

機関番号：33920  
 研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20500586  
 研究課題名(和文) 炭酸水による血管拡張作用および温熱作用の機序解明 —スポーツ科学への応用—  
 研究課題名(英文) The Mechanisms of cutaneous vasodilation and thermoregulatory responses during CO<sub>2</sub> bathing -Application to sports science-  
 研究代表者  
 西村 直記(NISHIMURA NAOKI)  
 愛知医科大学・医学部・講師  
 研究者番号：40278362

研究成果の概要(和文)：高濃度人工炭酸水への浸漬による生理的効果について検討した。炭酸水の主成分であるCO<sub>2</sub>は皮膚から吸収されることで、皮膚血管を拡張(末梢循環の改善)させ、温感を促進(高水温による生体への負担軽減)させることが確認できた。また、夜間睡眠前の炭酸水への入浴は、睡眠初期の体温の低下を促進させ、睡眠中の迷走神経活動を亢進させるためにより深い睡眠が得られ、積極的な疲労回復効果が期待できることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：We examined the effects of carbon dioxide-rich water (CO<sub>2</sub>) bathing on cutaneous vasodilatation and thermoregulatory responses. Cutaneous blood flow in the immersed skin was significantly increased during CO<sub>2</sub> bathing. Furthermore, the CO<sub>2</sub> bathing before sleep significantly decreased the core temperature and increased a parasympathetic nerve activity. Therefore, a positive effect of recovery from fatigue can be expected by CO<sub>2</sub> bathing.

#### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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：スポーツ障害

#### 1. 研究開始当初の背景

高濃度炭酸水(1000ppm)は強力な皮膚血管拡張効果や温熱効果(さら湯よりも約2°C温かく感じる)を持つことが知られている。ヨーロッパでは1000ppmを超える天然の炭酸泉が多く存在することから、炭酸泉を温泉療法として用いている。にもかかわらず、皮膚血管拡張効果や温熱効果の機序については未だ明らかにされていない。これは日本には1000ppmを超える天然の炭酸泉は存在しないことも理由のひとつであろう。一方、夜間睡

眠前に高濃度炭酸水へ入浴すると、「疲れが取れやすい」、「ぐっすり眠れる」などの主観評価が得られていることから、わが国でもアスリートに対しても夜間睡眠前の人工炭酸水への入浴が適用されている。しかしながら、これらはいくまで主観的な感想であり、睡眠効率を上げる生理学的根拠については明らかになっていない。これらの機序を明らかにすることで、積極的な疲労回復効果が期待でき、高濃度炭酸水への入浴をスポーツ科学の分野で応用できると考えられる。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究では、まず高濃度炭酸水への浸漬による皮膚血管拡張効果や温熱効果を確認すると共にさら湯への浸漬時と比較を行い、その機序について検討する。

(2) 次に、就寝前の高濃度炭酸水への入浴が、睡眠中の体温および自律神経活動および睡眠震度に及ぼす影響について明らかにするために、さら湯への入浴時と比較・検討する。

## 3. 研究の方法

(1) 高濃度炭酸水への浸漬による皮膚血管拡張効果および温熱効果の検討

### ① 皮膚血管拡張効果

被験者（健常男性）に鼓膜温および皮膚血流プローブを装着させた後、室温 28℃、相対湿度 40% に設定した脱衣室にて、リクライニングチェア上で 10 分間の安静をとらせる。安静の後、浴室に移動させ、槽内に満たした高濃度炭酸水 (1000ppm) もしくはさら湯へ乳頭の高さまで浸漬させ、安静時と同じ姿勢で 20 分間の入浴を行わせる。出浴後は再びリクライニングチェア上に座らせ、20 分間の回復をとらせる。高濃度炭酸水およびさら湯への入浴は順不同とした。水温はいずれも 34℃ とした。

### ② 温熱効果の検討

被験者（健常男性）の前腕屈側部位に、ハッカ油（メントール 30% 以上含有）またはカプサイシン（カプサイシン 65%・ジヒドロキシカプサイシン 35%）を塗布し、一側前腕を高濃度炭酸水（1000ppm）へ、対側前腕をさら湯に 10 分間浸漬させ、浸漬中の温度感覚および痛みの感覚の聞き取りを行った。水温はいずれも 33℃ とした。

(2) 高濃度炭酸水への入浴による疲労回復効果の検討

被験者（健常男性）に湯温 39℃ に設定した高濃度人工炭酸泉へ 10 分間の全身浴（炭酸泉浴）を行かせた後、人工気候室内（室温 24℃、湿度 50%）にて午後 11 時～午前 6 時まで睡眠を行かせた。睡眠中の心電図、脳波、深部温、皮膚血流の測定と、起床直後の気分評価（VAS）の聞き取りを行った。対照実験として、同じ条件下でのさら湯浴を行わせ、同様に睡眠を行かせた。

## 4. 研究成果

(1) 高濃度炭酸水への浸漬による皮膚血管拡張効果および温熱効果の検討

### ① 皮膚血管拡張効果

高濃度人工炭酸水への浸漬部位では明らかな皮膚の紅潮がみられ（図 1）、さら湯への浸漬時と比較して有意に皮膚血流量が増加した（図 2 a）。



図 1. 炭酸水への浸漬による皮膚の紅潮

皮膚血管拡張効果は浸漬部位のみにみられ（図 1）、非浸漬部位では皮膚血流量の増加みられない（図 2 b）ことから、浸漬部位での皮膚血管拡張効果は、神経系を介するものではなく、①経皮的に吸収された CO<sub>2</sub> が血管平滑筋に直接作用したか、②VIP、CGRP などの血管拡張作用のあるメディエーターに作用したと考えられる。

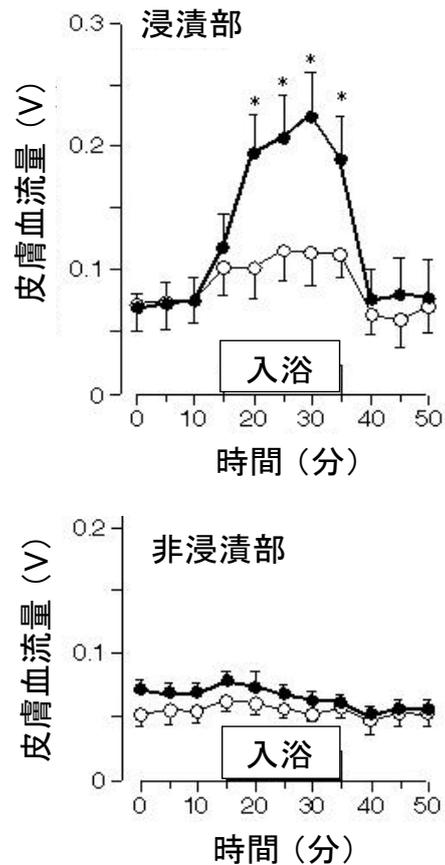


図 2. 炭酸水への浸漬部位 (a) および非浸漬部位 (b) の皮膚血流量の変化

また、CO<sub>2</sub> は酸性物質であることから、細胞外のアシドーシスが血管平滑筋の収縮力を抑制し、筋小胞体からのCa<sup>2+</sup>の放出の減少や、それによる筋フィラメントの収縮力が低下した結果、血管拡張を引き起こした可能性も考えられるが、これらについては今後の検討課題である。

## ② 温熱効果の検討

メントール塗布部位での浸漬中の温度感覚は、炭酸水およびさら湯ともに冷感を感じていたが、さら湯よりも炭酸水で冷感がより弱かった(図3)。これは、炭酸水ではCO<sub>2</sub>による冷受容器の抑制効果とメントールによる刺激効果が相殺された結果であると推察される。

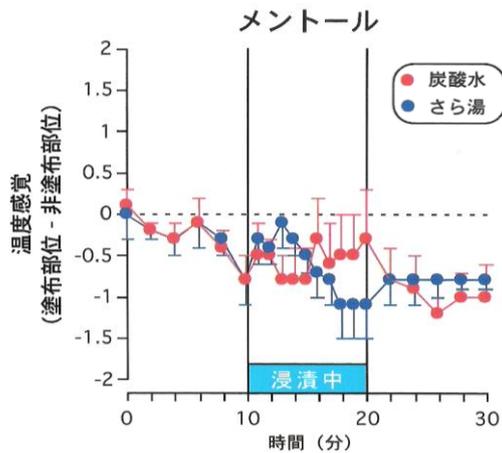


図3. メントール塗布部位での炭酸水およびさら湯への浸漬中の温度感覚の変化

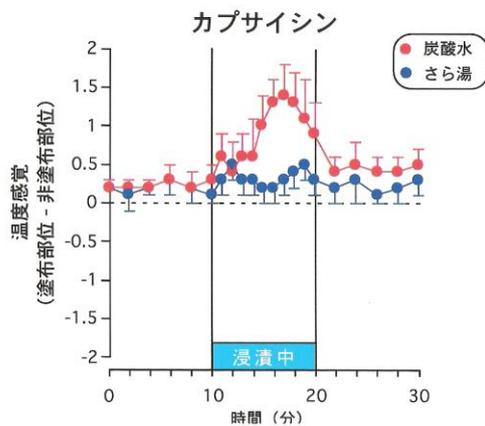


図4. カプサイシン塗布部位での炭酸水およびさら湯への浸漬中の温度感覚の変化

カプサイシン塗布部位での浸漬中の温度感覚は、ほとんどの被験者がさら湯よりも炭酸水でより大きな温感を感じており、塗布部位と塗布していない浸漬部位との温度感覚の差は、さら湯よりも炭酸水の方がより大きかった(図4)。これはCO<sub>2</sub>による温受容器の刺激に加え、カプサイシンによる刺激が、温感を促進したものと考えられる。これらの結果から、メントールおよびカプサイシン塗布部位では、炭酸水およびさら湯への浸漬により異なる温度感覚を示したことから、CO<sub>2</sub>が温度受容器に直接または間接的に作用していることを裏付けることになる。但し、カプサイシン塗布時には痛みが発生するが、それによる温度感覚への影響について今後検討する必要がある。

## (2) 高濃度炭酸水への入浴による疲労回復効果の検討

直腸温は、炭酸水浴後およびさら湯浴後ともに睡眠初期に大きく低下したが、それは炭酸水浴後でやや大きいことから、炭酸水浴後では睡眠初期の発汗や皮膚血管拡張による熱放散の促進がより大きいと考えられた(図5)。これらについては、前頭部皮膚温の低下がさら湯浴後よりも炭酸水後の方がより大きかったことから推察できる。

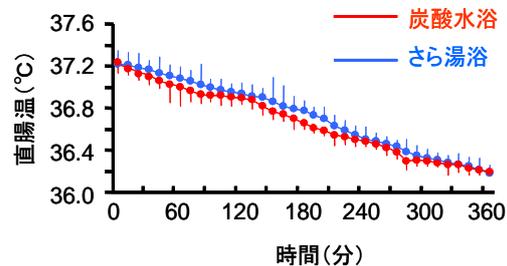


図5. 炭酸水浴後およびさら湯後の睡眠中の直腸温の変化

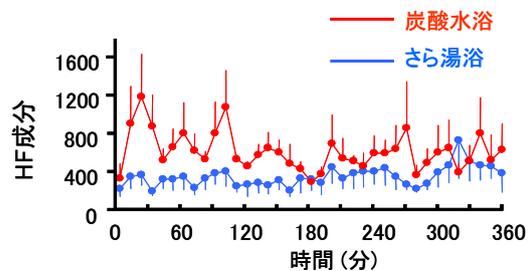


図6. 炭酸水浴後およびさら湯後の睡眠中の心拍数変動 HF 成分の変化

また副交感神経活動の指標となる心拍数変動 HF 成分は、炭酸水後の方がより高値を示したことから、よりリラックスが出来るものと推察できる(図6)。

入眠潜時は、炭酸水浴後がさら湯浴よりも早い傾向にあり(図7)、より深い睡眠深度が炭酸水浴後で得られた(図8)ことから、炭酸水浴後の睡眠は、さら湯浴後よりも更に積極的な疲労回復効果が期待できる。

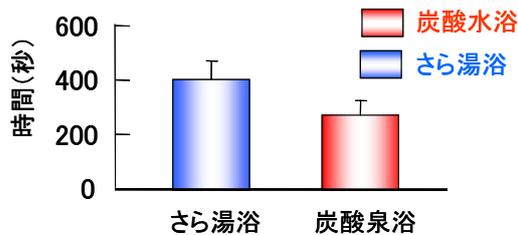


図7.炭酸水浴後およびさら湯後の入眠潜時

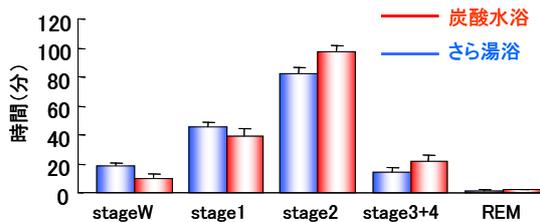


図8.炭酸水浴後およびさら湯後の睡眠深度

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① Sato M, Kanikowska D, Iwase S, Nishimura N, Shimizu Y, Belin de Chantemele E, Matsumoto T, Inukai Y, Taniguchi Y, Ogata A, Sugeno Y, J. Effects of immersion in water containing high concentrations of CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>-water) at thermoneutral on thermoregulation and heart rate variability in humans, Int J Biometeorology, Vol. 53, 1Jan;25-30, 2009.

[学会発表] (計4件)

- ① 西村直記、高濃度人工炭酸泉への入浴が夜間睡眠におよぼす影響、第23回運動と体温の研究会、2009年9月17日、新潟。
- ② 西村直記、菅屋潤壹、岩瀬 敏、西村るみ子、高濃度人工炭酸泉への入浴が夜間睡眠におよぼす効果、第17回日本運動生

理学会大会、2009年7月25日、東京。

- ③ 西村直記、菅屋潤壹、岩瀬 敏、清水祐樹、西村るみ子、高濃度人工炭酸泉への入浴が疲労回復におよぼす効果、第13回日本体力医学会東海地方会、2009年3月15日、愛知。
- ④ 西村直記、高濃度人工炭酸泉浴による疲労回復効果 -睡眠深度を指標として- 第13回人工炭酸泉研究会、2008年12月12日、東京。

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

西村 直記 (NISHIMURA NAOKI)

研究者番号：40278362