

総 説

(人工) 高濃度炭酸泉の基礎と臨床

入来 正躬

ヨーロッパなどで自然に噴出される炭酸泉（自然炭酸泉）には、1000 ppm (1000 mg/kg) 以上の遊離 CO_2 が含まれている。炭酸泉の由来は主に沈静化した火山に由来している。従って炭酸泉の存在は地理的に古い火山地帯に限られている。大部分はヨーロッパにあり、アメリカにはない。日本でも長湯温泉（大分県）が知られているにすぎない。

ヨーロッパでの炭酸泉の歴史は古い。すでにローマ時代に炭酸泉の記録がある。1859年にはBad Nauheim（ドイツ）の炭酸泉が心臓病に効果があることが明らかにされ、以来炭酸泉は心臓療養泉としてひろく知られていた。

しかし「臨床的に確かに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」状態が続いて来た。これは主に、①炭酸泉の噴出する場所がヨーロッパの特定の地域に限定されていたこと、②炭酸泉を輸送することが出来ないこと（輸送すると CO_2 がにげる）から、炭酸泉が貴重であり、実験などに用いる余裕がなかったことによるのであろう。

1997年、三菱レイヨン・エンジニアリング社により人工的に1000ppm以上の高濃度の CO_2 を含む液（人工炭酸泉）を作成する装置が開発された（内田誠，1998）。水を通さず気体のみを通過させる半透膜，多層複合中空糸膜MHFを使って CO_2 を液中に溶けこませる装置である。

これを機に，1998年に人工炭酸泉研究会を発足させ，人工炭酸泉についての基礎研究及び臨床研究を行い，また情報の交換につとめている。

本総説では，研究会の活動をふまえて，炭酸泉の作用，使用条件，部分浴の作用と適用，全身浴の作用と適用，臨床応用，適応と禁忌についてまとめておきたい。

現在までのところ，1000 ppm の CO_2 を含む人工炭酸泉の作用は，同濃度の自然炭酸泉と同様であ

る。従って本総説では，人工－または自然炭酸泉でなく，単に炭酸泉と表現することとした。特に必要な場合には，人工－または自然炭酸泉と明記する。

I. 炭酸泉の作用

A 浸漬部で観察される現象

浸漬部には，特徴的な皮膚表面への炭酸ガス小泡の附着と，浸漬部の皮膚の潮紅がみられる。

炭酸ガス小泡は，入浴後直ちにみられ，入浴中も引き続きみられる（図1）。この小泡は目立つけれども，その生体への作用は認められていない。

浸漬部の皮膚の潮紅の特徴は，潮紅が浸漬部のみにみられ，浸漬していない皮膚との境目に明瞭な境界線がみられることである（図2）。このことは炭酸泉に局所作用のあることを示している。

B 冷覚への影響

皮膚浸漬部の冷覚が抑制され，冷たさを感じにくくなる。ふつう $34 \sim 35^\circ\text{C}$ 以下の水温で冷たいと感じるけれども，炭酸泉では $34 \sim 35^\circ\text{C}$ で冷たいとは感じない。 33°C 以下になると冷たいと感ずる。

図3は，水温 34°C ，20分間の炭酸泉浴と真水浴で温度感覚を比較した結果である。図に示されるように，真水浴で中立と受けとられる 34°C の水温が，炭酸泉浴では“やや暖かい”と感じられる。

かつては皮膚表面に附着した CO_2 の気泡によって冷たさを感じにくくなると主張されていた時もあった。しかし現在では，冷受容器の感受性が低下することによるとされている（Dodt, 1956）。

C 自律機能への影響

主に心血管系に影響がみられる。

炭酸泉によって皮膚血管が拡張し，これによって皮膚血流が増加する。図4に報告の1例を示した。皮膚潮紅はこの皮膚血流増加によって引き起こされる。



図1 前腕の浸漬部皮膚表面へのCO₂泡の附着 (Schmidt, 1998)



図2 浸漬部の皮膚の潮紅. 非浸漬部と明瞭な境界線がみられる.

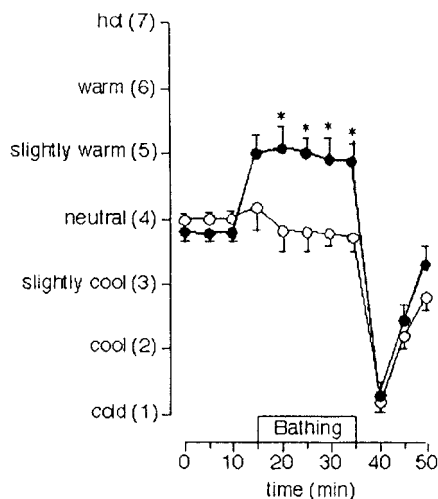


図3 炭酸泉浴 (●) と真水浴 (○) の温度感覚に及ぼす作用の比較. 6例の平均と標準偏差. *有意差あり. 温度感覚は暑い, 暖かい, やや暖かい, 中立, やや涼しい, 涼しい, 寒いの7段階を用いた. (Nishimura, Sugeno et al, 2002)

同じ条件で実験をくり返すと同一程度の皮膚血流増加がみられ, 再現性がある.

炭酸泉では, 皮膚血流増加とともに筋血流量も増加する (Hartmann, Pittler et al, 1997). これによって皮膚と筋に運ばれる O₂ も増加し, 皮膚と筋の O₂ 分圧が炭酸泉浴により, 真水浴より有意に増加する. 図5に報告の1例を示した.

浸漬部にみられる上記の変化とともに, 全身的

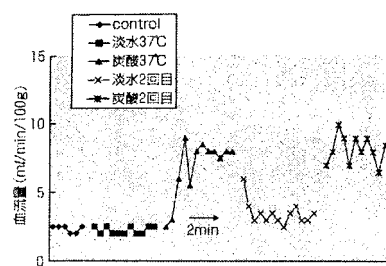


図4 炭酸泉による皮膚血流量の増加. 皮膚血流量は, レーザードプラー法により測定 (松尾汎, 2000)

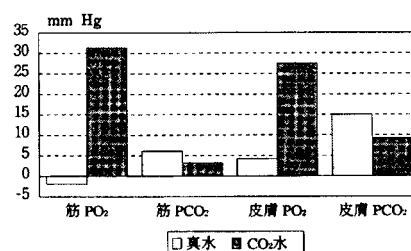


図5 筋と皮膚の O₂ 分圧 (PO₂) と CO₂ 分圧 (PCO₂) の変化. 30 分の全身真水浴と全身炭酸浴の比較. PO₂PCO₂ は質量スペクトル分析計で直接測定 (Komoto, 1986)

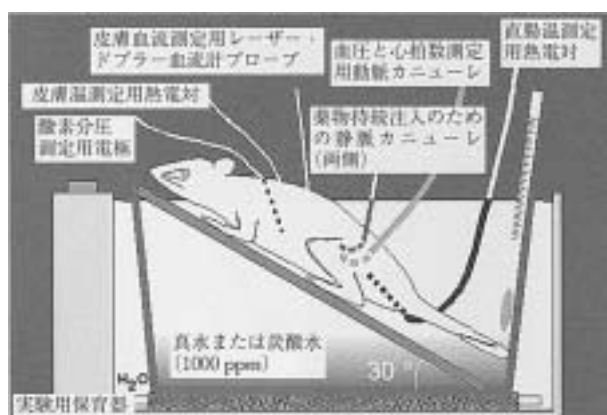


図6 人工炭酸泉を用いたラット用実験装置 (橋本眞明, 1999)

な心血管系の応答もみられる. 最も特徴的な応答は徐脈と血圧低下である.

人工炭酸泉が作成され, 実験室でも使用することが出来るようになって, 動物実験が出来るようになった.

図6は, 旭川医大橋本助教授が行っているラットを用いた実験の概要図である.

この装置を用いて行った実験結果を紹介する.

液温 30℃では, 炭酸泉浴と真水浴で心拍数に有意の差がない. しかし液温 35℃では真水浴に比べて炭酸泉浴の方が心拍数が有意に減少している (図7).

炭酸泉による徐脈は心交感神経の活動性が抑制されるために引き起こされる. ラットを用いた実験の1例を図8に示す. 炭酸泉浴は CO₂ 濃度 1000

ppm, 水温 35℃で行った. コントロールでは, 図 7 の実験でと同様に, 炭酸泉浴では, 真水浴に比べて心拍数が有意に少ない.

交感神経遮断剤アテノロールを投与したあとでは, 真水浴と炭酸泉浴の心拍数の差が認められなくなる.

副交感神経遮断剤アトロピンを投与したあとでは, コントロールの実験と同様に, 炭酸泉浴の方が真水浴より心拍数が少ない.

この結果から心拍数の減少は, 交感神経枝を経由して引き起こされると推定される.

炭酸泉により, 心交感神経の活動性が何故影響されるのかはまだはっきりしていない.

炭酸泉に浸漬した部分より, CO₂が皮膚を通過して体内に吸収される. この経皮吸収により皮膚にある CO₂が増加する (図 9).

炭酸が生体組織を拡散する速度は非常に早い (酸素の約 20 倍の早さ). したがって吸収された CO₂は急速に拡散する. 血中に入った CO₂は肺に運ばれ, 肺から放出されるので, 炭酸泉浴でも血中の CO₂の濃度に変化が認められていない.

浸漬部局所の応答も, 自律神経系を介しての全身的な応答も, 皮膚の CO₂濃度上昇により引き起こされているに違いないが, まだその詳しい機序は分かっていない. 動物実験が可能となったので, まもなく解明出来るものと期待している.

II. 炭酸泉の使用条件

炭酸泉の生体への作用は, 炭酸泉の CO₂濃度, 温度, 浸漬時間, 回数 (間隔) などの影響を受ける.

図 10 は, 炭酸泉で引き起こされる潮紅の出現に及ぼす CO₂濃度と液温の影響をしらべたものである.

水温が 34℃の場合には, CO₂濃度約 200 ppm で生体の条件のよい場合には潮紅がみられ, 約 300 ppm ではつねに潮紅がみられる. 水温が低いと潮紅を起こすのに必要な CO₂濃度は高くなり, 20℃では約 300 ppm でときに潮紅がみられ, 約 550 ppm でつねに潮紅がみられる.

皮膚血流増加も, 炭酸泉の CO₂濃度と水温の影響を受ける. 炭酸泉の足浴の効果を例にあげる. 皮膚血流量はレーザー・ドップラー法により測定された.

図 11 は CO₂の濃度を変えて皮膚血流増加の程度を検討したものである. 水温 30℃と 38℃で行われた. CO₂濃度が 1000, 700, 500 ppm の炭酸泉を用いた.

図 11 にみられるように, 水温 30℃でも 38℃でも 500 ppm での作用は不明瞭である. 700 ppm で有意の皮膚血流増加がみられる. 1000 ppm で, 700 ppm でより更に著しい応答が認められた. 対象として用いた真水浴では, 皮膚血流量に有意の変化は認められていない.

炭酸泉による皮膚血流の増加には水温もまた影響する. 図 12 に報告の 1 例を示した. 皮膚血流量は, 1000 ppm の炭酸泉でも, 500 ppm の炭酸泉でも, 水温が高くなるほど増加の程度が著しくなる.

炭酸泉の皮膚血流に及ぼす CO₂濃度と液温の作用をまとめると図 13 のごとく表される. 図に示されるように, 皮膚血流量は水温上昇によっても増加する. CO₂が加わった炭酸泉では, これに CO₂の作用が加わり, 更に皮膚血流量が増す. CO₂の作用の強さは, 水温が高いほど著しい.

人工炭酸泉研究会では, 炭酸泉の適用の条件について, 皮膚血流増加の応答を中心に研究を続けてきている. 適用の条件は①全身浴や部分浴などの方法の違い, ②皮膚血流増加, 潮紅, 徐脈, 血圧低下などの指標とする生体の応答の違いにより異なるであろう. 今後は適用法, 生体の応答などの違いをふまえて研究を続けてゆきたい.

現在まで皮膚血流増加を指標とした足浴で, 以下の案が提案されている.

CO ₂ 濃度	700 ppm 以上, 出来るだけ 1000 ppm 以上
水温	37℃, 34 ~ 35℃, 40℃
入浴時間	15 分, 出来れば 20 分
適用間隔	毎日 1 回

各指標について簡単にまとめておく.

① CO₂濃度: CO₂濃度では 700 ppm で効果を示すことが多い. しかし 1000 ppm で確実に効果が現れるので 1000 ppm の炭酸泉を使用出来る状態であれば, 1000 ppm のを使用することが望ましい.

② 水温: 体温と同じ水温 37℃では, 核心温が変動するおそれがない.

34-35℃の水温は, 冷覚が抑制されているので冷たく感じない. この温度がヨーロッパの炭酸泉で標準的に用いられている.

40℃の液温では核心温の上昇による熱負荷がおこるかもしれないが, 現在までのところ異常は認められていない. 入浴には低い液温を好むヨーロッパでは, 高水温での使用についての報告は少ない.

③ 入浴時間: ヨーロッパでは 20 分以上の入浴が用いられている. しかし 20 分の足浴は, つらいとの感想が強い. 皮膚血流量の増加は, 浸漬後すぐ起

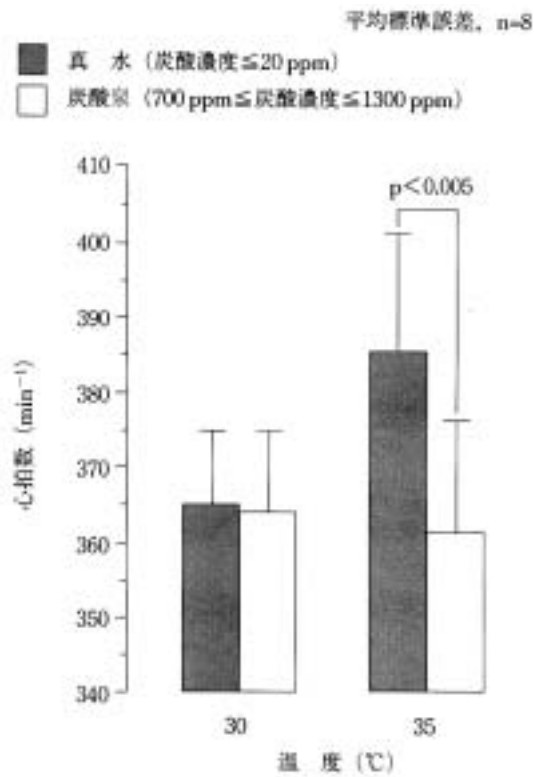


図7 炭酸泉浴（白棒）と真水浴（黒棒）の心拍数に及ぼす作用の比較。室温 30℃と 35℃ウィスターラット 8 匹，ウレタン麻酔，平均±標準誤差。（入来，橋本ほか，1999）

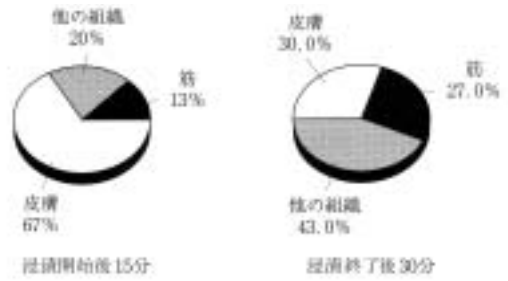


図9 炭酸浴による CO₂ 経皮吸収と分布。経皮吸収量は平均 30 ml/mim/m² (Hartmann, Pittler et al 1997)

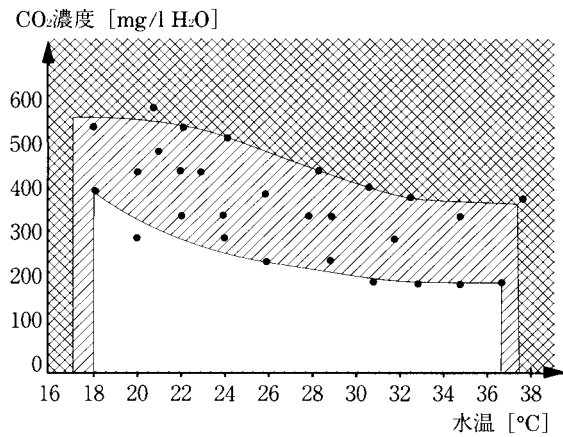


図10 炭酸泉浸漬部の皮膚潮紅。CO₂ 濃度と水温の関係。●＝皮膚潮紅の視認；片斜線区域＝“敏感な”皮膚での皮膚潮紅；両斜線区域＝常に皮膚潮紅がみられる。冷および温領域での垂直境界線は，この部から CO₂ と無関係に（温度の影響で）皮膚潮紅がみられることを示す。（Schmidt 1998）

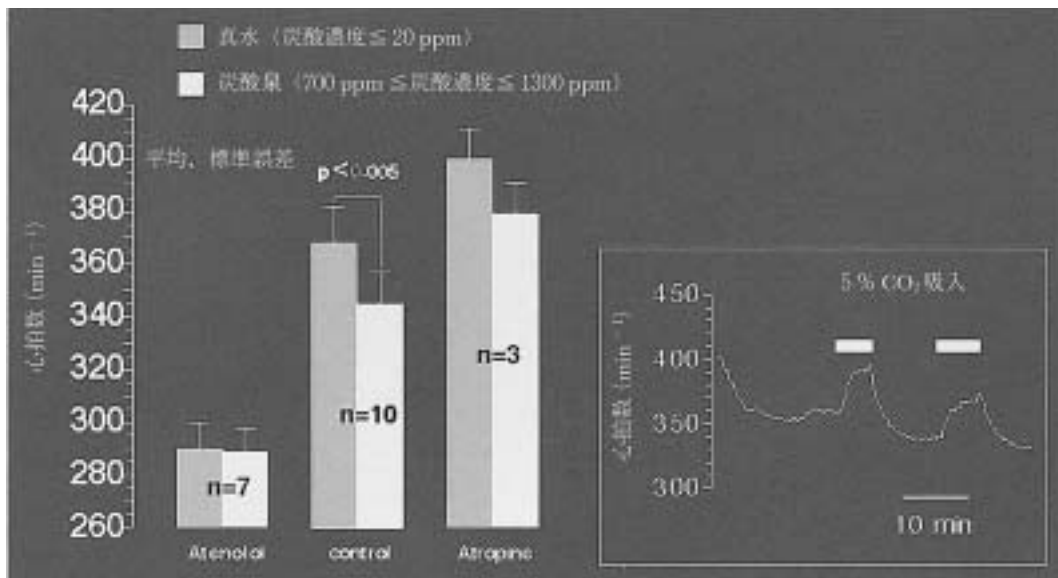


図8 炭酸泉による徐脈の作用機序。自律神経系関与について。交感神経遮断剤 atenolol，コントロール，副交感神経遮断剤 atropine 投与時における炭酸泉浴と真水浴による心拍数変化の比較。水温 35.0 ± 0.2℃。n：匹数，平均±標準誤差（入来，橋本ほか，1999）

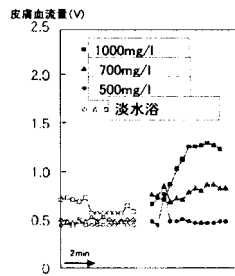


図 11 炭酸泉による皮膚血流の増加。炭酸濃度の効果 (国立循環器病センター)

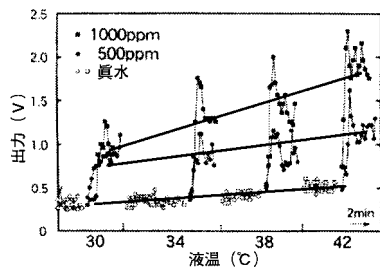


図 12 炭酸泉による皮膚血流の増加。炭酸濃度と温度の効果 (国立循環器病センター)

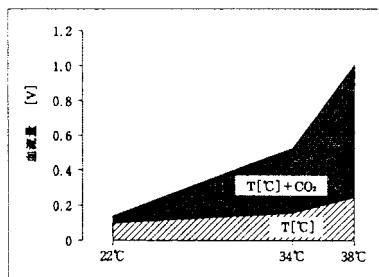


図 13 皮膚血流増加に及ぼす温度変化 $CT [^{\circ}C]$ と温度変化 + CO_2 ($T [^{\circ}C] + CO_2$) の比較。レーザー・ドップラー血流計で測定 (Hartmann, Pittler, Drews 1997)

このので、15分又は10分でも効果があると推測される。現在のところ10分、15分の時間で行った例が多い。

④適用間隔：ヨーロッパでは週3回の例が多い。入浴は施設まで行って行う事が必要のためであろう。一方今回開発された人工炭酸泉は家庭でも簡単に使える。現在までのところ毎日1回、場合によっては毎日2回の使用で、問題点は報告されていない。

以上の案を参照して、使用条件を定めて実施されることを希望している。

Ⅲ. 部分浴の作用と適用

部分浴では足浴による末梢循環障害の治療が主に行われている。

現在高齢者や糖尿病で末梢循環障害のある患者

が増加して、その治療が重要な問題となってきた。

末梢循環障害は、症状により次のように分類されている。

I 度 無症状 (冷感、しびれ感)

II 度 間歇性跛行

III 度 安静時疼痛

IV 度 虚血性潰瘍、壊疽

下肢に末梢循環障害のある患者でも、炭酸泉の足浴により、下肢の血流が増加し、 O_2 分圧が増加することが確かめられている。

炭酸泉の末梢循環障害への効果について間歇性跛行と虚血性潰瘍、壊疽への効果についての報告を紹介する。

A 間歇性跛行への効果

図 14-1 ~ 4 は、間歇性跛行への炭酸泉の治療効果の報告の 1 例である。 CO_2 濃度 1000 ppm, 水温 $33^{\circ}C$, 入浴時間 30 分, 1 週 5 回で、足浴での水深は 40 cm とした。4 週間の治療を行った。治療の前後で比較し次の結果が得られた。

- 1) 足背で測定した経皮性酸素分圧の基礎値が (皮膚温 $44^{\circ}C$) 炭酸泉浴では治療後に有意に増加した。真水浴では変化がみられなかった (図 14-1)。
- 2) 足背で測定した経皮性酸素分圧の 3 分間動脈閉塞後の 50 % 回復時間は炭酸泉浴治療後に有意に短縮した (図 14-2)。
- 3) 最大血流量 ($ml/100\text{ ml 組織} \times \text{分}$)、すなわち大腿部に 250 mmHg の圧を 3 分間加えて動脈閉塞した後開放して引き起こされる反応性血流増加量が、炭酸泉浴治療後に有意に増加した (図 14-3)。
- 4) 痛みなしに歩ける距離 (m) (毎分 120 歩で検査した) が炭酸泉浴治療後に有意に長くなった (図 14-4)。

間歇性跛行では、普通の状態であれば下肢への血流が充分供給されており、いたみや筋の収縮の異常はない。しかし血流障害がある場合には、歩行に伴う筋運動により必要となる血流 - 酸素供給の増加には対応することが出来ず、いたみ又は筋収縮の異常が出現する。この出現時間は血管の障害が強いほど短い。

以上のような炭酸泉の治療の結果は、炭酸泉浴によって血流が増加し、酸素供給が増加していることを示している。

間歇性跛行のリハビリには、現在のところ筋トレーニングが用いられている。図 15 は、間歇性跛行第 II 期の患者で炭酸泉浴治療の効果を筋トレーニング効果と比較した結果を示す。図に示される

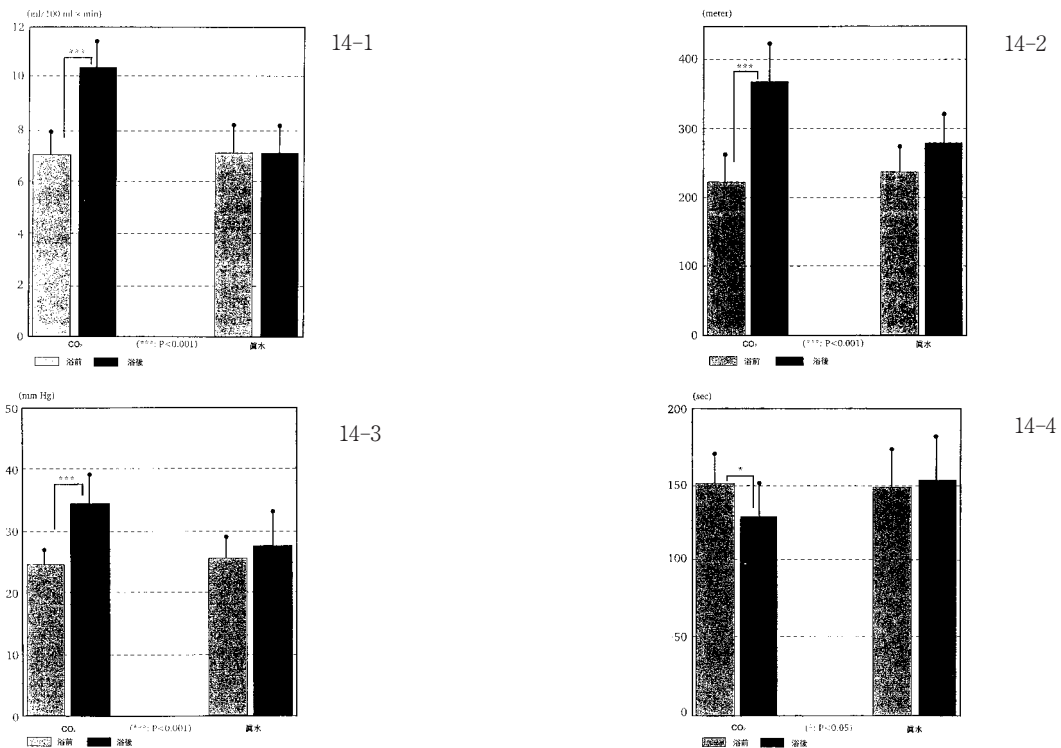


図 14 炭酸泉の間歇性跛行への治療効果. 左治療前, 右治療後. 治療 CO₂濃度 1000 ppm. 液温 33℃, 30分, 1週 5回, 4週間以上. 12名の平均±標準誤差 (Hartmann, Bassenge, Hartmann 1997)

14-1 動脈閉塞解除後最大血流量

14-2 痛みなしでの歩行距離

14-3 経皮性酸素勾配

14-4 3分間動脈閉塞語経皮性酸素分圧勾配の50%回復時間

ように, 治療の目安とされる血流阻止後の反応性血流増加 (最大血流量) および歩行能は, 筋トレーニングより炭酸泉浴療法の方が治療効果が大きい. 足ペダルエルゴメーターで測定された腓腹筋の運動能には差がみられなかった.

B 褥瘡, 潰瘍

末梢循環障害が進行し, 血流量がより低下すると, 安静時に痛みを感じるようになる. さらに進行すると, 虚血性潰瘍, 壊疽がおこる. 一般的に褥瘡と表現されることもある.

炭酸泉の褥瘡の治療効果について図 16 に 1 例を示した. 49 才女性 右踵の外側部に自然に壊疽を生じた. 原疾患: 腎硬化症, 合併症: 糖尿病と閉塞性動脈硬化症, 腎透析歴 5 年, 炭酸泉浴治療は 1000 ppm, 水温 37℃, 1 日 2 回, 毎日. 図にみられるように, 2 ヶ月で明らかな改善がみられている.

図 17 は 3 症例の褥創開口部面積の経時的変化を示している. 炭酸濃度 800 ppm, 水温 37℃, 15 分間入浴の条件で 3 ヶ月間の変化を記録した. 3 症例とも著しい改善がみられた.

末梢循環障害が更に進行すると壊疽がひろがり下肢を切断せざるを得なくなる. 図 18 は, 難治性潰瘍のため下肢切断の適応と診断された 29 例 (45 肢) に対し積極的に炭酸泉による保存的治療を行った結果である. 6 ヶ月以上潰瘍治療を行うことが出来た 20 例 (31 肢) 中, 22 肢が炭酸泉浴治療により切断が不要となった. 全例の 71 % にあたる.

以上のように炭酸泉の足浴によって, 末梢循環障害によりひき起こされる症状は, 各期とも緩解される. この作用は, 末梢血流量の改善と, これに伴う組織の O₂ 濃度上昇によるものである.

IV. 全身浴の作用と適用

炭酸泉足浴では, 炭酸泉の局所作用, すなわち皮膚及び筋の血流量増加と酸素分圧上昇, による効果が期待されている. しかし炭酸泉の作用はこの局所作用のみではなく, 全身的な作用も期待される. 炭酸泉で認められる全身的な応答の特徴をまとめた.

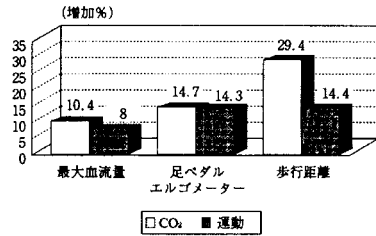


図15 血流阻止後の小動脈最大血流量 (ml/100 ml・min) 足ペダルエルゴメーター (w), 歩行距離 (m) の変化を%で示す。運動療法と CO₂ 浴療法との比較。(Beutel, Sobanski, 1985)



図18 炭酸泉浴治療による下肢切断回避率。下肢切断の適応と診断された29例 (45肢) に対し積極的に炭酸浴による保存的治療を行った。6ヶ月以上継続治療を行うことができた20例 (31肢) 中、22肢は難治性潰瘍の治療により切断が不要となった。(名古屋共立病院, 1999)



治療前



治療後

図16 炭酸泉による褥創治療効果：49歳女性右踵外側に褥創。腎硬化症，糖尿病，閉塞性動脈硬化症。透析5年，炭酸泉浴療法2ヶ月，毎日2回。(名古屋共立病院)

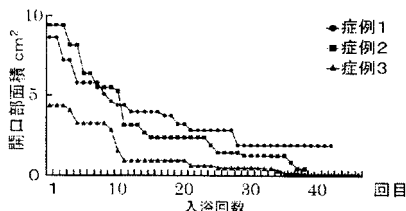


図17 炭酸泉による褥創治療効果。開口部面積の縮小。(鍋木誠ほか, 2000)

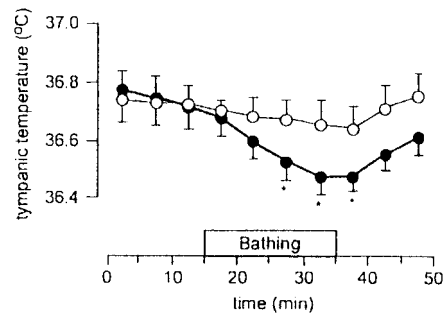


図19 炭酸泉浴 (●) と真水浴 (○) による鼓膜温の変化。水温 34℃。6名の平均値±標準誤差。*印：有意差あり (p < 0.05) (Nisimura, Sugeno et al, 2002)

① 体温調節と関連して

体温調節と関連した研究は古くより繰返されてきた (Meier, 1937)。

炭酸泉の作用により冷覚が抑えられる。33℃の水温を，真水で冷たいと感ずるのに，炭酸泉では冷たく感じない。

33-34℃の炭酸泉では皮膚冷受容器からの入力が増加されるので，ふるえなどの対寒反応が起こらない (起こっても弱い)。熱は核心部から核心部より温度の低い炭酸泉中に放散される。炭酸泉浴では皮膚血流が増加しており核心部より皮膚表面に運ばれる熱が増加するので核心温は著しく低下する。図19に示されるように，34℃の炭酸泉浴での核心温度低下は同温の真水浴より有意に著しい。

図20は，33℃の中間温度と28℃の冷温の炭酸泉浴の影響を比べたものである。28℃の冷温の炭酸泉では，冷刺激によるふるえなどの対寒反応が引き起こされ，ために酸素消費量 (代謝量) が増すので，直腸温は低下しない。かえって増す場合もある。

対暑反応にも炭酸泉は影響する。39℃の炭酸泉 (1000 ppm) の前額部と胸部浸漬部の発汗への影響を39℃の真水浴に比較した結果を図21に示す。両部位とも炭酸泉による発汗が真水浴よりおこれて始まり，発汗量も炭酸泉浴の方が少ない。これは，

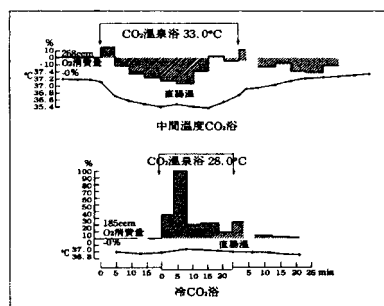


図20 中間温度炭酸泉（33℃）と冷炭酸泉（28℃）における直腸温と酸素消費量（代謝量）の変化（Schmidt, 1998）

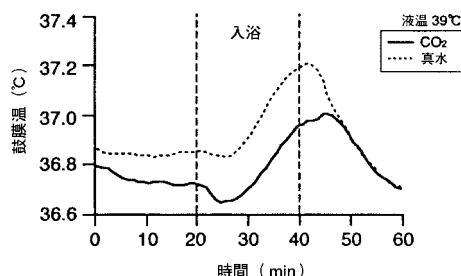


図22 炭酸泉浴（—）と真水浴（…）の鼓膜温に及ぼす影響の比較．液温39℃（西村直記ら，1999）

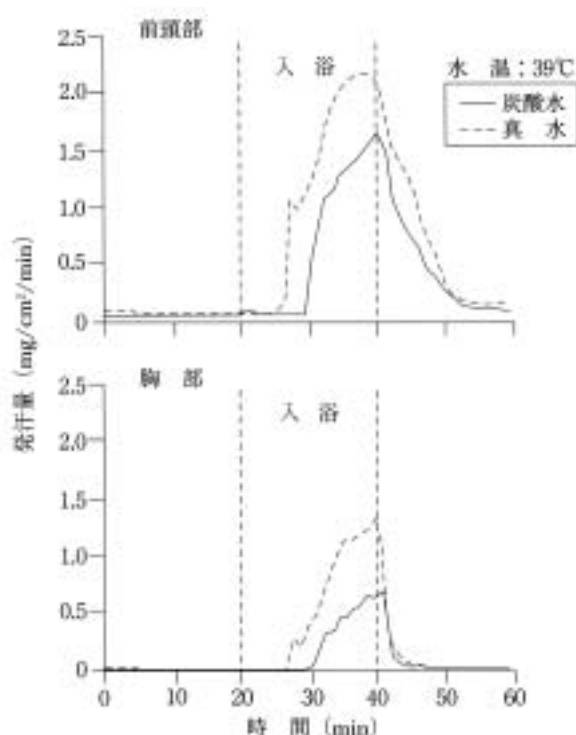


図21 炭酸泉浴（—）と真水浴（…）の前頭部と胸部発汗に及ぼす影響の比較．液温39℃（西村直記ら，1999）

39℃炭酸泉浴での核心温の上昇が真水浴に比べておそく小さいことを反映していると考えられる．図22は，39℃の入浴時の核心温（鼓膜温）の変化を確かめた報告である．

このように炭酸泉浴では，冷覚が抑制され，ふるえなどの対寒反応も，発汗などの対暑反応が抑制される．入浴が温度ストレスとして働く力を弱めることが出来る．

② 心血管系の応答

炭酸泉により，体温調節系とともに，心血管系も影響を受ける（Hartmann, Pohl et al, 1989）．血圧及び心拍数の変化がよく知られている．

34℃炭酸泉浴と，真水浴の最高及び最低血圧に及ぼす影響を比較した結果を図23に示した．

収縮期血圧の経過には，両者の差がない．

拡張期血圧では，入浴により炭酸泉では有意の低下がみられ，真水では変化がない．図23-2はこの結果を分かりやすく示したものである．

炭酸泉浴により末消血管が拡張し，末消血管抵抗が減少する．この現象によって炭酸泉は古くから高血圧の治療に用いられてきた（Winterfeld et al, 1990）．

もう一つの特徴は，炭酸泉の作用で紹介したように心拍数の減少である．この作用は，交感神経系を介して引き起こされると推定されている．

交感神経系の変化を引き起こす機序については知られていない．また炭酸泉によって引き起こされる作用が，心臓以外にどのような作用を引き起こしているかについても，例えば胃腸系への影響について，まだほとんど明らかにされていない．

人工炭酸泉の開発によって，炭酸泉の生体への影響についての実験ができるようになったので，作用機序の研究などでの急速な進展が期待される．

V. 臨床応用のまとめ一適応と禁忌

天然炭酸泉による治療は120年以上の歴史をもっている．ローマ時代にすでに炭酸泉入浴の記録がある．

CO₂濃度1000 ppmの人工炭酸泉は，天然炭酸泉と同様に作用することが明らかにされてきた．従って人工炭酸泉も，天然炭酸泉と同様の効果が期待できる．

自然炭酸泉の各種疾患への適応については，ヨーロッパを中心に現在もなお研究が続けられている．

まとめの1例を図24に示した．

血管障害，自律神経障害，神経障害などが適応とされている．心疾患など，現在もなおその適応について論争中の疾患がある．

炭酸泉の禁忌

炭酸泉は本来的に副作用が少ない．次の事項が

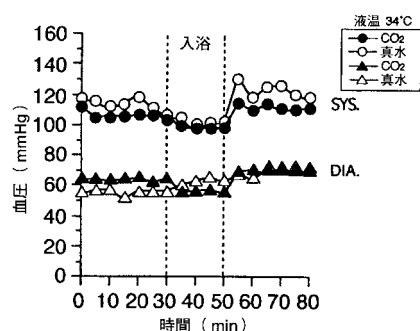


図 23-1 炭酸泉浴（黒）と眞水浴（白）の最高血圧 sys, (丸)と最低血圧 dia (三角)に及ぼす影響の比較. 経過曲線 (松本孝朗ら, 1998)

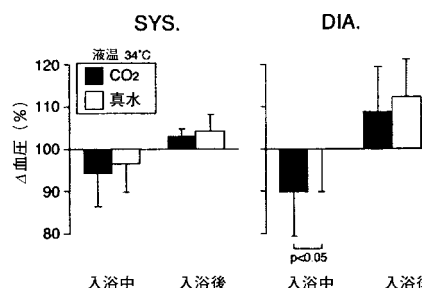


図 23-2 炭酸泉（黒）と眞水浴（白）の最高血圧 SYS と最低血圧 DIA に及ぼす影響の比較. 水浴中と水浴後の変化のまとめ (松本孝朗ら, 1998)

適応

小動脈閉塞性疾患（とくにⅣ期）
細(微)小血管症（障害）
多発(性)神経障害
疼痛性ジストロフィ（Sudeck 病）
脳循環障害（脳卒中後遺症）
慢性静脈不全、特に潰瘍
レイノー症候群（機能的、形態性）

疑問あり

小動脈性高血圧
心不全
冠動脈疾患
低血圧
頭痛

(1996 年炭酸泉国際会議にて)

図 24 炭酸泉療法の適応（炭酸泉国際会議，フライブルク，1996 年）

とりあげられている。

- ① 血圧低下によるめまい、立ちくらみなど起こりやすい人は注意を要する。
- ② 心疾患患者。心負荷が増し、心への負担が増大する可能性がある。
- ③ 気管支炎、肺疾患などは高炭酸血症となりやすいので注意を要する。

Ⅵ. おわりに

自然炭酸泉のヨーロッパでの歴史は古く、ローマ時代以前にまでさかのぼる。しかし、残念なことにその利用は炭酸泉の噴出個所に限られており、日本でもアメリカでも利用することが出来なかった。しかし最近人工膜を使って人工炭酸泉を作ることが可能となり、炭酸泉の研究が急速に進んでいる。人工炭酸泉には自然炭酸泉に比べて次のよ

うな利点がある。

1. CO₂濃度を 1000 ppm 以上に高く出来る。また望む CO₂濃度を含む炭酸泉を作ることが出来る。
2. 家庭用もあり、どこでも使用出来る。温泉場に行く必要がないので、1日何回でも使用できる。
3. 炭酸泉の作用機序などについて実験を行うことも出来る。
4. 気楽に使えるので、トレーニング、リハビリなどでの使用法が現在開始されている。

今後ますます多方面での利用が開始されるように願っている。

文 献

- 1) Beutel, G.R., Sobanski, R. (1985) Ergebnisse der komplexen Kurorttherapie bei peripherer Verschlusskrankheit im Stadium II. Z. Physiother. 37: 309-311.
- 2) Dodt, E. (1956) Die Aktivität der Thermorezeptoren bei nicht-thermischen Reizen beknnter thermoregulatorischer Wirkung. Pflügers Arch. 263: 188-200.
- 3) Hartmann, B. R., Bassenge, E., Hartmann, M. (1997) Effects of serial percutaneous application of carbon dioxide in intermittent claudication: Results of a controlled trial. Angiology. 48: 957-964.
- 4) Hartmann, B. R., Bassenge, E., Pittler, M. (1997) Effects 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.
- 5) Hartmann, B., Pittler, M., Drews, B. (入来正躬訳) (1997) Kohlendioxid als Balneo-therapeutikum bei Arterieller Verschlusskrankheit: Physiologie und Klinik. 小動脈閉塞性疾患の CO₂ 温泉療養：生理と臨床。炭酸泉誌. 1: 10-16.
- 6) Hartmann, B., Pohl, U., Wohlmann, D., Holtz, J., Bassenge, E. (1989) Wirkung von Kohlensäurebädern auf den Blutdruck von Grenzwerthypertonikern. Z. Kardiol. 78: 526-531.
- 7) 橋本真明 (2000)炭酸泉浴の心臓・循環器系機能に対する効果：麻酔ラットを用いた人工単純炭酸泉浸漬時の徐脈と関連する自律神経機構の解析。炭酸泉誌. 3:21-27.
- 8) Hentschel H. D. (1967) Über die Hautrötung im Kohlensäurebad. Allgemeine Therapeutik. 7: 180-186,

- 216-224, 251-261, 279-286, 331-341, 437-439.
- 9) 入来正躬, 橋本眞明, 榊原巨規, 長坂好倫(1999)人工炭酸浴の生理作用. 炭酸泉誌. 2: 30-35.
- 10) 鍋木誠, 東祐二, 下沖晋, 松本哲朗, 藤元登四郎, 遠藤宏和, 森反俊幸, 辻隆之 (2000) 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.
- 11) Komoto, Y., Komoto, T., Sunakawa, M., Eguchi, Y., Yorozu, H., Kubo, Y. (1986) Dermal and subcutaneous tissue perfusion with a CO₂-bathing. Z. Physiolther. 38: 103-112.
- 12) 松尾汎, 林富貴雄, 武田裕, 辻隆之, 遠藤宏和, 篠原智誉 (2000) 虚血肢への人工炭酸泉足浴の効果に関する研究. 脈管学. 44: 923-928.
- 13) 松本孝朗, 菅屋潤壹, 西山哲成, 西村直記, 加藤雅子, 犬飼洋子 (1998) 中性温人工炭酸泉(1000ppm)全身浴時の生体反応と5回連浴効果. 第2回人工炭酸泉研究会. 1998年10月, 東京
- 14) Meier, G. (1937) Beiträge zur Wärmeregulation auf Grund von Bäderwirkungen. Klinische Wochenschrift, 16: 1418-1421.
- 15) 西村直記, 菅屋潤壹, 松本孝朗, 西山哲成, 加藤雅子, 犬飼洋子 (1999) 種々の水温による全身の高濃度炭酸浴が発汗に及ぼす影響. 第3回人工炭酸泉研究会. 1999年4月, 東京
- 16) Nishimura, N., Sugeno, J., Matsumoto, T., Kato, M., Sakakibara, H., Nishiyama, T., Inukai, Y., Okagawa, T. Ogata, A. (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.
- 17) Schmidt, K. L., (入来正躬訳)(1998) Kohlensäurewässer (Säerlinge) 炭酸浴 (炭酸泉). 炭酸泉誌. 1: 5-9.
- 18) 内田誠 (1998) 多層複合中空糸膜 (MHF) の開発と応用. 炭酸泉誌. 1: 17-20.
- 19) Winterfeld, H.-J., Siewert, H., Strangfeld, D. (1990) Einfluss ambulanter CO₂-Badserien auf Blutdruck, Herzfrequenz und periphere Mikrozirkulation bei Therapie mit Proranolol. Z. Phys. Med. Bain. Med. Klim. 19: 183-186.