大腸二重造影における炭酸ガス (CO₂) の適用についての検討 (仲座・化)

テクニカルノート

大腸二重造影における炭酸ガス (CO₂) の適用についての検討

仲 座 良 造・*中 尾 宣 夫・*島 田 達 治

*上 野 敬 司・小 田 雅 彦・原 田 健 二

小 川 雅 男・三 浦 公 美・青 山 信 和

石 井 信 江・菅 原 謙 三

兵庫医科大学病院中央放射線部

*兵庫医科大学放射線医学教室

(論文受理 1988年11月24日)

(最終論文受理 1989年6月16日)

(Code No. 434, 438)

Key words: Barium Enema, Carbon Dioxide (CO₂)

THE APPLICATION OF CARBON DIOXIDE FOR DOUBLE CONTRAST
BARIUM ENEMA EXAMINATION.

YOSHIZO NAKAZA, *NORIO NAKAO, *TATUJI SHIMADA

*KEIJI KAMINO, MASAHICO ODA, KENJI HARADA

MASAO OGAWA, SATOMI MIURA, NOBUKAZU AOYAMA

NOBUE ISHII and KENZO SUGAWARA

Department of Radiology, Hyogo Medical Collage Hospital

*Department of Radiology, Hyogo Medical Collage

(Article received; Nov., 24, 1988)

Summary

The use of carbon-dioxide (CO₂) for colon insufflation as negative contrast media in radiograph is not new. Room air consists of about 80% nitrogen and 20% oxygen. therefore, a buffer system of carbon-dioxide in the human body has limited chemical contact for nitrogen, so that nitrogen gas should stay for a very long time. Thus, the patients may have pain if the gas expansion creates an ischemic situation in the colon blood stream with the body heat.

Ninety-eight consecutive patients scheduled for barium enema studies were assigned randomly to insufflation with either air or CO₂ in a double blind, prospective trial.

Clinically relevant pain was experienced by 49% of the patients after insufflation with room air, compared with 26% of patients in whom CO₂ was used for insufflation. ($p < 0.02$, χ^2)

1. 緒 言

大腸二重造影の検査後に被験者が腹痛を訴えるケースをしばしば経験する。この原因としては使用されたバリウムよりは、腸管内に送入された空気に起因することがある。すなわち、空気中の主成分はおよそ80%の窒素と20%の酸素から成り立っており、窒素は生体の炭酸ガス緩衝系との化学的結合に乏しいため体腔内に長時間残留することが推測される。そして、体温による熱膨張が増えられ腸管は虚血状態に至り腹痛の主原因となる。この腹痛を軽減するため空気に代わり炭酸ガス (CO₂; 以下 CO₂ と記す) の陰性造影剤としての利点がクローズアップされている⁴⁾ 今日、CO₂ への若干の基礎的検討を試みた。

また、CO₂ を供給する方法はつぎの二つが考えられ、一つは1920年代より米国で行われている高圧ポンベのCO₂ を使用し¹⁾⁻⁴⁾、他の一つは1987年 Ruben Pochazevsky らが考察した発泡剤のCO₂ を用いる方法である⁵⁾。われわれは現状に即した方法として後者を採用しバリウムバック内でCO₂ を発生させた。

2. 理 論

体腔内のガスVは浸透性を持つ隔壁Tを通過し血液中にV'のガスが拡散して行く、そのときのガス量は概ね $V' = KA(P_L - P_c)/T$ と現わすことができる (Fig. 1)。そして Fick¹²⁾ の気体の拡散式では次のように定義されている。

$$\frac{d(VP_L)}{dt} = -K(P_L - P_c) \quad (1)$$

V: 体腔内のガスの体積

P_L: 体腔内のガスの分圧

P_c: 血液中のガスの分圧

K: 吸収係数

体腔内に迅速な吸収拡散性を持つガスが存在する場合そのガスの動向は初期状態では壁の縮小に伴い内圧は一定に保たれているとすると、(1)式は

$$P_L \frac{dV}{dt} = -K(P_L - P_c) \quad (2)$$

$$V = V_0 - K(1 - \frac{P_c}{P_L})t \quad (3)$$

となる。しかし、終末過程では壁の柔軟性が失われるた

Fig. 1 Simplified diagram of the exchange of gas between the lumen of the alimentary canal and the blood and tissue around it. V' is the volume of gas in the gut, P_L is the partial pressure of a particular gas in the lumen and P_c, that in the venous blood and surrounding tissue. The simplified equation becomes

$$V' = kA (P_L - P_c) / T$$

T; wall thickness

k; coefficient factor

A; effective area

V'; Gas volume

め体積Vが一定となり P_L に依存した拡散がおこなわれることになり、(1)式は次のようになる

$$V \frac{dP_L}{dt} = -K(P_L - P_c) \quad (4)$$

同じく積分して

$$V = \frac{-Kt}{\log e \frac{P_L - P_c}{P_{L0} - P_c}} \quad (5)$$

P_{L0}: t=0 の時の分圧

となり、これらのことから体腔内では直線的減衰と指数的減衰が複合した形態をとることが推測される。

Mclver (1926)¹³⁾, Forster (1968)¹⁴⁾ らの動物実験によると、Fig. 2 の腸管内におけるガスの減衰に見られるように指数的減少傾向を示している。また Table 1 に6種類のガスの半減時間と比例係数Kの値が表示されている。ここでもCO₂の拡散吸収の大きいことがうかがえる。

3. 方 法

3.1 物理的吸収試験

100, 250, 500 ml (×2) の三種類のメスシリンダにCO₂

Fig. 2 The increase in 60 ml of air introduced into the cat stomach (From McIver et al.)

a: the mean partial pressure of CO₂ in the blood, is assumed to be 5.38 percent of 1 atmosphere (line a···a). The solid line is drawn from equation (5) with $K = 0.33$ (ml/min. Hg).

Table 1 Transfer coefficient and half-time of equilibration of gases in 20 ml gas phase in cat small intestine.

Gas	Half-time of equilibration (min)	Transfer coefficient (ml/min mmHg)
CO ₂	5	0.0037
H ₂ S	12	0.0016
O ₂	50	0.00038
H ₂	90	0.000022
N ₂	97-280	0.00007-0.0002
CH ₄	185	0.0001

(Approximate calculations from data of McIver and coworkers 1926)

を100 ml 封入し、水を接触溶媒として8時間にわたりガス量を測定した。なお、同時に500 ml のシリンダ A に100 ml の空気を封入しこれをコントロールとした。(Fig. 3)

3.2 臨床写真のボリューム計測

Fig. 4 に示される技術シェーマ⁵⁾に基づき、検査直後と1時間後の臨床写真 (Photo 1, 2) を各々一例入手し、ガス量を比較した。

3.3 アンケート評価

CO₂ 施行49例および空気施行49例の合計98例に対して無作為に聞き取り調査 (検査後6時間以上24時間以内

Fig. 3 Experimental Illustration of diffusion between carbon-dioxide and room air.

A; Air 100 ml in 500 ml Cylinder.
B; CO₂ 100 ml in 500 ml Cylinder.
C; CO₂ 100 ml in 250 ml Cylinder.
D; CO₂ 100 ml in 125 ml Cylinder.

Fig. 4 Technical illustration. CO₂ generation in the enema bag.

A packet of effervescent powder 15-20 g is emptied into the enema bag containing liquid barium suspension. After capping and shaking, 1.5-2.0 liters of CO₂ are generated within one minute. Barium is first instilled, and CO₂ is then insufflated into the colon under fluoroscopic control by inverting the bag and gently squeezing it manually. (Pochaczewsky, R, 1987 A. J. R.)

に電話もしくは直接面接。)をおこなった²⁾。(Fig. 6)

4. 結 果

CO₂は空気に比して水に対する吸収拡散速度が著しく大きいことがFig. 5より分かった。理論上は前述したように体腔内においては接触面積、血流量、体温、壁厚、などかなり複雑な過程を経て吸収拡散が行われている。われわれの行ったシリンダテスト（接触面積以外のパラメータはほぼ同一に保ち、接触面積を三種類に変化させたシリンダを使用）の結果、CO₂はその接触面積に依存した減衰曲線となった。指数近似による相関係数は $r > 0.99$ となり、これらのことからこれは全く物理的現象であることが判明した。

CO₂ (100 ml) の半減時間から算出した単位面積毎の平均拡散速度は1.0 ml/cm² hr となり、面積係数は1.8となった。空気はほとんど吸収がなく、その定量は不可能であったが、化学便覧のブンゼン係数⁷⁾から計算すると両者の差は飽和状態でCO₂の1/48倍と考えられる。

Cylinder (ml)	Surface Area	Equation	r
500	20.7cm ²	$V = \exp(4.7 - 6.25 \times 10^{-3}t)$	0.991
250	12.1	$V = \exp(4.7 - 3.82 \times 10^{-3}t)$	0.993
100	6.25	$V = \exp(4.6 - 1.81 \times 10^{-3}t)$	0.995

Fig. 5 Diffusion curves of air and carbon-dioxide sealed mess-cylinder in water. These coefficient factors (r) of diffusion curve were than 0.99 and over (1 atmosphere, 22 degree).

しかし、生体内での吸収拡散のメカニズムは動物実験ですらも正確に捕らえることは困難である。そこで施行医師を通じて被検者の了解をとり、施行直後と1時間後のX線写真を入手し、心容積解析システムを用いて残存ガス量の測定 (Simpson Method, 拡大率1.2) を行いCO₂と空気の両者を比較したところ、CO₂施行例には33

Photo 1 Carbon-dioxide

An amount of CO₂ sufficient to distend the intire colon was almost completely absorbed from the colon in one hour.

Photo 2 Room air

An amount of air introduced into the colon no significant absorption. We analyzed each gas volume from clinical x-ray photographs (Simpson method calculation, Magnification factor 1.2). Carbon-dioxide diffusion was calculated 67% in volume, and Air was 25% in one hour.

%の残存ガス量に対し、空気施行例では75%のガスが残っており、両者の比率は2.3倍となった。ここでのシリンダテストとの大きな違いは空気が思いのほかよく吸収されていると言える。これは空気中の20%を占める酸素が生体内では比較的良好に吸収されていると考えられる。いずれにしてもCO₂の優位性はここでも変わることはなかった。

9項目にわたるアンケートを合計98名に行った。特記項目は痛みと膨満感の二点を取り上げた。空気施行例の49% (24/49) に痛みの訴えがあり、CO₂施行例ではほぼ半数の26% (12/47) となった。(Fig. 6)

両者の有意差は χ^2 検定において $P < 0.02$ の値が得られた。膨満感についても空気施行例の43%に対しCO₂施

大腸二重造影における炭酸ガス (CO₂) の適用についての検討 (仲座・化)

Fig. 6 Comparison between room air and carbon dioxide insufflated into the colon. Clinically, pain was experienced by 49% of patients after insufflation with room air, compared with 26% of patients in whom CO₂ was used for insufflation ($p < 0.02$).

It is also likely that a decrease in fullness will be recognized.

行例は32%と約1割の減少がみられた。

5. 考 察

シリングテストの吸収拡散実験からも理解されるように、この現象は肺のガス交換と同様、全く物理的な現象であった。シリングの内外を問わずその主成分である酸素と窒素の分圧は一定であるため、これらは隔壁としての水を隔てて平衡している。すなわち微量の酸素の溶解を除けば、ガスの移動は生じないことになる。CO₂の場合その大気成分は0.03%であることからその分圧差はほとんど一気圧となり、あわせて水との化学的結合力は酸素や窒素に比してはるかに大きい。このことからCO₂は非常に速い速度で吸収拡散がおこなわれる。ただし、生体の体腔内ではパラメータの設定が極めて複雑なため、移動速度を正確に予測することは現在の化学実験の水準をもってしても困難といわざるを得ない。

George Leven¹⁾は同一の被験者(ボランティア)により空気とCO₂の吸収拡散状態をX線写真上から評価を試みた。その報告によるとCO₂は生体内において注入後15分から吸収がはじまり45分でほぼ完全に吸収されている。それとほぼ同量の空気は2時間を経てもさほど吸収傾向がみられず、右下腹部に痛みが生じそれは12時間持続した。と述べられている。今回筆者らのおこなった

各々一例の臨床検討も吸収量においてCO₂は空気の2.3倍となり、そしてPhoto 2のAir使用例の1時間後には上行結腸から横行結腸にかけてむしろ拡張が観察されたことなどからもこの報告の正当性をうかがわせるものであった。かえってCO₂は吸収が速すぎるために検査途中でガスの追加を行わなければならなかったケースが二例経験されたが通常の検査時間内(15~20分)ではほとんど支障とならなかった。そしてガスの違いによる画像上の描出能の差もないことが二名の放射線科医により確認されている。

約100名の検査後の追跡アンケートの結果、CO₂を使用することで痛みの訴えは半減している。また膨満感に対しても若干ながら改善されているという結果を得た。今回検査後の状態を把握することに主眼をおいたものであるが、検査時の腹痛軽減にも寄与できる可能性が示されている。それは腸管内圧の上昇による粘膜血管のしめつけからくる虚血状態の痛みもさることながら、粘膜面との親和性の存在を示唆するものであった。X線写真上の両者の違いとしてはSpasmによる部分的な腸管のAir lockがCO₂では発生しにくかったことに関連しているのかもしれない。しかしながらこの点については現在結論をだすのは時期尚早であり、今後の検討としたい。

6. 結 語

従来の空気に代わりCO₂を用いることで大腸二重造影の検査後に生ずる腹痛の軽減に有効性のあることが示唆された。

7. おわりに

CO₂を供給するには現在二つの方法が考えられる。一つは今回試みた密封性のバリウムバック内で発泡剤と水を反応させてCO₂を発生させる。これは現在市販のバックでも使用可能であるが、バック内に発泡剤を内蔵した構造が望まれる。他の一つは高圧ポンペのCO₂を利用する方法がある。自動注腸器を使用される施設では後者を選択することがより良いのはあきらかであるが、ポンペのCO₂は非常に低温であるため、室温にもどすために注意を要する。以上の点をふまえることでCO₂が安全に操作され、検査後の苦痛軽減につなげることを切に希望したい。

本論文の一部は1988. 4 (東京) 技術総会にて発表した。

謝 辞

本論文の作成にあたり適切な御指導を頂いた兵庫医科大学
病院中央放射線部, 伊藤博技師長をはじめ堀井薬品工業KK石川
義昭, 伏見製薬KK山崎純一の両氏, そして100名余りの被験者
のみなさんに厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Pochaczewsky R, Sherman R S: A new technique for the roentgenologic examination of the colon, A. J. R. **89**, 787-796, (1963).
- 2) Coblenz C L, Frost R A, Mollinaro V, et. al.: Pain after barium enema: effect of CO₂ and Air on double contrast study. Radiology, **157**, 35-36, (1985).
- 3) Bemier P, Coblenz C: CO₂ delivery system for double contrast examinations Radiology, **159**, 264, (1986).
- 4) George Levene: Rate of Venous Absorption of Carbon Dioxide and Air Used in Double-Contrast Examination of the Colon, Radiology, **69**, 571-575, (1958).
- 5) Pochaczewsky R: Double-Contrast Examination of the colon with Carbon Dioxide—The use of Effervescent powder. A. J. R., **149**, 502-504, SEPT (1987).
- 6) 日本薬局法 (11) c 1214~1218.
- 7) 日本化学会編: 化学便覧 基礎編 II, 丸善KK, (1971).
- 8) 北川敏夫, 稲葉三男: 統計数学通論, 共立出版 p. 103-109, 139-147, (1972).
- 9) 徳安俊二, 高野紀三夫, 駒木 淳, 他: 注腸造影における炭酸ガス使用の検討, 日放技学誌, **44**(8), 989, (1988).
- 10) 仲座良造, 原田健二, 小田雅彦, 他: 注腸二重造影における炭酸ガス使用の適応検討, 日放技学誌, **44**(8), 990, (1988).
- 11) 赤柴恒人: 呼吸とその管理—ガス交換, Expert Nurse Vol. 3, No. 17, (1987).
- 12) 吉村寿人, 岩瀬善彦, 岡本彰裕: 新医科生理 (上) 298, 408, 420, 439, (1967), 南江堂.
- 13) Monroe A M, Alfred C R, Edward B B: Gaseous exchange between the blood and the lumen of the stomach and intestines, Amer J Physiol, **76**, 92-111, (1926).
- 14) Forster R E: Physiological Basis of Gas Exchange. Annals N. Y Academy of Sciences, **150**, 4-12, (1968).