われなため容易に筋疲労を来しやすく、かつ、筋損傷の修復が遅延することが予想される。また、炎症物質が滞りやすくなるため痛みや炎症症状が長引くことも予想される。炭酸泉浴を適用することにより血流の改善による筋持久力の改善、筋疲労の改善、筋損傷の治療促進が得られる。炭酸泉浴は、筋萎縮に陥った者に対するリハビリテーションにおいて、その作用と効果を見極め適用するならば有用性の高い水治療法と言える。

## Abstract

Carbon dioxide ( $CO_2$ )-enriched water bathing has a pronounced vasodilating effect and it promotes blood circulation. Moreover, it has the effect of raising oxygen saturation levels in muscles. At the same time, there are many patients in clinical practice with disuse muscle atrophy caused by physical de-conditioning. We tested the effects on laboratory animals of raising oxygen saturation in disuse muscle atrophy muscles by bathing in  $CO_2$ -enriched water. A near-infrared spectroscopy was used to evaluate tissue (muscle) oxygen saturation ( $StO_2$ ).

The disuse muscle atrophy in rat hind limbs was caused by hind limb suspension during a three week period. The animals were divided into two groups (a fresh-water bathing group and a  $CO_2$ -enriched-water bathing group). The animals in both groups were given baths (in fresh water or  $CO_2$ -enriched water) under standardized conditions (temperature,  $38^\circ C$ ; depth, 5cm; immersion time, 15 minutes) immediately after removal of hind limb suspension. The measurements were conducted just before immersion, just after immersion, 30 minutes after immersion, and 60 minutes after immersion.

$CO_2$ -enriched-water bathing significantly increased the  $StO_2$  in the muscles of rats with disuse muscle atrophy, although there were no significant differences with fresh-water bathing.

Because vascular density decreases in the muscles of disuse muscle atrophy patients, it causes a reduction of the metabolism in the muscles. Therefore, the patients suffer from muscle fatigue and have delayed muscle tissue repair following muscular injury. Furthermore, as a low excretion of inflammatory material occurs, pain and/or inflammation symptoms linger. If  $CO_2$ -enriched water bathing is applied to disuse muscle atrophy, improvements in muscle endurance, muscle fatigue and enhanced muscle damage healing will be provided by increased blood flow. If the promising effect of  $CO_2$ -enriched water bathing is applied to disuse muscle atrophy,  $CO_2$ -enriched water bathing could become widely accepted as a hydrotherapy treatment.

## 参考文献

1. Nishimura N, Sugeno J, Matsumoto T et al (2002) Effects of repeated carbon dioxide-rich water bathing on core temperature, cutaneous blood flow and thermal sensation. *Eur J Appl Physiol* 87:337-342
2. Hartmann BR, Bassenge E, Pittler M (1997) Effect of carbon dioxide-enriched water and fresh water on the cutaneous microcirculation and oxygen tension in the skin of the foot. *Angiology* 48:337-343
3. Ito T, Moore JI, Koss MC (1989) Topical application of CO<sub>2</sub> increases skin blood flow. *Invest Dermatol* 93:259-262
4. 石田恵子, 荒木靖, 武田功 他 (2002) 不感温度での人工炭酸泉浴によって改善をみた閉塞性動脈硬化症の症例. *理学療法* 29 卷 Suppl.2:244
5. 荒木靖, 石田恵子, 武田功 他 (2002) 仙骨部褥瘡に対する人工炭酸泉浴の下肢局所浴施行による検討. *理学療法学* 29 卷 Suppl.2:243
6. 高橋悦子, 岸田奈瑠美, 妹尾弘幸 他 (2003) 足背部難治性潰瘍患者へ炭酸泉局所浴を適応し治癒促進効果を得た症例. *理学療法学* 30 卷 Suppl.2:321
7. 荒木靖, 石田恵子, 今田奈弥 他 (2004) 高濃度人工炭酸泉下肢局所浴負荷前後における血液ガス動態の変化についての検討. *理学療法学* 31 卷 Suppl.2:176
8. 森田珠枝, 中嶋正明, 祢屋俊昭 (2003) 人工炭酸泉の血液動態に及ぼす効果. *理学療法ジャーナル* 37 卷 7号 :559-562
9. 荒木靖, 石田恵子, 岩本貴宏 他 (2003) 人工炭酸泉浴負荷による局所血流の変化とその持続性の検討 超音波診断装置を利用した測定方法の試み. *理学療法学* 30 卷 Suppl.2:307
10. 森田珠枝, 岸田奈瑠美, 武田功 他 (2002) 人工炭酸泉局所浴における浸漬部と非浸漬部の血液動態の近赤外線分光法による評価. *理学療法学* 29 卷 Suppl.2:245
11. E Morey-Holton, TJ Wronski (1981) Animal model for simulating weightlessness. *The Physiologist* 24:45-48

