

小動脈閉塞性疾患の CO₂ 温泉療養：生理と臨床

B. Hartmann, M. Pittler, B. Drews
応用生理学・温泉医学研究所，フライブルグ大学

CO₂ は代謝最終産物あるいは光合成の基礎成分であると同時に，皮膚への適用による効果が経験的に評価されている治療薬でもある．すでに中世には，酸性水や地上の噴出ガス（“ 炭酸噴気孔 ”）は特に治癒力が強く，当時しばしばみられた麦角中毒によりひき起こされた “ アントニウム熱 ” に有効であると認められていた．これ以外に有効な治療方法はなかった．1624 年に医科学者 van Helmont (1577–1644) が炭酸ガスを含むことを確かめた．その抗感染作用は Boyle (1627–1691) , Lavoisior (1743–1794) によって見出され，分析された．最初の組織的な医学的研究は Lalouette 1977 によって行われ，慢性陳旧性の皮膚損傷が CO₂ の反復適用によって治癒することが明らかにされた．

CO₂ を含む水が自然に出る地域は 19 世紀に心臓治療泉として発展した．この用い方は全身水浴の容量負荷（前負荷）のため一時ほとんど時代おくれになったかのようにみえた．しかし皮膚への CO₂ 適用は—医師の経験にもとづく適切な評価をうけて—循環障害，血管障害や自律機能調節障害に有効な治療法とて用いられるようになった．治療は治療泉でクアのように地域の特徴を生かし，あるいは医薬品として認められている “ 炭酸泉 ” や（人工的）医療用 CO₂ を用いて行われている（Jordan 1985）．

CO₂ を含む水の経口投与，すなわち飲療法での治療が行われることもある．

生 成

ガスの形（“ 炭酸噴気孔 ”）または水にとけた形の高濃度の CO₂ は地殻の火山爆発後のマグマ産物として作られる．これらのガス泉や泉源ガスが地表に達すると圧低下により濃度が減少し，あるいは，Henry-Dalton の法則に従ってのガス成分除去がおこる．これは技術的に防止することもできる．治療上有利な “ 過飽和 ” の CO₂ 濃度は多くの費用をかければ人工的に得ることもできる．

CO₂ は水中では主に物理的に溶解しており，分子のわずか 1 promille ほどが炭酸として化学的に結合している．

溶解はそのほか Gay-Lussac の法則に従い．温度と，水中に溶解している物質により影響される．圧低下，温度上昇，鉍物の混在により濃度が低下する．

ドイツの自然ミネラルの 80 % は治療に必要な最小濃度の 400 mg CO₂ を含んでいる（Hentschel 1967, Schnizer 1985）．炭酸含有水として必要な限界値 1 g（Kg 水当り）を超えているのはその中の丁度 3 分の 2 である（ドイツ温泉カレンダー）．医療用ガス—たとえば Linde 又は Messer Griesheim の—はドイツ（DAB-）又はヨーロッパ（Ph. Eur.-）の薬局方に記載されている薬品である．この人工的に作られた “ 乾性 ” CO₂ ガスは，天然の噴出ガスや炭酸泉から遊離された CO₂ と全く同じように，特別のプラスチック袋（たとえば Ehrlich Bad

表 1 ．用語辞典（抜粋）

二酸化炭素 Kohlendioxid 炭酸 Kohlensäure	医学的に用いられている（carbon dioxide） 歴史的表現：水中で 0.1 % のみが H ₂ CO ₃ として化学的に結合し，99.9 % はガスとして溶解しているので．
涌出泉 sprudel 炭酸泉 Sauerling, Sauerborn, Sauebrunnen, Sauerwasser ；	日常語：多くは酸と結合している． 歴史的—温泉療法に好みに従って使用される
炭酸噴気孔 Mofette 乾性ガス Trockengas	自然のガス噴出 治療用ガス

著者の許可を得て翻訳・転載
（入来正躬，山梨県環境科学研究所）

（受付・受理 1998 年 5 月 18 日）

Wurzach ドイツ, Sinthylene Pont de Vaux フランス)に入れて用いられ, 水とCO₂は透浸装置(たとえば Subaqua Emmendingen, Unbeshieden Baden-Baden, Technica Ratzeburg)を用いて混合される.

CO₂含有水は化学的に炭酸(水素)塩と等価の酸量(硫酸アルミニウム, 塩化アンモニウム, フマル酸塩, 硫酸水素ナトリウム, コハク酸塩)との反応によって生成することもできる.

この“炭酸泉”は医薬品として“医薬品リスト”に採用されている.

呼 吸

酸化的代謝によって安静時には200–250 ml, 運動負荷では1.5 lまでのCO₂が産生される. 遍在性の身体構成要素であるCO₂分子は水溶性かつ脂溶性で, 膜を自由に透過し, その速度はO₂より25倍早い. 組織または肺胞と毛細血管の間の圧勾配によって末梢と肺でのCO₂の動きが決定されている. 生理学的条件でCO₂の3%が皮膚を通して大気中(ふつう0.03 Vol % CO₂が含まれている)に

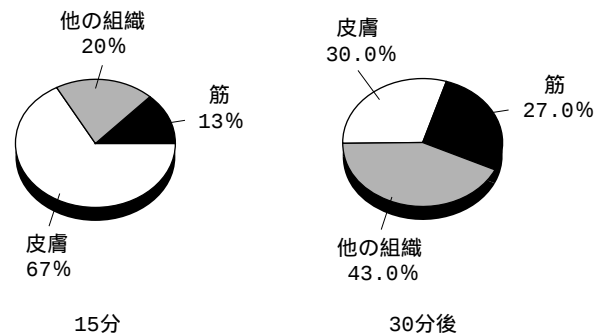


図1 CO₂分布: 15分間適用終了時と適用後30分

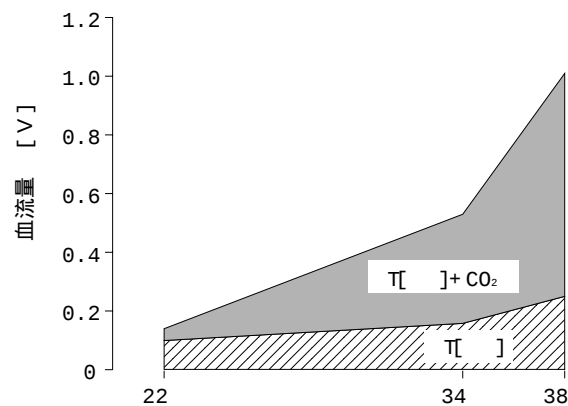


図2 レーザー・ドップラー血流計で測定された皮膚血流量増加. 温度変化(T[°C])と温度変化+CO₂(T[°C]+CO₂)の比較

放出される. 身体をとりまく相(ガスまたはCO₂が混入した水)のCO₂濃度を飽和状態まで上昇させた時の皮膚を通して吸収される量は最大30 ml CO₂/m²体表面/minである.

小動脈血は, CO₂分圧が肺胞と同じ40 mmHgの時は, 500 ml CO₂/lを含み, 45から47 mmHgの分圧の静脈血に含まれるCO₂はこれより50 ml多い(Jordan 1985). 血液中にCO₂分子の5–10%が物理的に溶解している. 約10%は, 主に赤血球中で, NH₂グループとカルバミノ結合を作る. 残りは血液中で炭酸脱水酵素の触媒によって炭酸(H₂CO₃)となり, 炭酸は直ちに重炭酸イオンと水素イオンに解離する. HCO₃⁻の移動は塩素イオンのと同じである(ハンプルグ現象-塩素イオン移動)(Bauerら1980をみよ).

還元ヘモグロビンは, ハルデンによれば, 酸素化ヘモグロビンより多くのCO₂と結合する. これによって静脈でのCO₂の輸送もCO₂を体外に呼出することも容易となる. CO₂上昇は直接pHを減少させ酸素解離曲線を右方に偏位させる(ボア効果). これによってヘモグロビンの酸素結合能が低下し, 組成での酸素利用が容易となる.

皮膚へのCO₂適用によって皮膚のみでなく筋の酸素分圧が上昇する(Komotoら1986). CO₂吸入は健常者にも小動脈閉塞患者にも同様の効果がある(図3 Boekstegersら1990).

このように中間温度のCO₂含有水全身浴では, 真水の全身浴とは逆に, 小動脈のO₂分圧が上昇する. これは, 呼吸中枢の刺激または肺胞の換気と灌流の均一化の改善にもとづいているのであろう(Jordan 1985).

血流動態

体液のCO₂濃度上昇は中枢性にも末梢性にも作

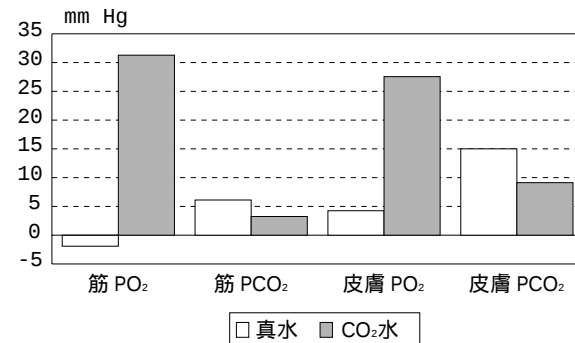


図3 質量スペクトル分析計で直接測定した筋と皮膚のO₂分圧(P_{O₂})とCO₂分圧(P_{CO₂})の変化. 30分の真水全身浴とCO₂水全身浴の終了時. 家兔(Komoto 1986を改変)

用する．化学受容器が刺激されて交感神経活動性が亢進するので，皮膚静脈を除いて，小動脈と静脈の血管抵抗が上昇する（たとえばCunningham 1987）．組織と末梢血管中のCO₂濃度上昇によって前毛細血管小動脈が拡張し，機能的に閉ざされた毛細血管が開く．皮膚への適用でも同様である（Itoら 1989）．末梢抵抗が低下し，血圧が低下する．

CO₂吸入では，まず血管収縮がおこるので，皮膚へ適用したときの作用の一部しかならえない．組織のCO₂濃度が上昇してはじめて血管が拡張する．この拡張はpHが不変でも引き起される（たとえばBlairら 1960）．高炭酸は皮膚と筋の動脈の抵抗を低下させる．同時におこるpH低下によりとくに皮膚動脈が拡張する．これはCO₂を皮膚へ適用したときでも起る（DijiとGreenfield 1960）．

低圧系では局所のpCO₂上昇により，pHとは無関係に，静脈血管運動の応答が促進される．高炭酸が局所的及び直接中枢に作用すると静脈が収縮する．酸血症は拡張性に働く．

血液レオロジー

CO₂は血液の流れと血液凝固に影響する．CO₂の吸入によっても皮膚への適用によっても，凝固亢進とフィブリン溶解抑制の状態が正常化される（Hartmann 1993をみよ）．全身浴または4分の3浴の連続適用により，血液と血漿の粘性の低下とヘマトクリットの低下によって，長期に亘り血液の流動性が改善された．この原因は灌流されていなかった毛細血管が，細胞と蛋白の少ない液によって再灌流されたためであろう．これは薬理学的血液希釈作用に一致している（Ernstら 1990）．

中間温度，代謝，抗炎症作用

CO₂は皮膚の温受容器を刺激し，冷受容器を抑制する．このためCO₂を含む水は，真水より約2℃あたたかく感じられる（Jordan 1985）．

そのほかCO₂には抗炎症作用がある．

CO₂濃度の変化は中間代謝に影響する．濃度上昇により血漿の燐と乳酸脱水素酵素の値が上昇する．これは解糖の抑制あるいはグリコーゲン生成の促進に基づいている（Plötnerら 1990）．

作用機序

作用機序について多数の臨床研究報告があるにもかかわらず，詳しい作用機序については仮説のみである．今まで常に問題とされてきたのは，CO₂は直接作用するのか，または仲介要素を介して作用するのかという点である．

その中で特に明らかなことは，経皮的に吸収されたCO₂が，曝露時間を越えて生体中に証明されていることである（Andrejew 1990，Jordan 1985）．

適 用

CO₂は水に溶けた状態で，あるいはガスの状態で皮膚に適用される．さらに付加的に吸入により適用されることがある．（吸入によるものは，診断のためにまたは実験的に用いられる）．

作用に影響する要因には次のものがある．

- CO₂濃度
- 温度
- 表面積
- 時間（曝露時間，回数，間隔）

作用は明らかに濃度に左右される．作用があらわれる域値は400 mg/kg水で，作用は1400mg CO₂/kg水まで直線的に増加して，その後プラトーになる．水温はこの効果に影響を与える（図2）．健常人では3分後に作用の強さはプラトーに達する．小動脈性，静脈性および微小血管性循環障害ではプラトーに達する時間は長くなる（Hentschel 1967, Schnizerら 1985）．

効果が証明されているのは，自然のCO₂含有水，人工的にガス浸透によって作られたCO₂含有水，および化学的に作られたKAO-Bub^R又はActibath^R

表2 CO₂の作用

抗炎症作用 皮膚温受容器の刺激，冷受容器の抑制 血管拡張（前毛細血管小動脈） 機能的閉鎖毛細血管の再構築 O ₂ 解離曲様の右方偏位 静脈応答の亢進（“ 静脈緊張 ”） 血液流動性改善 交感神経系抑制
--

表3 用量のパラメータと適用方法

CO ₂ 濃度 媒質：水，湿潤したガス 温度 面積：部分浴か全身浴 時間：曝露時間，回数，間隔
--

である．他の“CO₂泉”はこれまでその効果は証明されておらず，その作用と考えられていたものは残念ながら推定または類推にすぎない．

適用温度は，物理学と温熱生理学にもとづき，厳格にきめられている．自然のまたは人工的に作られたCO₂水とCO₂ガスの適用温度は異なっている．“乾性ガス”は，蒸気を使って湿度を高くした場合は28℃で用いられる．“ガス浴室”として営業されているところではこの標準が守られていないことが多い(Krüger 1979)．

“閉鎖的CO₂ガス療法”はもともとMarienbadとRoyat Auvergneに生まれたもので，熱産生と蒸発湿度あるいは発汗を皮膚を通してのCO₂吸収の手段として用いている(Beeら1994)．さらにCO₂含有水を用いる場合には，流体力学(水圧とアルキメデスの浮力)と水温も利用する．水の客観的中間温度(34.5℃)と主観的不感温度はガスの場合とは明らかに異なっている．CO₂含有水の適用では，不感温度のシフトのために冷たい温度で我慢でき，一方皮膚微小循環は維持されるので，CO₂含有水は冷却に適している．CO₂の注入(吸入)の適応と作用は論争中である．これまではLocomte(Liège)の研究班によって実験動物を用いて行われたような，窒素を用いての対照実験が欠けていた(Konsensus-Konferenz 1990)．

局所的な適用と全身浴による効果は異なっている．動脈血圧とレオロジーは全身浴によってのみ影響される．局所の循環動態はその局所へのCO₂の適用により影響される．CO₂浴は伝統的に短時間で行われており，適用の最短時間を20分にする事で合意されている．

クアのように連続して用いるときには最短10分が必要である．

特異的作用のほかに，外的刺激に対する調節反

応(順応，適応，習慣)は調節トレーニングの立場から考慮しなければならない(Hildebrandt 1982)．

適応症と禁忌

表4は研究会でまとめられた適応症と禁忌の表である．

CO₂療法によって，動脈－，静脈－微小循環障害患者の皮膚微小循環と四肢全体の血流が改善される．最も強いときは，入浴中に効果あるが，入浴後にも効果があり，また連続使用では長期の効果がある．

小動脈閉塞疾患

小動脈血流は，CO₂ガス浴でも“炭酸”水浴でも改善される(BeutelとSobanski 1985, 1980)．図4は間歇性跛行第Ⅱ期の患者において，治療の目安とされる値，すなわち血流阻止後の反応性充血，歩行能，および足エルゴメトリーで測定された腓腹筋の運動能について，CO₂浴と運動療法との効果を比較したものである．連続的なCO₂適用によってこれらの値は運動療法より明らかに改善されている．さらに検討する必要がある(たとえばFabryら1985, Krüger 1979)．

体表面への適用でみられる血管拡張は適用された身体部位に限られている．血圧低下なしにまたSteal効果またはBorrowing-Lending効果なしに，局所の血流増加がおこる(May 1980)．

壊死の第Ⅱ期では，CobetとRatshowによるCO₂部分ガス浴が古典的な適用である．CO₂含有水の適用の有効性もよく検討された臨床研究で明らかにされている(たとえばWernerlら1990)．CO₂の

表 4 適応症と禁忌

確実なもの：
小動脈閉塞性疾患
皮膚微小循環障害
小動脈性高血圧
静脈不全（特に冷水適用，熱輸送で“静脈保護”）
軽度から中等度の心不全（NYHAⅡ期まで）
疼痛性ジストロフィー（Sudeck病）Ⅱ期
線維筋痛
自律機能調節障害
トレーニング不足，筋トレーニング不可能時
疑問あり：
脳循環障害
禁忌：
高炭酸血症
（水浴が禁止されているもの）
論争中：
小動脈性低血圧

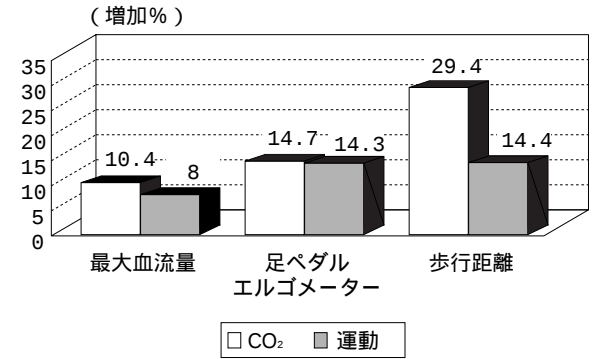


図 4 血流阻止後の小動脈最大血流量 (ml/100ml・min)，足ペダルエルゴメーター (w)，歩行距離 (m) の変化を%で示す．運動療法とCO₂浴療法の比較．(BeutelとSobanski, 1985を改変)

皮膚への適用は，その作用機序はまだ明らかにされてはいないが，糖尿病性の微小血管障害にも明らかな効果がある．ここでは，O₂解離曲線の右方偏位と，Mucha（1992）が疼痛性ジストロフィーの治療効果について論議したと同様の機序が問題となる．四肢末端の血管拡張は四肢末端の機能的，形態時血流障害（一次性，二次性レイノー症候群）の治療に適している（Diji, Greenfield 1960, Hartmann ら 1995）．局所的に適用されたCO₂は，手や指の血流改善とともに自覚症も改善し，重症度を下げ，発作の頻度を減少させる．

どの程度までCO₂の皮膚への適用が脳血流に影響するかはまだ明らかではない．多分適用の方法に左右されよう（たとえば Jordan 1985）．東ヨーロッパではCO₂全身浴が脳血流障害と脳機能障害の適応症とみなされている（Florian ら 1990）．

小動脈性高血圧症

CO₂浴により末梢血管抵抗が低下することが小動脈性高血圧症の治療に用いられる理由である．ただし境界高血圧症患者ではクアの間には体重減少と塩分制限も一緒に行うので，CO₂に特異的な効果を認めることはできなかった（たとえば Hartmann ら 1989）．

これに反して，はっきりした高血圧症患者では，数週間の規則的なCO₂適用後に，安静時血圧が下り，同時に末梢微小循環が改善し，末梢血管抵抗が低下した（Winterfeld ら 1990）．この事実は，古典的適応についての大多数の研究と，“炭酸泉”を基礎とした複合的クアの長い経験を支持している（たとえば Hentsehel 1967, Hildebrandt 1982）．

心疾患

真水の全身浴と“炭酸水全身浴”は重症の心不全，冠動脈疾患，不整脈では禁忌である．特に末梢抵抗がまだ低下していない発病初期が危険である．しかしCO₂の部分浴あるいはガス浴は軽症の心疾患患者には用いられている．心筋梗塞後のNYHA- または 期の心不全の患者は，CO₂の適用によって末梢O₂利用が6%増加する（Knopf ら 1989）．

心の低酸素ではCO₂の適用によって1回心拍出量と心拍出量が増し，同時に心拍数が減じ，末梢抵抗が減少する．これと平行してエルゴメーターで測定した運動機能が改善される．同時に狭心症

の症状が転快する（Sorokina ら 1985, Sorokina ら 1985）．

静脈循環障害

熱輸送ではCO₂は静脈保護作用がある（Hartmann ら 1993）．CO₂の皮膚への適用による静脈機能の改善は，古くから理論的根拠について論議されているが結論は得られていない．臨床家は支持し，基礎医学研究者は否定している．フランスの研究グループの報告によれば，35 から 37°C のCO₂含有ミネラル温水浴の反復により静脈瘤と血栓後症候群の静脈機能が改善した（Garreau と Garreau-Gomez 1985, Peanne 1989）．クアでのCO₂適用後の機能改善は，15°Cの水の注出による冷刺激のくり返しの結果に相応している．このとき熱は対流で奪われる（Hartmann 1993 をみよ）．

静脈瘤と血栓後症候群患者の28°CのCO₂含有水による下腿浴では，冷却と静水圧が作用する．ここでCO₂に附加的效果があるか否かは不明である．明らかに差のあるのは主観的に快適な水温で，28°Cの真水は快適ではない．第5図は連続したCO₂全身浴による静脈容量への作用を，中間温度である34.5°Cの真水の全身浴とで比較したものである．これによって特異的なCO₂の効果を明らかにすることができる．36°Cに調節された600 mgCO₂/kg 水を含むミネラル-温-運動浴20分後の外部の熱輸送におけるCO₂の静脈保護作用は浴前後の比較によって明らかにすることができようが，熱輸送が患者に与える危険性から，倫理規定により対照実験が不可能であった．（Hartmann ら 1993）．

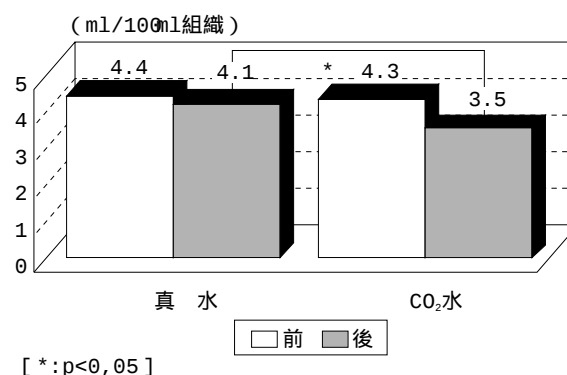


図5 静脈閉塞プレチスモグラフで測定した静脈容量増加の減少．連続的真水浴とCO₂浴の効果の比較．(34.5°C, 3週間に12回)

疼痛性ヂストロフィー（Sudeck 病）

疼痛性ヂストロフィーの 期では，CO₂の皮膚への適用によって疼痛が軽くなり，臨床的な機能改善がみられ，明らかに回復が早くなって治療経費が軽減される．その理由として全身的な自律神経系の緊張緩和，物質交換の正常化を伴う浮腫の吸収，および疼痛性物質の分解による痛覚消失が検討されている．

線維筋痛

疼痛性ヂストロフィーへの効果が組織的研究によって証明されている一方，長い経験により知られている“軟部リユーマチ”における治療効果は証明されていない

自律系調節異常（“自律機能失調症”）への効果も同じで，真水浴の有効な効果も取り入れた有効な治療法の開発が期待される．

結 論

CO₂は正しい適応と用量を守れば，有効で副作用のない，自然の，化学的な，技術的な治療手段である．一方多くの研究にもかかわらずまだ最適な用量と詳細な鑑別診断についての一般的な同意が得られていない．目下国際的な研究グループにより，効果の証明と長い間おろそかにされていた基準についての研究が行われている．

このような臨床的な研究とともに，最近進歩した精密な方法を用いて作用機序についての研究が行われている．これには学術的に十分な手掛かりがある．CO₂浴療法は，身体活動に基づく療法（スポーツ療法，仕事療法，トレーニング療法，動作療法）と同じような生作の応答，たとえば皮膚血流と筋血流の活動的变化，が引き起こされるので，これらの療法と同じようにみなすことができよう．

実用的にはCO₂浴療法はいろいろ応用することができる．特に老化や支持・運動系の疾患のために筋が十分に活動出来ない患者に重要な治療法である．とりわけ物理医学やリハビリ医学での機能回復に役立っている．この意味からも現在ある研究課題の本質を明らかにし，完成させる意義が大きい．

文 献

Andrejew, S.V.: Aufnahme, Vertelung und Ausscheidung von Kohlensäure bei CO₂-Bade-und Trinkkuren. Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim. (Suppl. 1) **19** (1990) 33–9.

Bauer. C., G. Gros, H. Bartels: Biophysics and physiology of carbon dioxide. Springer, Heidelberg-New York (1980).

Beer, A.-M., G. Gruss, K. Mottaghy: Zur Wirksamkeit der geschlossenen CO₂-Gasbehandlung, Phys. Rehab. Kur Med. **4** (1994) 44–8.

Beutel, G., R. Sobanski: Ergebnisse der komplexen Kurorttherapie bei peripherer Verschlusskrankheit im Stadium II. Z. Physiother. **37** (1985) 309–11.

Blair, D.A., W.E. Glover, L. McArdle, C. Roddie: The mechanism of the peripheral vasodilatation following carbon dioxide inhalation in man. Clin. Sci. **19** (1960) 407–23.

Boekstegers, P.M., W. Weiss, W. Fleckenstein: The effect of hypercapnia on the distribution of pO₂ values in resting human skeletal muscle, 9–14; In Clinical Oxygen Pressure Measurement II (Hrsg.: Ehrly, A.M., Fleckenstein, W., Hauss, J., Huch, R.) Blackwell Ueberreuter, Berlin (1990).

Bühning, M., B. Möller, E., Jungmann, K.-H. Göttl, R. Saller: Zur endokrinen Regulation des Elektrolythaushaltes im Kohlensäurebad, Z. Physiother. **39** (1987) 15–22.

Cunningham, D.J.C.: Studies on arterial chemoreceptors in man. J. Physiol. (Lond.) **384** (1987) 1–26.

Deutscher Bäderkalender des Deutshen Bäderkalender 61–67, Flöttmann, Gütersloh (1995).

Diji, A., A.D.M. Greenfielde: The local effect of carbon dioxide on human blood vessels. Amer. Heart J. **60** (1960) 907–14.

Fabry, R., J. Cheynel, J.J. Dubost, Ch. Dany, G. Shaff: The effects of CO₂ gas thermal therapy in stage III atherosclerosis obliterans of lower limbs. Cah. Arteriol. Royat **12** (1985) 78–83.

Florian, M., L. Anitei, M. Dinescu: Klinisch-funktionelle Studie über die Änderung hormoneller Parameter und des Kreislaufs unter dem Einfluss der Therapie mit generellen natürlichen Mofetten in Covasna (Rumänien). Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim. (Sppl 1) **19** (1990) 87–88.

Garreau, C., B. Garreau-Gomez: Mesures des effect des eaux de Barbotan-les-thermes sur le remplissage et la vidange veineuse chez les phlébitiques et les variqueux par pléthvsmographie a jauge de mesure. Phlébitiques **38** (1985) 529–39.

Hartmann, B., U. Pohl, D. Wohltmann, J. Holtz, E. Bassenge: Wrikung von Kohlensäurebädern anf den Blutdruck von Grenzwerthypertonikern. Z. Kardiol. **78** (1989) 526–36.

Hartmann, B., Y. Agishi, Y. Komoto, H. Yorozu, I. Andrejev, V.M. Bogoljubov, G. Jonderko, J. Benda, J. Kolesar, M. Matej, M. Fabry, G. Schaff, M. Bühning, H. Jordan, H., W. Schmidt-Kessen, W. Schnizer. N. Tiedt, H.-J Winterfeld, L. Anitei, M. Florian: Ergebnisse der Konsensus-Konferenz über Kohlenstoffdioxid-balneotherapie, Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim. (Supple 1) **19** (1990) 13–15.

Hartmann, B., B. Drews, E. Bassenge: CO₂-induzierte Zunahme der akralen Durchblutung und des Sauerstoffpartialdruckes bei arterieller Verschlusskrankheit. Dtsch. med. Wschr. **116** (1991) 1617–21.

Hartmann, B., B. Drews, C. Burnus, E. Bassenge: Zunahame von Fussrücken-Hautdurchblutung und -transkutanem Sauerstoff-partialdruck während Unterschenkel-Immersion in kohlendioxid-haltigem Wasser bei Patienten mit arterieller Verschlusskrankheit: Ergebnisse einer gegen Süswasser kontrollierten Studie. Vasa **20** (1991) 382–7.

Hartmann, B.: Kohlendioxid-Balneotherapie: Effekte auf Haut-

- Mikrozirkulation und -Sauerstoff-Partialdruck, Makrozirkulation und arteriellen Blutdruck von Gefäß- und Kreislaufkranken. Habilitationsschrift Freiburg i. Br. (1993).
- Hartmann, B.: Carbotjérapie thermique dans le syndrome de Raynaud. Effects de l'immersion de la main dans l'eau minérale carbogazeuse. Les acrosyndromes, Cah. Arteriol. Royat **20** (1995) 7–10.
- Hentschel, H.-D.: Über die Hautrötung im Kohlensäurebad. Habilitationsschrift Gießen (1966).
- Hildebrandt, G.: Grundlagen der Kurortbehandlung bei Herz- und Kreislauferkrankungen. Therapiewoche **32** (1982) 4252–66.
- Ito, T., J.L. Moore, M.C. Koss: Topical application of CO₂ increases skin blood flow, J. Invest. Dermatol. **93** (1989) 259–262.
- Jordan, H.: CO₂-Bädertherapie -Auswertung eines Symposiums mit internationaler Beteiligung. Z. Physiother. **37** (1985) 75–98.
- Knopf, D., K. Hofmann, G. Plötner Veränderungen der arteriovenösen Sauerstoffpartialdruckdifferenz im Verlauf einer Behandlungsserie mit Kohlensäuremineralwasserbädern. Z. Physiother. **41** (1989) 161–6.
- Komoto, Y., T. Komoto, M. Sunakawa, Y. Eguchi, H. Yorozu, Y. Kubo: Dermal and subcutaneous tissue perfusion with a CO₂-bathing. Z. Physiother. **38** (1986) 103–12.
- Krüger, H.: Vergleichende Untersuchung des therapeutischen Effekts von CO₂-Gasbädern und krankengymnastischer Übungsbehandlung bei der claudicatio intermitens. Dissertation FU Berlin (1979).
- Lüderitz B., Noder, W.: Über die Wirkung von Bädern mit verschiedenem Kochsalz- und CO₂-Gehalt auf Gesunde und Kranke mit Funktionsstörungen des kardio-pulmonalen Systems. I. Das Verhalten der Funktionsgrößen des kardio-pulmonalen Systems im CO₂-haltigen Solbad bei gleicher Temperatur, gleicher Wasserhöhe und gleicher Badedauer (Arbeitsergebnisse bis zum 1.3.1962), Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen (1964).
- Lüderitz B.: Das Verhalten des arteriellen Blutdruckes, der Sauerstoffaufnahme und der Pulsfrequenz in Bädern unterschiedlicher Zusammensetzung, Wasserhöhe und Temperatur bei unterschiedlichen Expositionszeiten. Forschungsbericht. Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen (1970).
- May, E.: Klinisch-experimentelle Untersuchungen über den therapeutischen Wert des Segment-Kohlensäuregasbades im Vergleich zum konventionellen Gasbad. Dissertation, Akademie für Ärztliche Fortbildung der DDR Berlin (1980).
- Mucha, C.: Einfluss von CO₂-Bädern im frühfunktionellen Therapiekonzept der Algodystrophie. Phys. Rehab. Kur. Med. **2** (1992) 165–94.
- Plötner, G., K. Hofmann, D. Knopf: Zum Einfluss der CO₂-Bäder-Therapie auf Stoffwechsel- und Stressparameter bei Herzinfarktpatienten während der Frührehabilitationskur. Z. Physiother. **42** (1990) 245–59.
- Schnizer, W., R. Erdl, P. Schöps, N. Seichert: The effect of external CO₂ application on human skin microcirculation investigated by laser Doppler flowmetry. Intern. Journal of Microcirculation: Clin. Exp. **4** (1985) 345–350.
- Sorokina, E.I., J.T. Ponomarev, V.V. Portnov: Der Einfluss "trockener" Kohlensäurebäder auf die Herz- und Koronarinsuffizienz von Postinfarkt-Kardiosklerose-Patienten. Z. Physiother. **37** (1985a) 249–54.
- Sorokina, E.I., O.B. Davydova, N.B. Poskus, N.S. Kamenskaja, N.A. Kenevic: Anwendung von Kohlensäurebädern bei der Behandlung von Patienten nach einem Herzinfarkt. Z. Physiother. **37** (1985b) 403–7.
- Werner, G.T., M. Gadowski, F. Wehle: Kohlensäurebäder in der Behandlung chronischer, schlecht heilender Wunden. Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim. (Suppl. 1) **19** (1990) 52–6.
- Winterfeld, H.-J., H. Siewert, D. Strangfeld: Einfluss ambulanter CO₂-Badserien auf Blutdruck, Herzfrequenz und periphere Mikrozirkulation bei Therapie mit Propranol. Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim. **19** (1990) 183–6.