

高濃度人工炭素泉が呼吸、循環および 体温調節機能に与える効果

古川 順光・大森 圭・毛利 光宏・宮下 智・内田 勝雄

Effects of Highly Concentrated Artificial Carbonic Acid Bathing on Respiratory, Circulatory and Thermoregulatory Functions.

Yorimitsu FURUKAWA, Kei OMORI, Mitsuhiro MOURI, Satoshi MIYASHITA,
Katsuo UCHIDA

Abstract : Hot-spring treatment has been applied to physical therapy in the rehabilitation. We analyzed effects of highly concentrated artificial carbonic acid bathing (600ppm) on respiratory, circulatory and thermoregulatory functions. Subjects were 10 healthy adult men (30.7 ± 4.1 years old). Cardiac output, heart rate, blood pressure, oxygen uptake, carbon dioxide output, skin and tympanum temperatures were measured continuously before, during and after the bathing at rest. These parameters were compared between warm-water bathing and carbonic acid bathing at 40°C. Two-factor ANOVA test showed no significant difference in these parameters between the both bathing. Rise in the tympanum temperature occurred significantly faster in the carbonic acid bathing than in the warm-water bathing. These results suggest that highly concentrated carbonic acid bathing causes no harmful effect, but is more efficient for heat absorption than warm-water bathing.

Key words : carbonic acid bathing, cardiac output, blood pressure, tympanum temperature, heat absorption

はじめに

炭酸泉はヨーロッパ（とくにドイツ）では古くから臨床で治療に応用され¹⁾、我が国でも近年、炭酸泉の臨床応用が注目されている²⁻⁶⁾。リハビリテーション分野でも物理療法のひとつとして温泉療法が取り入れられている⁷⁾。しかし、天然の炭酸泉を治療に利用できる施設は我が国ではごく限られている。また、研究テーマも温熱、静水圧な

ど物理的効果が中心で、これらの刺激による内分泌系、自律神経系を中心とした生体反応についての研究が今後の課題となっている^{1,8)}。

高分子化学技術の発達により新しい人工膜が開発され、高濃度人工炭酸泉製造装置が実用化された。これにより家庭でも高濃度の炭酸泉を使用し、天然の炭酸泉と同様の効果を得ることが可能となった。本研究では、一般家庭で使用されている入浴剤の約10倍である600ppmという高濃度の炭酸泉をこの装置で作り出し、呼吸、循環および体温調節系に対してどのような効果を与えるかを明らかにすることを目的とした。入浴前から入浴中・入浴後まで連続的に測定した呼吸、循環および体温調節系の諸パラメータについて、さら湯および

山形県立保健医療短期大学理学療法学科
〒990-2212 山形市上柳 260 番地
Department of Physical Therapy, Yamagata School of Health
Science, 260 Kamiyanagi, Yamagata 990-2212, Japan

炭酸泉に入浴した場合を比較した。

対 象

健康成人男性 10 名で, 年齢, 身長および体重はそれぞれ 30.7 ± 4.1 歳, 169.9 ± 4.2 cm, 66.2 ± 15.1 kg (平均±標準偏差) であった。

方 法

1) 入浴方法

高濃度人工炭酸泉製造装置 (MRE-SPA, 三菱レイオンエンジニアリング) で製造した高濃度人工炭酸泉 (600ppm, 以下炭酸泉) と水道水を熱して製造したお湯 (以下さら湯) の 2 種類をそれぞれ 200 リットル用意し, 水温はいずれも 40°C に保った。実験実施時の室内環境は気温 25°C , 湿度 55 ~ 65% とした。それぞれのお湯の給排水は, 被験者が浴槽内に入ったままで行い, 体動による測定値の変化を避けた。被験者には実験開始から終了まで浴槽内で長坐位を保つように指示した。実験プロトコールは, 入浴前安静 24 分, 入浴 42 分, 入浴後安静 24 分の計 90 分とし, 6 分ごとのデータを採用した。また, 入浴は同一被験者で炭酸泉およびさら湯に 1 回ずつ計 2 回, 同一日に行い, 入浴間隔は 3 時間以上とした。

2) 測定項目および測定機器

(1) 心拍出量 (\dot{Q}):

アセチレン再呼吸法¹⁰⁾ で測定した (レスピロモニタ RM-300I, ミナト医科学, RL-600, WESTRON)。再呼吸時間および混合ガス充填時間を考慮し, 6 分間隔で測定した。

(2) 心拍数 (HR):

心電図の R-R 間隔から心拍数を求めた (バイオビュー 1000A, NEC)。

(3) 血圧:

自動血圧計 (Jentow-770, 日本コーリン) で, 1 拍ごとの収縮期血圧 (SBP) および拡張期血圧 (DBP) を測定し 1 分間で平均した。

(4) 1 回換気量 (TV), 分時換気量 (\dot{V}_E):

呼吸流量計で breath-by-breath の呼出量を測定し, これを TV とした。TV に呼吸数を掛けて \dot{V}_E を求めた。(レスピロモニタ RM-300I, ミナト医科学)。

(5) 酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2}), 炭酸ガス排出量 (\dot{V}_{CO_2}): 質量分析計 (RL-600, WESTRON) で呼気酸素および炭酸ガス濃度を測定し, 上記 \dot{V}_E を用いて \dot{V}_{O_2} および \dot{V}_{CO_2} を算出した。

(6) 動脈血酸素飽和度 (SpO₂):

パルスオキシメーター (Biox3740, Ohmeda) で耳朶の動脈血酸素飽和度を測定した。

(7) 深部体温:

赤外線鼓膜体温計 (Thermo Scan ProLT, ブラウン) で鼓膜温を測定し, 深部体温とした。

(8) 体脂肪率:

体内脂肪計 (TBF-102, タニタ) を使用した。

(9) 皮膚血流量:

レーザー血流計 (LBF-III, バイオメディカルサイエンス) のセンサーを上腕部 (浴槽外) の皮膚にテープで固定して測定した。測定値は入浴前安静時に対する % で示した。

(10) 浴槽外表面温度:

サーモグラフィ (コンパクトサーモ TVS-2000Mk II, アヴィオニクス) で, 眉間, 耳垂, 胸骨柄, 肩峰, 上腕中点の温度変化を測定した。あわせてサーミスタ温度計 (D922, タカラサーミスタ) を使用し, 胸骨柄・肩峰の中点の温度変化を測定した。

また, 以下の項目は実測値をもとに計算で算出した。

$$(11) \text{ 動静脈酸素較差 (AVO}_2 \text{ diff)} = \dot{V}_{O_2} / \dot{Q}$$

$$(12) \text{ 1 回拍出量 (SV)} = \dot{Q} / \text{HR}$$

$$(13) \text{ 総末梢血管抵抗} = \text{平均血圧} / \dot{Q}$$

3) 統計処理

測定結果は 2 要因分散分析 (反復測定) を用い, 水の種類及び時間変化による主効果を求め, それぞれに有意な分散が検出されたときには交互作用を求めた。有意水準は 5% とした。

結 果

各データの分散分析の結果を Table 1 に示す。

1) 循環器系パラメータ (\dot{Q} , HR, SV, SBP, DBP, AVO₂ diff, 皮膚血流量, 総末梢血管抵抗) に対する水の種類の主効果は入浴中および入浴後とも認められなかった。

2) 呼吸系パラメータに対する水の種類の主効果は, 入浴中, 入浴後とも認められなかった。

Table 1 入浴中、入浴後の各測定項目のF値

入浴中									
	\dot{Q}	HR	SV	SBP	DBP	動静脈較差	\dot{V}_{O_2}	\dot{V}_{CO_2}	皮膚血流量
1. 主効果: 水の種類	0.88	1.45	0.005	0.03	0.08	0.20	0.13	1.00	0.81
2. 主効果: 時間	4.86*	103.8*	4.21*	1.57	1.78	2.56*	8.10*	13.77*	25.5*
3. 交互作用	1.53	1.77	0.82	0.71	0.48	1.33	0.55	2.15	1.55
4. 自由度									
	総末梢血管抵抗	深部体温	皮膚温	眉間	耳垂	胸骨柄	肩峰	上腕中点	平均
	0.71	0.81	0.39	0.00	0.13	2.84	0.12	0.28	0.48
	4.24*	40.0*	28.1*	3.10*	18.1*	2.58*	2.21*	0.99	2.32*
	0.17	1.15	0.53	1.81	1.68	1.67	2.40	0.89	0.83
入浴後									
	\dot{Q}	HR	SV	SBP	DBP	動静脈較差	\dot{V}_{O_2}	\dot{V}_{CO_2}	皮膚血流量
1. 主効果: 水の種類	0.91	0.001	1.33	0.06	1.18	0.06	0.77	0.01	1.84
2. 主効果: 時間	1.97	59.1*	5.56*	1.10*	1.20	0.39	2.83*	3.70*	29.9*
3. 交互作用	0.42	1.80	1.30	0.26	0.58	0.78	1.45	0.23	1.29
4. 自由度	(1, 5)			(1, 8)	(1, 7)	(1, 5)			
	総末梢血管抵抗	深部体温	皮膚温	眉間	耳垂	胸骨柄	肩峰	上腕中点	平均
	1.19	0.32	4.37	0.76	2.48	3.12	0.62	1.03	2.03
	3.88*	30.5*	37.0*	6.66*	5.26*	4.05	3.94*	0.24	2.25
	0.03	1.29	1.68	0.73	0.97	1.68	2.33	2.36	1.84

* $p < 0.05$: 自由度の記載のない項は、(1,9)で共通

- 3) 体温調節系パラメータに対する水の種類の主効果は、入浴中、入浴後とも認められなかった。
 - 4) その他パラメータに対する水の種類の主効果は入浴中、入浴後とも認められなかった。
- 以上のように、本実験では炭酸泉とさら湯と間で全てのパラメータについて統計的有意差が生じなかった。

考 察

炭酸泉入浴とさら湯入浴の間で、測定した呼吸、循環および体温調節系の指標としたすべてのパラメータに有意差がなかった。このことは高濃度炭

酸泉入浴がさら湯入浴と同様に、生理的に悪影響をもたらすものではないことを示している。以下では、炭酸泉に更にどのような効果が期待できるかを検討する。

1) 呼吸機能

古元ら¹⁵⁾によるウサギを用いた実験によれば、さら湯 (pH6.1-6.2) 入浴では、皮下組織中の酸素分圧 (P_{O_2})、炭酸ガス分圧 (P_{CO_2}) とともに有意な変動を認めないが、炭酸泉 (pH 5.96-5.50, 370ppm) 入浴中は CO_2 の経皮的吸入により、皮下および筋組織、血液、リンパ液などの P_{O_2} 、 P_{CO_2} がともに上昇すると報告されている。また、 \dot{V}_{O_2} は 34-36°C の

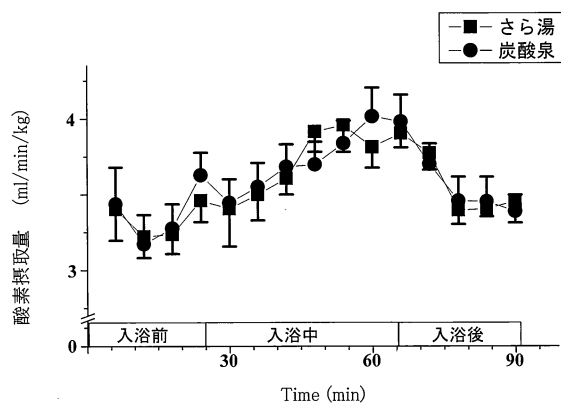


Fig. 1 酸素摂取量変化

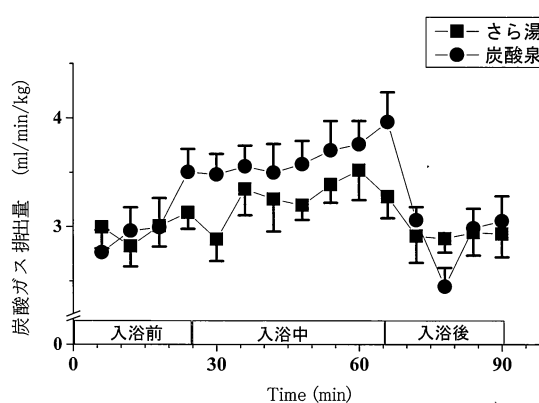


Fig. 2 炭酸ガス排出量変化

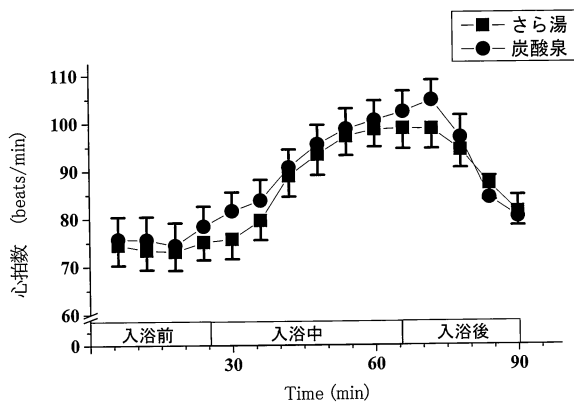


Fig. 3 心拍数変化

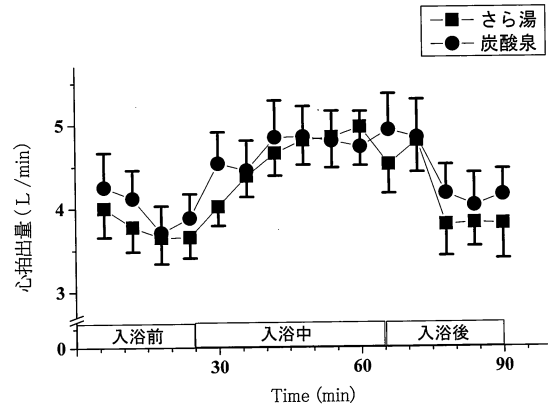


Fig. 4 心拍出量変化

入浴で最も低く、温度上昇による血液循環および代謝の亢進とともに増加するとされている^{12,13)}。これらのことより本実験の炭酸泉入浴において、 $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ が増加することが予想された。しかし、呼気ガス分析の結果では、入浴中の $\dot{V}O_2$ (Fig.1) は炭酸泉とさら湯の間で差がなかった。 $\dot{V}CO_2$ (Fig.2) は、炭酸泉入浴中に大きくなる傾向が示された。 $\dot{V}O_2$ に差がなかったことから、 $\dot{V}CO_2$ の上昇は代謝の亢進に起因するものではないと考えられる。入浴中に上腕部で経皮的動脈血ガス分圧測定装置 (ラジオメータ, TCM3) を用いて測定した動脈血 Pco_2 にさら湯と炭酸泉で差がなかったことから、入浴中の炭酸泉から蒸発した炭素ガスの吸入により換気が亢進した結果、 $\dot{V}CO_2$ が上昇したと考えられる。

2) 循環機能

心拍出量の調節は、静脈還流量 (前負荷) および総末梢血管抵抗 (後負荷) に依存する。全身的な調節の意義としては心拍出量を維持し、血圧勾

配に応じて血流量を確保することにある。総末梢血管抵抗に変動が生じると、心拍出量に変化し、両者の積である血圧は一定に保持される。また、各部位の血流の変化に応じて他の臓器の血管抵抗が変化し、血流の適正な再配分が行われる。その結果、血圧の変動は可能な限り小さくなり、身体全体の循環系の恒常性が保たれる¹¹⁾。水温 42 ~ 45 °C の高温浴や、15 ~ 20 °C の冷水浴では交感神経刺激作用があり、代謝亢進、体温上昇、血圧上昇、消化管蠕動運動抑制などの作用があるといわれている¹²⁾。また、DBP の変動が 30 °C 以下の入浴で増加し、SBP, DBP ともに 36 °C 付近の入浴で減少するとの報告もある。さらに本研究で使用した温度 (40 °C) では、代謝亢進、深部体温の上昇、SBP, DBP の下降などの作用があるとされている。そこで炭酸泉およびさら湯入浴による循環応答の結果を検討すると、HR (Fig.3) は炭酸泉とさら湯で差がなく、 \dot{Q} (Fig.4), SV (Fig.5) ともに炭酸泉の方がやや高い傾向がみられた。また、SBP (Fig.6),

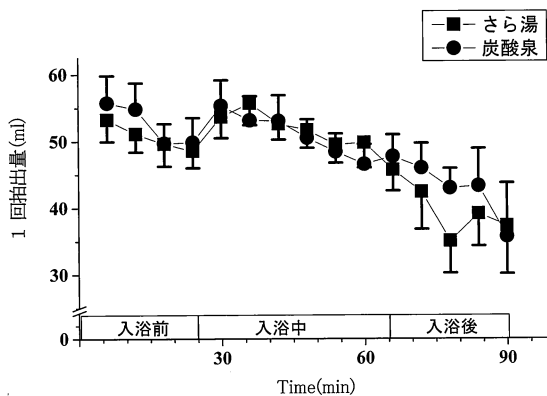


Fig. 5 1回拍出量変化

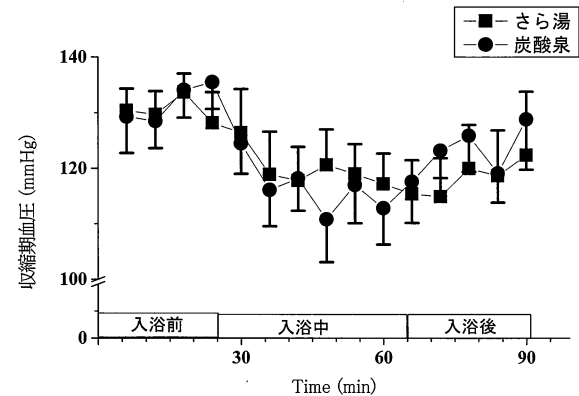


Fig. 6 収縮期血圧変化

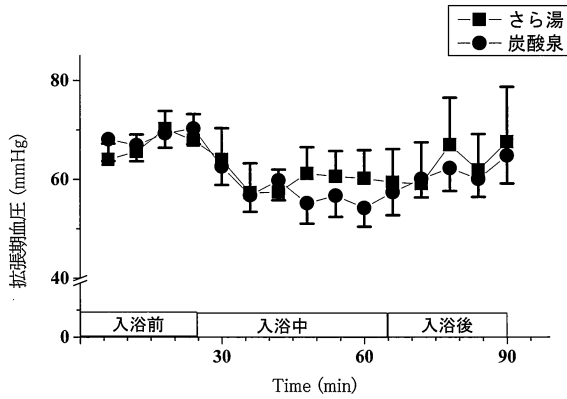


Fig.7 拡張期血圧変化

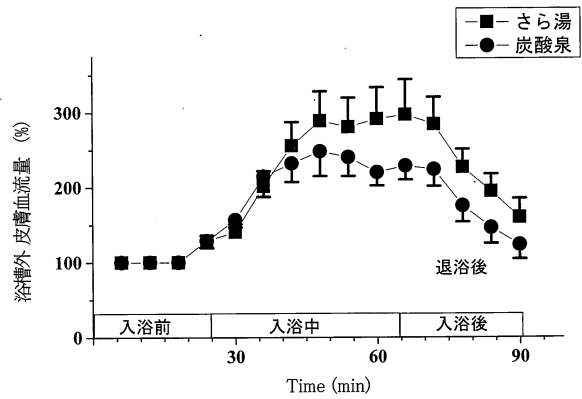


Fig.8 浴槽外皮膚血流量変化
入浴前の値を基準(100)に、入浴中、退浴後の変化を示す

DBP (Fig.7) ともに入浴後半で炭酸泉の方が低い傾向がみられた。このように炭酸泉でSBPが上昇しなかったのは、血管抵抗が下がったことに起因すると考えられ、これはDBPが下降していることから裏付けられる。一方、浴槽外前腕部皮膚血流量 (Fig.8) は炭酸泉の方が低い傾向がみられた。このことは入浴中の浴槽内にある部位の血管拡張、血流量増加が起こり、浴槽外の血流量が減少するという血流の再配分が起きた可能性が考えられる。したがって、炭酸泉ではさら湯に比べ、血管拡張が起こりやすく血圧上昇の抑制が大きいことが考えられる。また、前負荷が増大したことは、背臥位と似たような状態 (静脈還流量が増える) が炭酸泉入浴で生じていることを示唆している。堀切ら¹³⁾は温熱による血管拡張作用が前負荷、後負荷の軽減をもたらし、温水浴 (41℃, 10分) やサウナ浴 (60℃, 15分) が慢性重症心不全 (陳旧性心筋梗塞, 拡張型心筋症, 閉鎖性不全症型心臓弁膜症) を対象に、非常によい治療効果を示すことを報告している。一方、高温浴 30~60分後に血液粘性の上昇が認められたとの報告もある¹⁴⁾。これらのことから、老人や心疾患患者など疲労やストレス、血圧上昇など避けなければならない患者にとって、入浴中の血圧上昇が小さい炭酸泉が有用であることを示している。

3) 体温調節機能

炭酸泉の方がさら湯と比較して、早い時間で深部体温が上昇していた (Fig.9)。温熱の生理作用の一つとして代謝亢進があり、36℃の温度を最低に、そこから温度が上昇しても下降しても身体での代謝が盛んになり、熱産生および $\dot{V}O_2$ が増加す

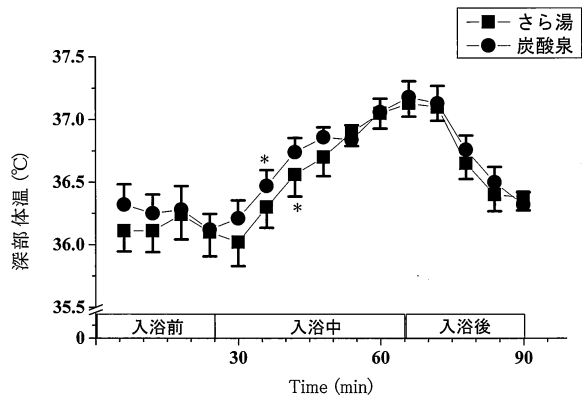


Fig.9 深部体温 (鼓膜温) 変化
*入浴前値に対し有意差が見られた測定点を示す (p<0.05)

るとされている¹²⁾。体温上昇は熱産生と熱放散の差で決定される。炭酸泉とさら湯で $\dot{V}O_2$ に差がなかったことは、熱産生に起因する差は小さいものと考えられる。また、体温よりも高い40℃のお湯への入浴であるから、浴槽内での外界への熱放散は無視され、熱が吸収されたと考えることができる。したがって、この深部体温の上昇は炭酸泉の方が水からの熱吸収効率がよい (温まりやすい) ことを示している。

以上の結果から、高濃度炭酸泉入浴は呼吸、循環および体温調節機能に悪影響をもたらすのではなく、むしろ血圧上昇をおこしにくく、暖まりやすいという長所を持つことが示唆された。

謝 辞

炭酸泉の実験に対する(株)三菱レイヨン、(株)三菱レイヨン・エンジニアリングおよび(株)テクノ・モ

リオカのご協力に感謝申し上げます。また、本研究は㈱三菱レイヨンおよび㈱テクノ・モリオカの受託研究として研究費の一部に援助を受けました。

文 献

- 1) 萬 秀憲: 学会報告・最近の温泉学会から. フレグランスジャーナル 69, 82-84, 1984.
- 2) 松岡正敬, 前田真治, 正木かつら, 頼住孝二, 糠沢達志: 脳血管障害患者における人工炭酸泉浴による炭酸ガス吸入と脳循環. 日温気物医誌 57, 129-134, 1994.
- 3) 白倉卓夫, 田村耕成, 武 仁, 倉林 均, 久保田一雄, 砂川 隆, 萬 秀憲: 高濃度人工炭酸泉浴の治療抵抗性高血圧症, とくに夜間非降下型患者の日内血圧変動におよぼす効果. 日温気物医誌 56, 119-125, 1993.
- 4) 田中信行, 日吉俊紀, 川平和美, 竹迫賢一: 人工炭酸泉浴(花王バブ浴)による本態性高血圧症の血圧, 循環機能の変化. 日温気物医誌 50, 87-93, 1987.
- 5) 田原 亨, 安田正之, 延永 正: 人工炭酸泉浴の慢性関節リウマチに対する効果. 日温気物医誌 54, 224-230, 1991.
- 6) 日吉俊紀, 田中信行, 谷口幸子, 土橋和子: 人工炭酸泉浴剤による褥創治療について. 総合リハ 17, 605-609, 1989.
- 7) 森 和, 高橋暁正: 物理療法の実際 (pp.218-222). 南山堂, 東京, 1985.
- 8) 萬 秀憲: 炭酸ガス浴剤の進歩と課題. フレグランスジャーナル臨時増刊 8, 23-30, 1987.
- 9) 萬 秀憲, 久保裕一郎, 江口泰輝, 砂川 満, 河本知二, 古元嘉昭, 古元順子: 人工炭酸泉浴に関する研究・第4報人工炭酸浴の効果. 岡山大学温泉研究所報告 54, 1-12, 1984.
- 10) Sackner, M.A., Greenelch, D., Heiman, M.S., Epstein, S., Atkins, N: Diffusing capacity, membrane diffusing capacity, capillary blood volume, pulmonary tissue volume, and cardiac output measured by a rebreathing technique. American Review of Respiratory Disease 111, 157-165, 1975.
- 11) 杉晴夫編: 人体機能生理学改訂第2版 (pp.481-510). 南江堂, 東京, 1991.
- 12) 石川友衛: 運動生理学第3版 (pp.348-349). 医歯薬出版, 東京, 1998.
- 13) 堀切 豊, 田中信行: Underwater exercise の循環器系疾患への応用. JOURNAL OF CLINICAL REHABILITATION 7, 683-687, 1998.
- 14) 杉元雅晴, 藤木勇治: 物理療法の血圧管理. 理学療法 15, 459-463, 1998.
- 15) 古元嘉昭, 河本知二, 砂川 満, 萬 秀憲, 久保裕一郎, 江口泰輝: 人工炭酸泉浴と組織循環. 日生氣誌 22, 31-35, 1985.

— 1998. 11. 11. 受稿, 1999. 2. 4. 受理 —

要 約

温泉療法はリハビリテーション分野で物理療法の手段の一つとして取り入れられている。本研究では、高濃度の炭酸泉(600ppm)を人工的に作り出し、呼吸、循環および体温調節系に対してどのような効果を与えるかを明らかにすることを目的とした。健常成人男性10名(30.7±4.1歳)を対象に、入浴前から入浴後まで連続的に測定した心拍出量、心拍数、血圧、酸素摂取量、炭酸ガス排出量、皮膚温および鼓膜温について、40℃のさら湯および炭酸泉に入浴した場合を比較した。二元配置分散分析の結果、両者に有意差は認められなかった。しかし、深部体温は炭酸泉の方が入浴から有意に早く上昇していた。このことから、炭酸泉入浴がさら湯入浴と同様に生理的な入浴であるだけでなく、水からの熱吸収効率がよい(温まりやすい)可能性があることが示唆された。

キーワード : 炭酸泉入浴, 心拍出量, 血圧, 鼓膜温, 熱吸収