

高濃度人工炭酸泉を用いた部分浴が 健常人の生理反応に及ぼす影響

奴久妻 智代子¹⁾ 大石 由貴子¹⁾ 藤井 智也²⁾
齋藤 聡子²⁾ 成井 諒子²⁾

I. はじめに

温泉療法は、古来よりヨーロッパをはじめ我が国でも親しまれてきた伝統的療法であり、その臨床効果は経験的に広く知られていた。温泉が生体に及ぼす作用としては、温熱、静水圧、浮力、粘性等の特性を含む物理作用、自律神経系の調整を初めとする総合的生体調整作用、そして多様な温泉成分が経皮的、あるいは吸入により体内に吸収されることでもたらされる化学作用の3種類に大別される¹⁾。中でも化学作用にかかわる多様な温泉成分のうち、炭酸ガスは顕著な血管拡張作用を有し、末梢循環の改善効果が高い成分である²⁾³⁾。

日本国内には天然の炭酸泉はきわめて少ないが、炭酸泉製造装置が開発され⁴⁾、1,000 ppmの高濃度炭酸泉が人工的に作製できるようになると、その血流促進効果や、さら湯より低い湯温でも深部体温の上昇が得られやすいこと等が明らかになり⁵⁾⁶⁾、手軽に炭酸泉浴を試す方法として部分浴、特に足浴に応用されてきた^{7)~9)}。

一方、入浴時の温浴効果を増強する物理的側面からの工夫として、気泡浴や渦流浴が普及し、その相乗的な作用が組織血流量や体温上昇、自律神経に与える影響、さらには安全性について、多方面から研究が行われている^{10)~14)}。

今回筆者らは、38°Cの温水を用いた足浴と手浴について、さら湯浴と炭酸泉浴における末梢組織血流量の違いを明確にし、加えて全身作用が足浴に劣

る手浴の作用をより強力にするために、炭酸泉発生機能に渦流発生装置を備えた手浴用水治療法用圧注装置、カーボセラオンパー (SPA7001) を用いて、炭酸泉と渦流の相乗効果についても検討した。

II. 方法

1. 足浴

1) 被験者

38歳から53歳まで (平均年齢45.0±5.8歳) の健常成人男女各4名、計8名を対象とした。人への足浴の適用に際しては、インフォームドコンセントを十分に行い、「臨床研究に関する倫理指針」(平成20年厚生労働省告示第415号) を遵守した。

2) 足浴器

足浴器には、±0.1°C単位で湯温コントロールが可能な温調機 (株式会社ソアラメディカル) を備えた浴槽容量16Lの足浴器を、人工高濃度炭酸泉の製造には、中空糸膜を用いた炭酸泉製造装置 (三菱レイヨン・クリンスイ株式会社) を用いた。

3) 足浴

実験の種類はさら湯浴と炭酸泉浴の2種類を設定し、炭酸ガス濃度は1,000 ppmとした。室内は室温24°C±1°C、湿度50%±10%に設定し、椅子に腰かけた状態で5分間の安静後、38°Cの温水に足底から20 cmまでを浸漬し、30分間維持した。

2. 手浴

1) 被験者

31歳から59歳まで (平均年齢43.9±8.0歳) の健常成人男女各5名、計10名を対象とした。人への手浴の適用に際しては、足浴同様インフォームドコンセントを十分に行い、足浴同様、「臨床研究に

1) 株式会社ソアラメディカル

2) サーモセルクリニック

関する倫理指針」を遵守した。

2) 手浴器

手浴器には、浴槽容量 23 L の水治療用圧注装置の浴槽内に、渦流発生装置と中空系膜を用いた人工炭酸泉製造装置を組み込んだ SPA7001 (カーボセラオンパー, 三菱レイヨン・クリンスイ株式会社) を用いた。温水循環ポンプ稼働時には渦流発生用ノズルより最大値 115 ~ 140 dB (> 16 kHz 実測値, JIS T 0601-1 適用) の超音波が発生するため、その強度範囲において超音波の作用を含むものとする。

3) 手浴

実験の種類は、①さら湯浴 (渦流は停止) と②炭酸泉浴 (渦流は停止) に加え、③渦流浴 (さら湯浴 + 渦流) と④炭酸泉渦流浴 (炭酸泉浴 + 渦流) の計 4 種類とし、湯温はいずれも 38°C に設定した。炭酸泉浴の場合、溶存炭酸ガス濃度は 1,000 ppm とした。室内は室温 24°C ± 1°C, 湿度 50% ± 10% に設定し、座位にて浴槽に右側上腕部を 30 分間浸漬した。10 名の被験者のうち、末梢組織血流量測定については 10 名全例、その他の測定項目については、①では 10 名全例、②と③では 10 名の中から無作為に抽出した男女各 3 名の計 6 名、④では男 5 名、女 4 名の計 9 名を実験に供した。

3. 検査

1) 末梢組織血流量の測定

レーザードップラー血流計 (ALF21R, Advance 社製) を用いて末梢組織血流量を測定した。C 型プローブを、足浴では左足背部に、手浴では浸漬した右手背部に、それぞれ皮膚から 1 mm 離して装着した。いずれも浸漬前 5 分間の安静時と、浸漬開始から浸漬終了まで 30 分間の浸漬時に、持続的に末梢組織血流量を測定し、5 分間隔で平均値を算出するとともに、浸漬後 15 分と 30 分の積分値を、浸漬直後の値を 0 としてそれぞれ算出した。

2) 血液ガス分析

足浴、手浴いずれの場合にも、浸漬前、浸漬後 15 分および 30 分の計 3 回、肘正中皮静脈あるいは橈側皮静脈より末梢血を採取し、血液ガス分析装置 (GEM Premier 3000, アイ・エル・ジャパン株式会社) にて、末梢血中の酸素分圧 (pO_2), 二酸化炭素分圧 (pCO_2), および pH を測定した。各パラメータの浸漬前の数値 (pre 値) を 1 として、浸漬後 15

分および 30 分の値を算出した。

3) 末梢血リンパ球と好中球の算定

足浴、手浴ともに、浸漬前、浸漬後 15 分および 30 分の末梢血より、多項目自動血球計数装置 (Pentra60 LC-5000, 株式会社堀場製作所) を用いてリンパ球数と好中球数を算定した。各々 pre 値を 1 として、浸漬後 15 分および 30 分の値を算出した。

4) 自律神経系機能の解析

足浴、手浴ともに、浸漬前、浸漬後 15 分および 30 分の計 3 回、APG ハートレーター (SA-3000P, 東京医研株式会社製) を用いて、3 分間の指尖脈波による心拍間変異度分析にて自律神経系機能の評価を行った。副交感神経系 (迷走神経) の活動指標として高周波成分 (High frequency : HF) を、交感神経系と副交感神経系の活動を同時に反映する指標として低周波成分 (Low frequency : LF) を、また交感神経の付加的情報の指標として超低周波成分 (Very low frequency : VLF) を算出し、自律神経活性度を示す全周波数成分 (Total power : TP) から VLF を引いた値に対する LF または HF の比を、それぞれ LF Norm (LF 補正值 : 交感神経を反映), HF Norm (HF 補正值 : 副交感神経を反映) とした。各々 pre 値を 1 として、浸漬後 15 分および 30 分の値を算出した。

5) 表皮温の測定

手浴の 4 実験については、浸漬部位である手背部と非浸漬部位である前額部の表皮温を、非接触型皮膚赤外線体温計サーモファインダー Pro (FS-300, 株式会社 HuBDIC-Global 製) を用いて、浸漬前、浸漬後 15 分および 30 分の計 3 回、測定した。各々 pre 値を 1 として、浸漬後 15 分および 30 分の値を算出した。

6) 統計解析

統計解析による比較は、足浴、手浴の各 pre 値に対する経時ポイント値 (末梢組織血流量では 5 分間隔、その他の検査では 15 分間隔) の比較、さら湯浴の各測定値に対するその他温水浴の測定値の比較、ならびにさら湯浴と炭酸泉浴については、手浴に対する足浴の比較をそれぞれ行った。F 検定により等分散と判定された場合には Student の t 検定を、不等分散と判定された場合には Aspin-Welch の t 検定を実施した。統計解析による比較は t 検定の場合はいずれも両側 5% を、F 検定では片側 5%

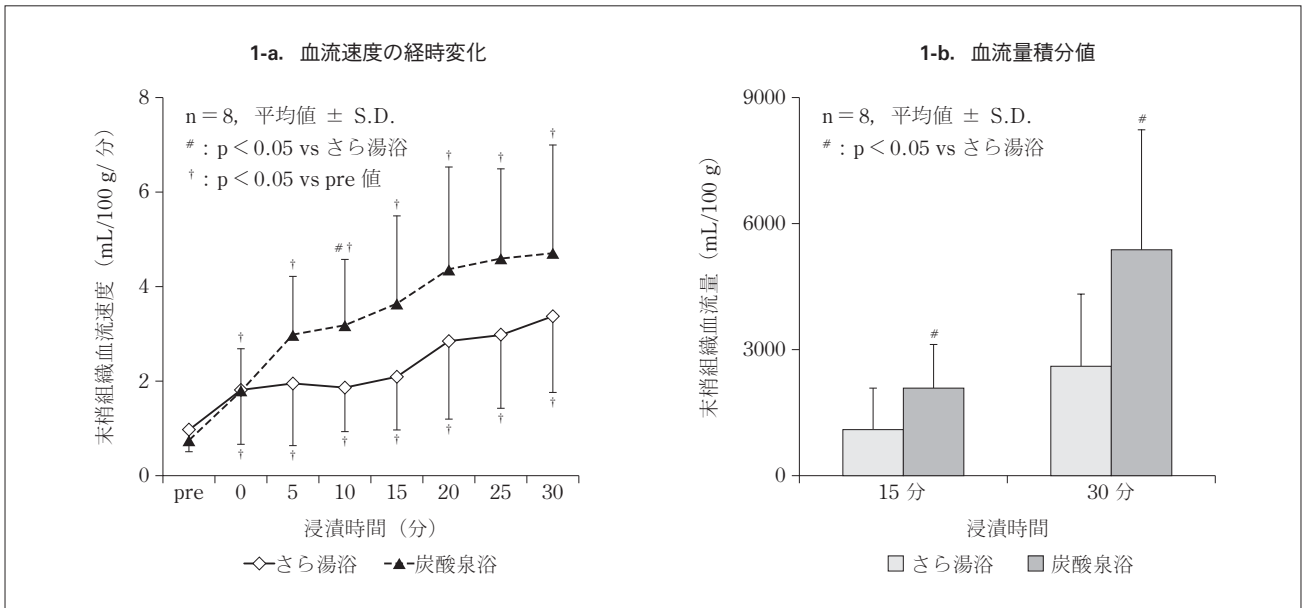


図1 足浴における末梢組織血流速度と血流量の推移

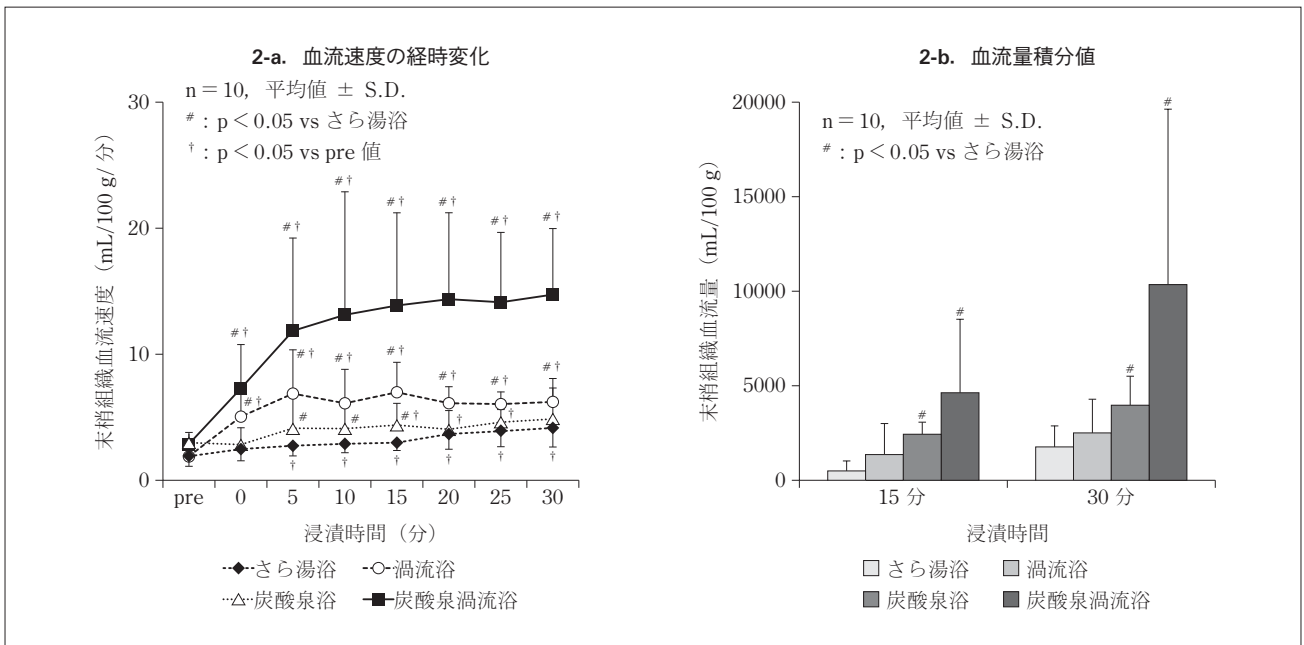


図2 手浴における末梢組織血流量の推移

をそれぞれ有意水準とした。

III. 結 果

1. 末梢組織血流量

図1-a, bに、足浴時足背部の末梢組織血流量の推移と、足浴15分後ならびに30分後における積分値を示す。足浴では、さら湯浴、炭酸泉浴ともに、浸漬直後から5分間隔で算出した各ポイントの温浴中平均血流量は、pre値と比較してそれぞれ有

意な増加を示した。さら湯浴と炭酸泉浴の比較では、浸漬5分後から30分後の間炭酸泉浴の方が高値を示したが、さら湯浴との間に有意差が認められたのは10分後のみであった。足浴15分後と30分後の血流量積分値の比較では、さら湯浴に比べて炭酸泉浴でいずれも有意に高値を示した。

図2-a, bに、手浴時手背部の末梢組織血流量の推移と、手浴15分後ならびに30分後における積分値を示す。手浴では、さら湯浴、炭酸泉浴、渦流

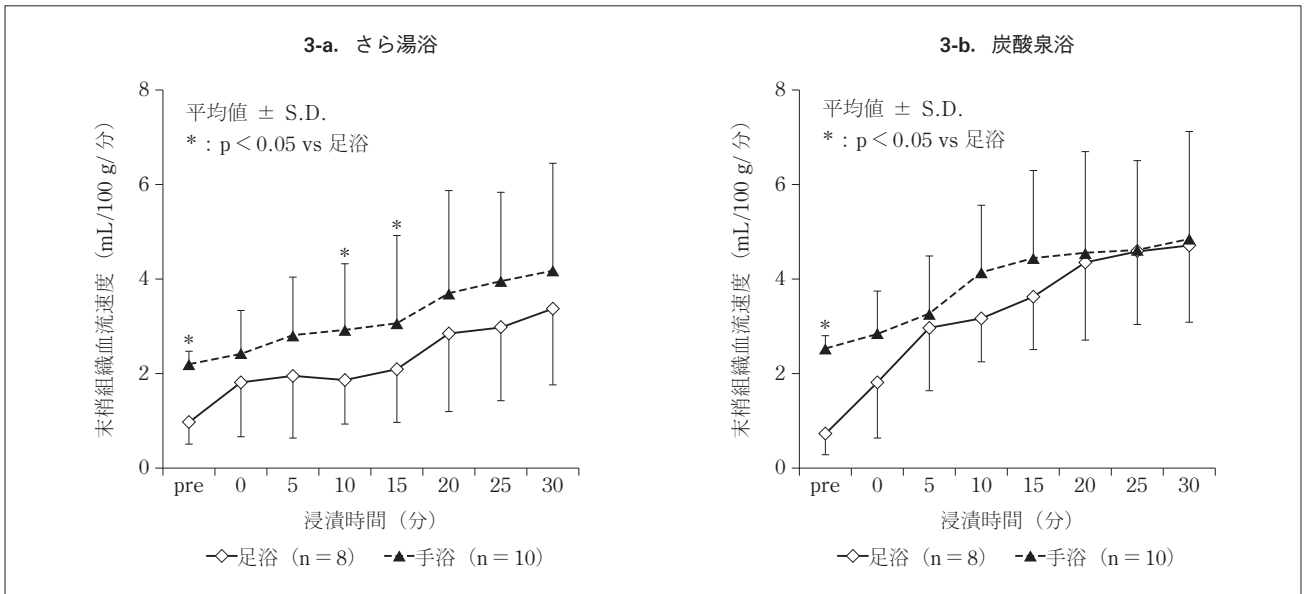


図3 足背部と手背部の末梢組織血流速度の比較

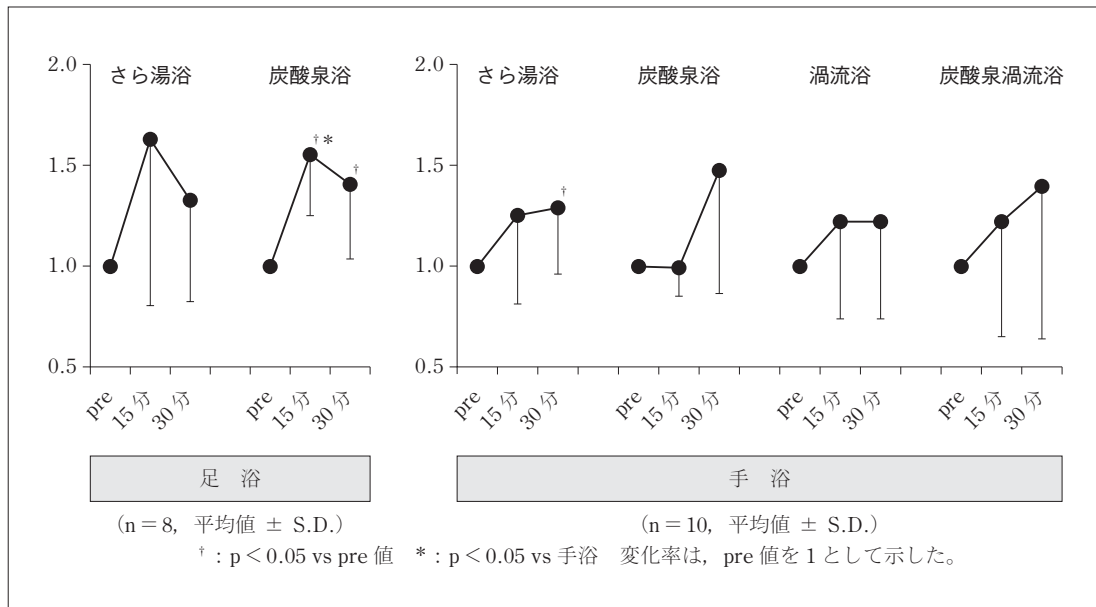


図4 末梢血中 pO₂ の変化率

浴, 炭酸泉渦流浴のいずれの実験においても時間経過とともに血流量の増加を認め, さら湯浴では浸漬 5~30 分後で, 炭酸泉浴では浸漬 15~25 分後で, 渦流浴と炭酸泉渦流浴では浸漬直後から 30 分後で, それぞれ pre 値に比べて有意に増加した。また, さら湯浴と他の温水浴との比較では, 炭酸泉浴では 5~15 分後で, 渦流浴と炭酸泉渦流浴では浸漬直後から 30 分後まで, それぞれ血流量の有意な増加を示した。一方, 浸漬 15 分後および 30 分後の積分値での比較では, さら湯浴と比較して炭酸泉浴と炭酸泉渦流浴でいずれも有意な高値を示した

が, 渦流浴では有意差を認めなかった。

また, さら湯浴と炭酸泉浴についてそれぞれ足背部と手背部の血流量を比較した (図 3)。pre 値はさら湯浴実験でも炭酸泉浴実験でも足背部に比べて手背部の方が有意に高い状態にあった。さら湯浴では浸漬直後に足背部と手背部の血流量には一時的に有意差がなくなるものの, 浸漬 10~15 分後では再び手背部の血流量が足背部を有意に上回った (図 3-a)。一方, 炭酸泉浴では, 浸漬後足背部の血流が急激に手浴の血流量に近づき, 浸漬中はいずれの時間帯でも足背部と手背部の血流量に有意差はみられ

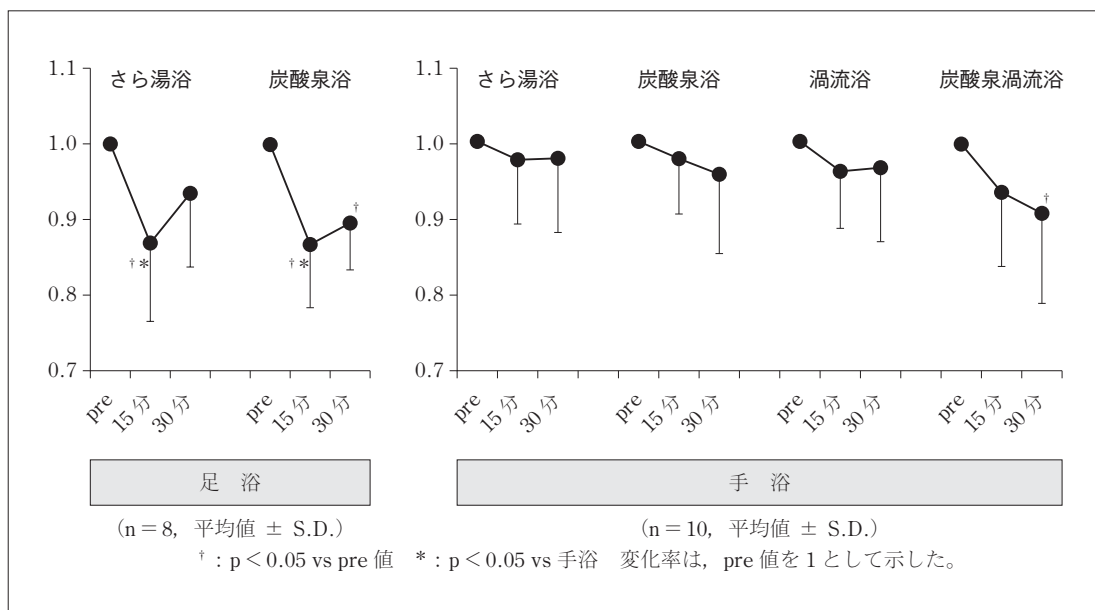


図5 pCO₂ の変化率

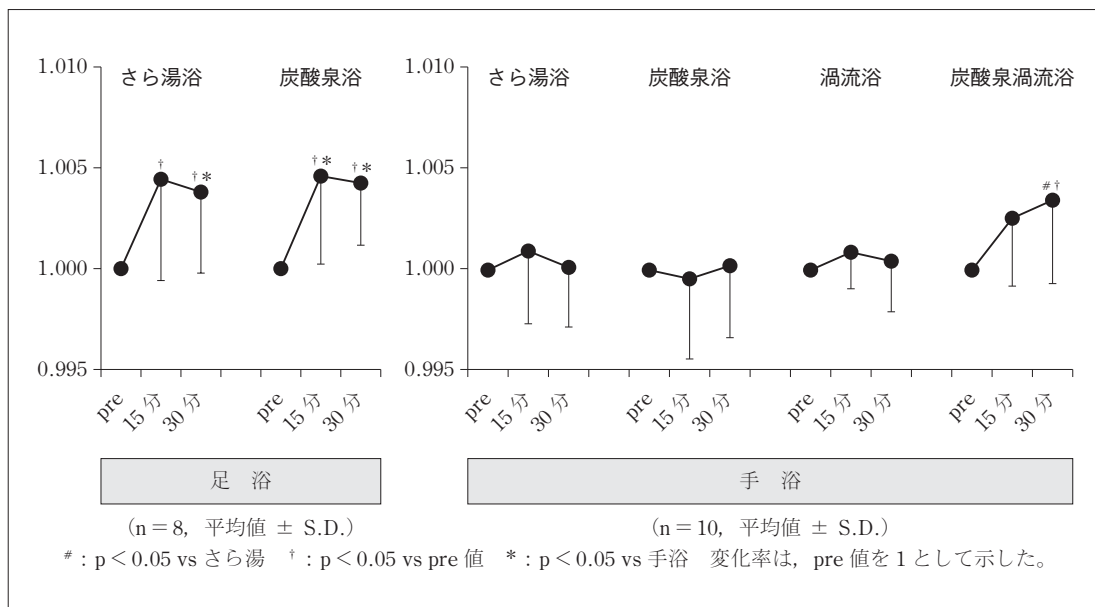


図6 pH の変化率

なかった (図3-b)。

2. 末梢血中 pO₂, pCO₂ および pH の変化

末梢血中 pO₂ (図4) は, 足浴の場合, さら湯浴では pre 値と比較して有意差を認めなかったが, 炭酸泉浴では浸漬 15 分後と 30 分後でそれぞれ有意な上昇を示した (図3)。一方, さら湯浴と炭酸泉浴との間には, いずれのポイントでも有意差を認めなかった。手浴では, pre 値と比較してさら湯浴のみが 30 分後に有意な上昇を示したが, さら湯浴と他の温水浴との比較ではいずれも有意差を認めなかった。また, さら湯浴と炭酸泉浴における足浴と

手浴の比較では, 炭酸泉浴の 15 分後で手浴に比べて足浴で有意な上昇を示した。

末梢血 pCO₂ (図5) は, 足浴では pre 値と比較してさら湯浴では 15 分後に有意な低下を, また炭酸泉浴では 15 分後と 30 分後にそれぞれ有意な低下を示した。一方, さら湯浴と炭酸泉浴の比較では有意差を認めなかった。手浴実験では, pre 値と比較して炭酸泉渦流浴の浸漬 30 分後で有意な低下を示したが, さら湯浴と他の温水浴との比較においてはいずれも有意差を認めなかった。さら湯浴と炭酸泉浴における足浴と手浴の比較では, さら湯浴, 炭

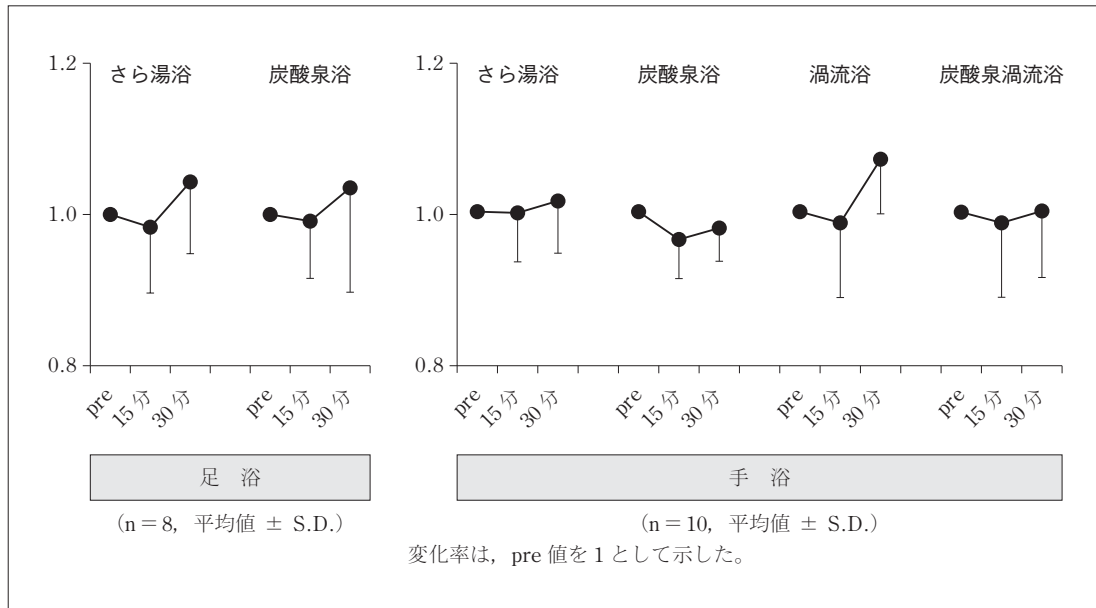


図7 リンパ球数の変化率

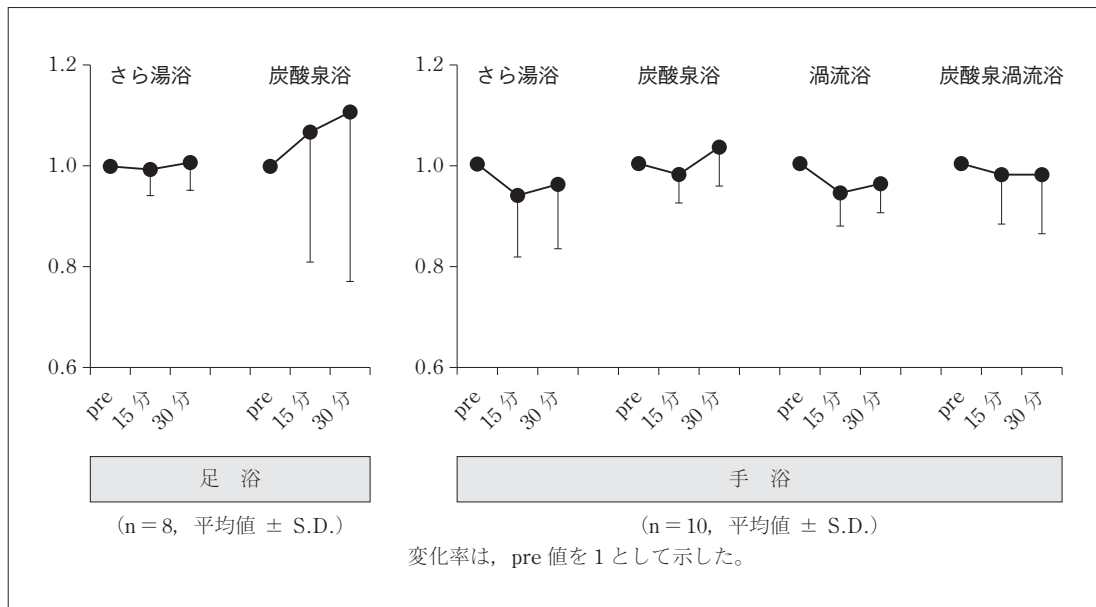


図8 好中球数の変化率

酸泉浴ともに浸漬15分後において、手浴に比べて足浴で有意に低値を示した。

末梢血pH(図6)は、足浴実験でさら湯浴、炭酸泉浴のいずれも15分後と30分後にそれぞれpre値に比べて有意に高値を示したが、手浴実験では、さら湯浴、炭酸泉浴、さらに渦流浴においてpre値との間に有意差を認めず、炭酸泉渦流浴の30分後のみpre値に比べて有意な上昇を示した。手浴の炭酸泉渦流浴の30分後ではさらに、さら湯浴との比較でも唯一有意な高値を示した。さら湯浴と炭酸泉浴における足浴と手浴の比較では、さら湯浴の30

分後、炭酸泉浴の15分後と30分後で、それぞれ手浴に比べて足浴で有意に高値を示した。

3. 末梢血リンパ球数と好中球数の変化

末梢血リンパ球数と好中球数では、足浴、手浴にかかわらずいずれの実験群においてもpre値との有意差はみられず、加えてさら湯浴と他の温水浴との比較、足浴と手浴間の比較においても、有意差を認めなかった(図7, 8)。

4. 自律神経系の変化

足浴中の交感神経指標(LF Norm)の変化では、さら湯浴の30分後でpre値に比べて有意な上昇を

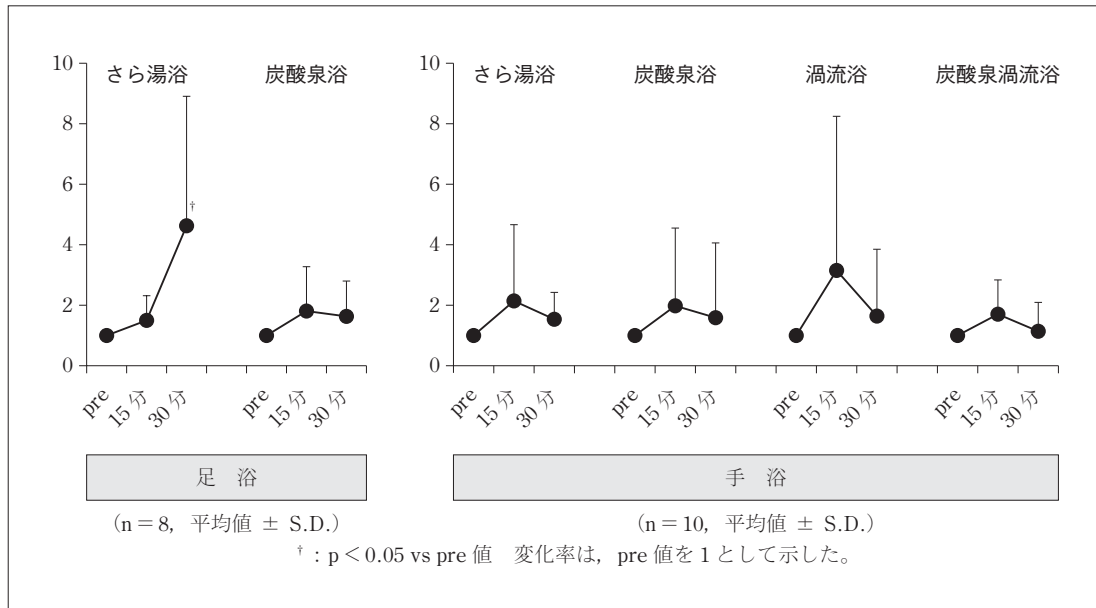


図9 LF Norm (交感神経指標) の変化率

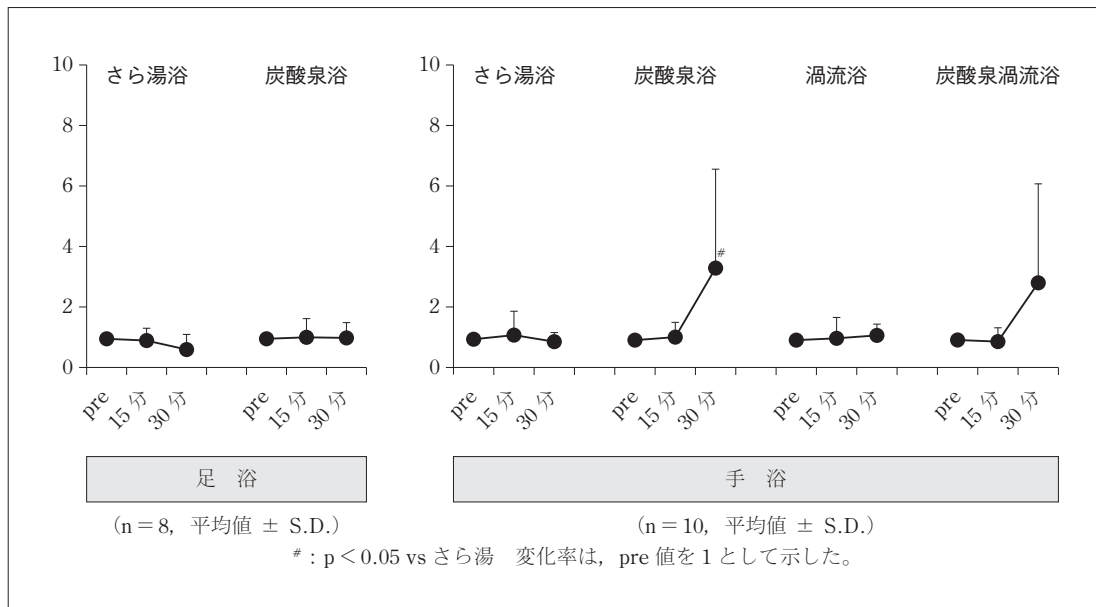


図10 HF Norm (副交感神経指標) の変化率

示したが (図9), 炭酸泉浴では有意差を認めず, さら湯浴と炭酸泉浴との比較においても有意差は認めなかった。手浴では4実験のすべてでpre値との比較においてそれぞれ有意差を認めず, またさら湯と他の温水浴との比較においても有意差を認めなかった。さらに, 足浴と手浴との比較でも, さら湯浴, 炭酸泉浴ともに有意差はみられなかった。

また, 副交感神経指標 (HF Norm) の変化では, 手浴実験の炭酸泉浴において30分後にさら湯浴と比較して有意な上昇を示したが, pre値との比較では手浴群, 足浴群いずれの群でも有意差を認めず,

足浴と手浴の比較においても有意差を認めなかった (図10)。

5. 表皮温の変化

手浴の4実験について, 浸漬部位である手背部と非浸漬部位である前額部の体温を測定したところ, 手背部ではpre値に比べてさら湯浴を含む全実験で浸漬15分後と30分後に有意な高値を示した (図11)。一方, さら湯浴と他の温水浴との比較では, いずれも有意な変化を認めなかった。また前額部温では, pre値との比較においても群間比較においても有意差を認めなかった。

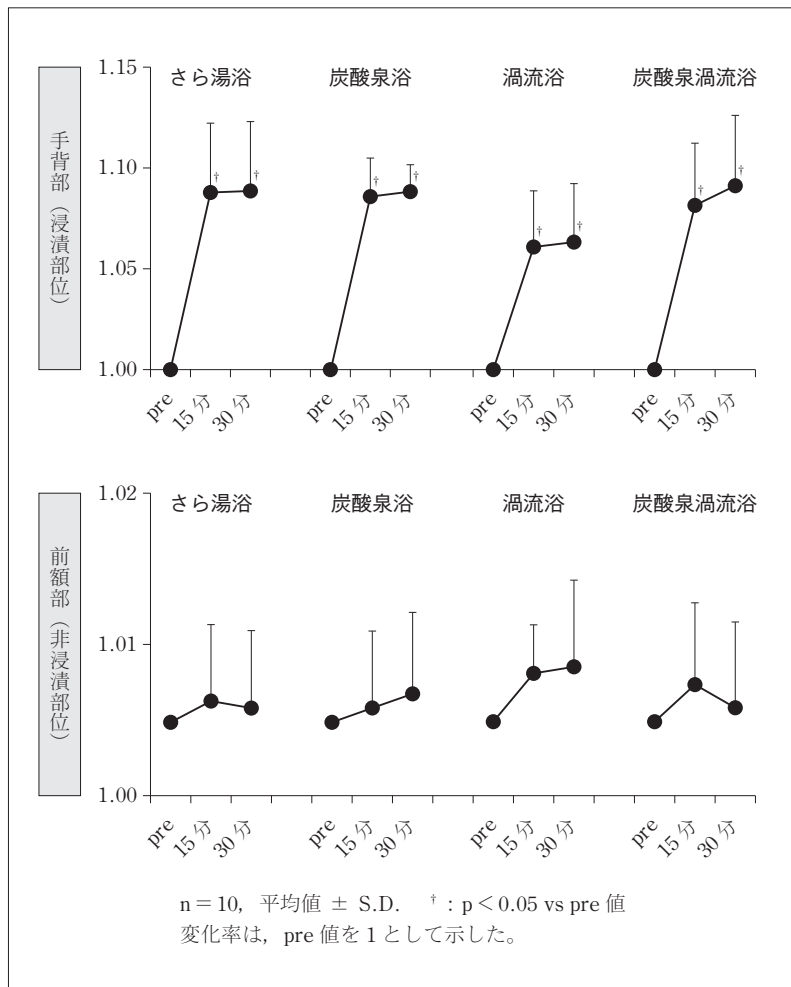


図 11 手浴における表皮温の変化

IV. 考 察

温泉療法は Balneotherapy と呼ばれ、特にドイツでは長い歴史をもつ伝統的な自然療法である。全身浴による温熱作用や末梢循環亢進作用に加え、種々の温泉成分が生体にもたらす作用が温泉療法の特異性をより際立たせている。特に高濃度の炭酸ガスが溶存した炭酸泉は、温浴だけでなく飲泉としても古くから知られており、温泉水を勢いよく流して生じた飛沫を吸入する療法も活用されてきた²⁾³⁾¹⁵⁾。

日本国内では天然の炭酸泉はごく限られた地域にのみ存在し、炭酸泉を温泉療法に用いることはほとんどなかったが¹⁶⁾、1997年に人工的に高濃度の炭酸泉を製造する装置が開発されて以降⁴⁾、疾病治療のみならず、美容や健康増進、そして獣医学臨床の領域にまで、幅広い分野で炭酸泉の普及が進んでいる³⁾⁵⁾¹⁵⁾¹⁷⁾。

炭酸泉浴は、経皮的に吸収された CO₂ が血管平

滑筋細胞内に拡散して pH を低下させることで、細胞内の free Ca²⁺濃度が減少して血管拡張をもたらすことにより、末梢組織血流量を強力に亢進させるといわれている¹⁸⁾¹⁹⁾。この局所的な pH 低下はまた、内皮型一酸化窒素合成酵素 (eNOS) の発現を介して一酸化窒素 (NO) の産生を促し、これが主に前毛細血管小動脈平滑筋を弛緩させて、血管拡張と血流増加をもたらす²⁾³⁾。1,000 ppm を超える高濃度炭酸泉を用いた全身浴では循環促進効果が高く、浸漬部血流量の増加はさら湯浴に勝る³⁾⁵⁾⁶⁾。深部体温の上昇もさら湯に比べて炭酸泉の方が早いことが報告されており²⁰⁾、さら湯浴と炭酸泉浴をそれぞれ 60 分行った院内データにおいても同様の傾向がえられている。

こうした炭酸泉浴は部分浴にも応用が可能で、足浴ではマウスの実験的虚血肢の再灌流における炭酸泉の効果が実証され²¹⁾、ラットの実験でも虚血肢の炭酸泉浴により、内皮前駆細胞の動員と NO システ

ムの活性化が血流を回復することが報告されている⁸⁾。健常人を被験者とした炭酸泉足浴とさら湯足浴の比較では、浸漬部位の血流量がさら湯に比べて炭酸泉浴で有意に上昇したという報告もあり²²⁾²³⁾、臨床現場では閉塞性動脈硬化症や糖尿病の壊疽の治療、また介護施設では高齢者の健康増進目的に炭酸泉足浴を採用しているケースも多い⁷⁾²³⁾²⁴⁾。一方、手浴では整形外科の分野でリハビリテーションに炭酸泉を用いるケースもあり、手浴においても炭酸泉浴による血流亢進の増強が報告されている^{25)~27)}。炭酸泉による血管拡張作用が部分浴でも血流促進に有効であることは、さら湯浴と比較した今回の足浴および手浴実験においても確認された。

一方、足浴と手浴を比較すると、浸漬前の安静時は常に足背部に比べて手背部の方が血流量は高く、この傾向はさら湯による部分浴中も変わらなかったが、炭酸泉による部分浴が開始されると足背部と手背部の血流量にみられた有意差は消失し、炭酸泉浴では血管拡張しにくい足背部においても手浴と同等の血流促進効果を持つことが示唆された。また、末梢血 pH、 pO_2 、および pCO_2 では、手浴に比べて足浴の方が変化率が大きい傾向を示した。炭酸泉の手浴と足浴において、生理的变化を比較した許ら²⁸⁾²⁹⁾は、炭酸泉の場合、足浴の方が手浴に比べて血流増加が大きく、自律神経系への作用も足浴と手浴で異なることを報告し、それが温水の pH や静水圧、温度等に対する皮膚の侵害受容イオンチャンネルの反応性の違いによる体性-自律神経反射の差が影響を与えた結果であると述べている。

足浴に比べて全身への作用が軽度な手浴に対し、さらなる温浴効果の増大を検討する目的で、今回筆者らはカーボセラオンパー・SPA 7001 を用いて、さら湯浴と炭酸泉浴にそれぞれ渦流を併用し、効果を検証した。

その結果、すべての温浴実験で経時的に血流量は増加したが、血流量の積分値を浸漬 15 分後と 30 分後で算出して比較すると、炭酸泉渦流浴が最も高く、次いで炭酸泉浴、渦流浴、そしてさら湯浴の順であり、炭酸泉渦流浴は炭酸泉単独および渦流浴単独を大きく上回った。浸漬直後に皮膚に渦流刺激を受ける渦流浴と炭酸泉渦流浴では 0 値 (= 浸漬直後) の血流量が急速に上昇するが、渦流浴では浸漬後 5 分で血流量がほぼプラトーに達するのに対し、

炭酸泉渦流浴では浸漬後 20 分まで高い上昇を認めた。一方、炭酸泉浴では対照的に浸漬直後は若干血流量が下降し、5 分後には上昇がみられるため、0 値をマイナスして算出した積分値では渦流浴に比べて炭酸泉浴で高い値が得られた。同様に渦流なしのさら湯では浸漬直後の血流量の低下はみられないことから、炭酸泉浴では浸漬直後に末梢血管が速やかに拡張するため一過性に組織血流量の低下が起こるが、炭酸泉渦流浴では渦流の物理的作用で浸漬直後から血流量が上昇するものと推測された。

SPA7001 では、渦流浴の発生に伴って最大超音波の発生が認められ、渦流の物理的作用に加えて最大値 115 ~ 140 dB の超音波の物理的作用がこれに加わる。低強度の超音波は、皮膚からの薬剤のデリバリーを促進し、対象組織に対する遺伝子治療を推進し、抗がん剤を腫瘍まで届け、血栓溶解剤を血栓まで運ぶのに有効であることが知られている³⁰⁾³¹⁾。また、低強度の超音波を慢性静脈潰瘍の治療に適用することで、血管新生やコラーゲン合成を刺激するのに有効であるという報告もある³²⁾。したがって、本実験の炭酸泉渦流浴では、超音波により溶存炭酸ガスの皮膚からの吸収が亢進したため、炭酸泉浴単独、あるいは渦流浴単独に比べて高い血流量の亢進がみられたものと考えられる。さらに、全身浴の試験で渦流の物理的な作用がさら湯浴単独や気泡浴に比べても血流の増大や体温の上昇をもたらすことが示唆されており⁷⁾¹⁰⁾¹¹⁾、手浴においても超音波とマッサージの物理効果が加わって、今回の実験群の中で最も高い血流促進効果や血液動態の変化をもたらしたと推察される。

また、血液ガス分析値のうち pO_2 では、さら湯浴との比較においても時間変化においても有意差は認めなかったが、 pCO_2 では炭酸泉渦流浴の 30 分後に pre 値との比較で有意な低下を示し、pH ではやはり炭酸泉渦流浴の 30 分後にさら湯浴との比較と pre 値との比較のいずれにおいても有意な上昇を示した。炭酸泉渦流浴の 30 分間の手浴が末梢血中 pCO_2 に最も影響を与え、それが末梢血 pH の上昇に反映されたものと考えられた。

手浴における末梢皮膚温度の変化では、手浴中はすべての温浴実験で pre 値に比べて浸漬 15 分後と 30 分後でそれぞれ有意な上昇を認めた。張替ら²⁴⁾の足浴の実験でも、湯に浸漬中は組織血流量の増加

に伴う有意な皮膚温度の上昇がみられ、さら湯浴と炭酸泉浴の比較では有意差は認められないとの報告がある。本実験においても、温水の種類によらず浸漬中の皮膚温度の上昇が認められたが、群間比較ではいずれも有意差を示さないことから、浸漬部位の皮膚温上昇に関しては、前田ら³³⁾の報告にもあるように、血管拡張などの要因よりは温水の熱エネルギーの直接伝播によるものと考えられた。非浸漬部位である前額部温は、時間変化でも群間比較でも有意差を示さず、足浴では遠隔部位でも時間変化がみられるのに対して²⁹⁾、今回の手浴ではそこまでの効果は観察できなかった。また、手浴後の主観的な温感では、さら湯浴と渦流浴では手浴終了後ただちに減退するのに対し、炭酸泉浴、炭酸泉渦流浴では手浴後も温感が維持された。炭酸泉の保温効果については上村ら³⁴⁾の報告もあるが、保温に関しては炭酸泉の化学的作用が渦流の物理的作用を上回ると考えられる。

手浴では、上肢筋膜痛症候群の患者を対象に、週に3回の渦流浴(34～36℃, 30分間)を2週間行った試験で、痛みの軽減効果やQOLの向上が報告されており³⁵⁾、温熱と渦流によるマッサージ作用が相乗効果をもたらしたと思われるが、さらに炭酸泉浴の血管拡張作用をプラスすることで、一層の血流亢進が期待される。

炭酸泉浴と渦流浴、さら湯浴による足浴での循環促進効果を比較した試験では、有意差は示されなかったものの、渦流浴で最も高い循環促進効果を認めている¹²⁾。一方、浸漬部位の温感では、浸漬中は渦流浴で最も高く、出浴後は炭酸泉浴という結果で、渦流浴に炭酸泉を組み合わせることで、循環亢進に相乗効果をもたらし、浸漬中、浸漬後のいずれも温感に優れた方法になることが示唆された。

V. 結 論

38℃, 30分間の足浴および手浴において、さら湯浴に比べて炭酸泉浴で血流促進効果が高いことが再確認された。さらに手浴において、カーボセラオンパー・SPA7001を用いて炭酸泉浴に渦流の物理作用を付与することで、さら湯浴、渦流浴単独、ならびに炭酸泉浴単独の場合に比べ、より高い末梢組織血流量の増加効果が得られた。渦流の直接的な皮膚マッサージ効果に併せ、渦流の稼働とともに発生

する低強度の超音波の作用は、上肢の創傷治癒やリハビリテーションにおいて高い相乗効果をもたらすことが示唆された。

引用文献

- 1) 久保田一雄, 倉林 均, 田村遵一: 温泉の作用は物理作用, 化学作用そして総合的生体調整作用. 日温気物医誌 **62**: 160-161, 1999.
- 2) KL.Schmid (入来正躬: 翻訳・転載): 炭酸浴(炭酸泉). 人工炭酸泉 **1**: 5-9, 1998.
- 3) 入来正躬: (人工)高濃度炭酸泉の基礎と臨床. 炭酸泉誌 **4**: 39-48, 2003.
- 4) 内田 誠: 多層複合中空糸膜(MHF)の開発と応用. 人工炭酸泉誌 **1**: 7-20, 1998.
- 5) 鍋木 誠, 東 祐二, 下沖 晋, 他: 高濃度人工炭酸泉の全身温浴による褥瘡治癒効果の検討. 炭酸泉誌 **3**: 15-20, 2000.
- 6) 西村直記, 菅屋潤壹, 松本孝朗, 他: 人工炭酸泉(1000ppm)全身浴時の体温, 皮膚血流量, 発汗量および主観的感覚に及ぼす水温の影響. 炭酸泉誌 **4**: 49-56, 2003.
- 7) 加納智美, 鳥山高伸, 川原弘久: 透析患者の動脈硬化症 各論(10)閉塞性動脈硬化症(ASO)透析患者のフットケア—人工炭酸泉足浴を中心に. 臨床透析 **18**: 107-113, 2002.
- 8) 林 久恵, 山田純生, 熊田佳孝, 他: 虚血肢に対する高濃度人工炭酸泉足浴時の経皮的酸素分圧の変化に関する研究. 脈管学 **46**: 411-416, 2006.
- 9) 福留英明, 松本悠貴, 豊増功次: 短時間の炭酸泉足浴が中高年女性のストレス軽減に及ぼす影響. 日循予防誌 **46**: 216-222, 2011.
- 10) 松澤 正, 川合秀雄, 須田 勝, 他: ジェットバスによる皮膚温と皮下血流量に及ぼす効果. 理学療法学 **25**(suppl-2) 236, 1998.
- 11) 美和千尋, 河原ゆう子, 岩瀬 敏: ジェットバスと渦流浴における体温調節機能の変化. 自律神経 **40**: 399-405, 2003.
- 12) 中村 豊, 吉田早織, 西村典子, 他: 炭酸泉水と渦流温水による循環促進効果の検討. 東海大学スポーツ医学雑誌 **20**: 79-84, 2008.
- 13) 前田真治, 頼住孝二, 田中かつら: 高濃度炭酸温水を用いた渦流浴・気泡浴における炭酸温水濃度と浴槽上のガス濃度. 日本温泉気候物理医学会雑誌 **67**: 35, 2003.
- 14) 吉岡 哲, 山口英峰, 西村一樹, 他: 全身渦流浴が心臓自律神経系調節および動脈硬化度指標に及ぼす影響. 健康開発財団研究助成年報 **34**: 29-38, 2013.
- 15) Baba H, Kumamoto H, Takeda A: Carbon dioxide (CO₂) balneotherapy in Germany. 39th ISMH, p. 44, 2014.
- 16) 古元嘉昭, 曾田益弘, 平井俊一, 他: 日本に於ける二酸化炭素泉療法の現況. 環境病態研報告 **61**: 68-72,

- 1990.
- 17) 福山貴昭, 土屋恵美, 嶋崎加奈恵, 他: 高濃度人工炭酸泉の全身シャワーによるイヌ毛包炎変化観察. ペット栄養学会誌 **15**: 102, 2012.
- 18) Iino S, Hayashi H, Saito H, et al: Effects of intracellular pH on calcium currents and intracellular calcium ions in the smooth muscle of rabbit portal vein. *Exp Physiol* **79**: 669-680. 1994.
- 19) Peng HL, Jensen PE, Nilsson H, et al: Effect of acidosis on tension and $[Ca^{2+}]_i$ in rat cerebral arteries: is there a role for membrane potential? *Am J Physiol* **274**: H655-H662, 1998.
- 20) 古川順光, 大森 圭, 毛利光宏, 他: 高濃度人工炭酸泉が呼吸, 循環および体温調節機能に与える効果. 山形保健医療研究 **2**: 93-98, 1999.
- 21) Irie H, Tatsumi T, Takamiya M, et al: Carbon dioxide-rich water bathing enhances collateral blood flow in ischemic hindlimb via mobilization of endothelial progenitor cells and activation of NO-cGMP system. *Circulation* **111**: 1523-1529, 2005.
- 22) 許 鳳浩, 王 紅兵, 上馬場和夫: 炭酸泉足浴と淡水足浴による生理・心理・生化学的变化の比較. 日温気物医誌 **70**: 172-185, 2007.
- 23) 松尾 汎: 高齢者の足浴効果とその有用性. *Geriatr Med* **49**: 235-238, 2011.
- 24) 張替直美, 原田秀子, 岡 裕美, 他: 炭酸泉入浴剤を用いた足浴効果の検討. 山口県立大学看護学部紀要 **11**: 29-33, 2007.
- 25) 大重 匡, 高森明久, 田中信行: 人工炭酸泉中の手指屈伸による手浴効果の促進について. 日温気物医誌 **73**: 40, 2009.
- 26) 川端圭子: 片麻痺患者への手浴の有効性. 第4回 看護・リハビリテーション研究会, 平成22年2月.
- 27) 衛藤誠二, 砂永彩子, 林 良太, 他: 前腕浴が片麻痺上肢機能と痙縮に与える影響. 日本温泉気候物理医学会雑誌 **73**: 248-254, 2010.
- 28) 許 鳳浩, 小川弘子, 王 紅兵, 他: 健常男性への炭酸温水手浴と足浴による生理的变化の差. 日温気物医誌 **72**: 148-166, 2009.
- 29) 許 鳳浩, 上馬場和夫, 王 紅兵: 炭酸泉部分浴における nociceptive ion channels の役割に関する考察. 日本温泉気候物理医学会 **72**: 74-75, 2008.
- 30) Mitrugotri S: Healing sound: the use of ultrasound in drug delivery and other therapeutic applications. *Nat Rev Drug Discov* **4**: 255-260, 2005.
- 31) 大野善隆, 木山喬博, 長谷川高明: 超音波による Wistar ラットにおけるフルオレセインの経皮吸収促進効果の検討. 理学療法の医学的基礎 **11**: 32-37, 2008.
- 32) de Avila Santana L, Alves JM, Andrade TA, et al: Clinical and immunofistopathological aspects of venous ulcers treatment by Low-Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS). *Ultrasonics* **53**: 870-879, 2013.
- 33) 前田眞治, 大淵修一, 柴 喜崇, 他: 高濃度炭酸水温浴の体温に及ぼす効果(第1報) 高濃度炭酸水温浴における深部体温計と表面皮膚温の変化. 2001年, 日本温泉気候物理医学会雑誌 **64**: 113-117, 2001.
- 34) 上村佐知子, 右川智子, 木村陽香, 他: 人工炭酸泉は湯冷めしにくいのか?—人工炭酸泉浴後の生理学. 秋田理学療法 **20**: 7-13, 2012.
- 35) Im SH, Han EY: Improvement in anxiety and pain after whole body whirlpool hydrotherapy among patients with myofascial pain syndrome. *Ann Rehabil Med* **37**: 534-540, 2013.
-