

〔一般演題〕

高炭酸血症に対する CO_2 コントローラの応用

安 本 和 正* 稲 田 豊** 鈴 木 尚 志*
 桑 迫 勇 登* 小 西 由美子*

人工呼吸時に適切な換気量を得、またそれを維持することを目的として、終末呼気炭酸ガス (ETCO_2) を情報源として換気量を、自動的に制御する換気レベル自動制御装置 CO_2 コントローラを開発し、臨床応用してきた。その成果の一部については、すでに報告した¹⁾²⁾。

他方、高炭酸血症を伴った呼吸不全に人工呼吸を開始すると、急激に炭酸ガスが排除されるので痙攣や循環虚脱をきたすことは周知の事実であり、人工呼吸開始時に注意すべき問題の一つである³⁾。今回、 CO_2 コントローラを用いて高炭酸血症の是正を試みたところ、比較的良好な結果を得たので報告する。

方 法

ネブタール麻酔下雑種成犬を対象として、低換気により約一時間 ETCO_2 を 10% に保った後、以下の三つの方法により炭酸ガスの排除を試みた。方法 A では、一回換気量を 75% 増加し、ほかの二つの方法では CO_2 コントローラを用いて ETCO_2 を 4% 減少した。この際、方法 B では換気量変動速度 (SCV と略す) を 5 ml/sec に、また方法 C では 1 ml/sec に設定してコントローラを作動した。なお、 CO_2 コントローラ作動には、 V_T が指数関数的に増減する制御法⁴⁾を用いた。

上記のごとく同一の犬において三つの方法により高炭酸血症の是正を行ったが、三つの方法の実施順序が均等となるように配慮した。高炭酸血症時、換気量増加またはコントローラ作動開始後 5, 15, 30, 60 分において ETCO_2 、血液ガス、一回換気量、気道内圧、胸腔内圧、心拍出量、肺動

脈圧、中心静脈圧などの測定を行った。

血液ガスの測定は、Corning 社製 158 PH Gas Analyser により、 ETCO_2 は Servo 930 CO_2 analyser を用いて、一回換気量および気道内圧は Servo ventilator に内蔵されたニューモタコメータにより、胸腔内圧はあらかじめ食道に留置したバルーンにて、さらに心拍出量は、IL 社製 Cardiac computer 701 を用いて熱希釈法によりそれぞれ測定した。

方法 A, B, C における各パラメータの変動を集計し、それぞれ第 I, II, III 群と称して比較検討した。

結 果

第 I 群では ETCO_2 は換気量を増加することにより急激に低下し、60 分後までその傾向が続いた。第 II 群においても ETCO_2 はコントローラ作動後 5 分に著明に低下した。しかし 15 分後からはほとんど変動しなかった。一方、第 III 群ではほかの二群と異なり ETCO_2 はゆっくりと減少し、開始後 30 分より安定した値になった。

全群において Paco_2 は、 ETCO_2 と近似して変動した。 PaO_2 は全群において換気量増加またはコントローラ作動開始後 5 分より上昇し、以後そのレベルを保った。pH は全群において上昇したが、開始後 15 分までは第 III 群における上昇の程度が、ほかの二群に比して少なかった。全群において BE の変動は、pH のそれとほぼ鏡面像を呈した。

第 II 群において一回換気量はコントローラ作動後 5 分に著明に増加し、以後若干減少した。一方、第 III 群における一回換気量は徐々に増加し、作動後 30 分からは略不動であった。したがって、第 II 群では一回換気量がオーバーシュートしたこと

* 昭和大学医学部麻酔学教室

** 東京大学医学部麻酔学教室

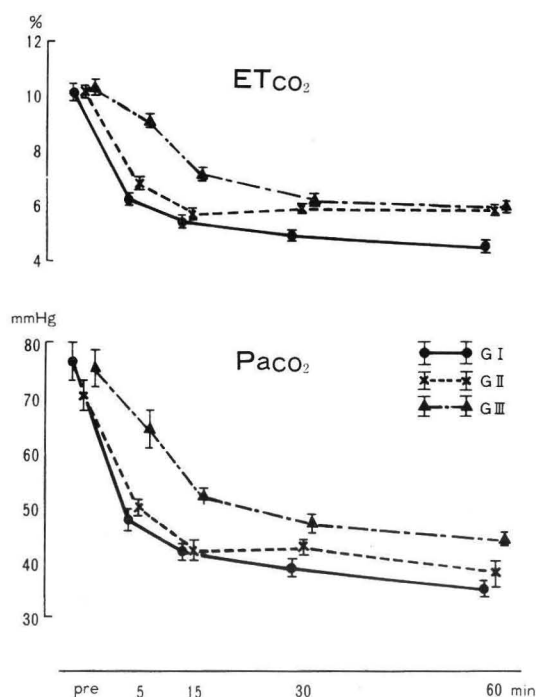
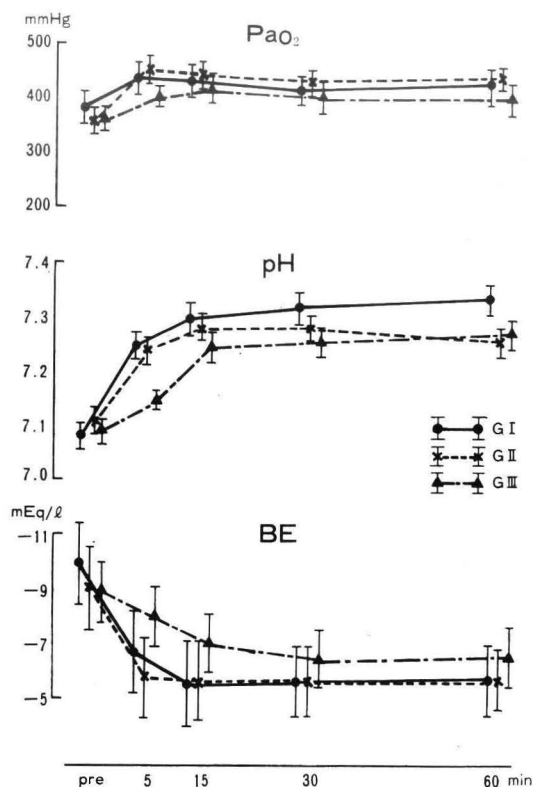
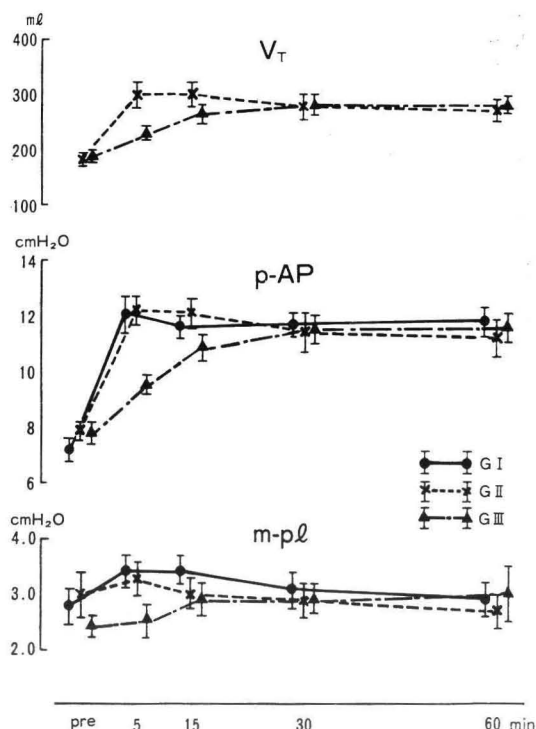
図1 $ETCO_2$ と $Paco_2$ の変動 (mean±SE)図2 PaO_2 , pH, および base excess などの変動 (mean±SE)

図3 tidal volume, peak airway pressure, ならびに mean pleural pressure などの変動 (mean±SE)

が示唆された。最高気道内圧は第Iおよび第II群では5分後に著しく上昇し、以後そのレベルを保った。第III群では最高気道内圧の上昇は緩徐であり、作動後30分より最大値を呈した。平均胸腔内圧は第Iならびに第II群では5分後より上昇し、以後若干減少する傾向を示した。それに対して、第III群における平均胸腔内圧の変動は少なかった。

心拍出量は、第I群では5分後より開始前値の約80%へと減少し、その後も減少し続け、まったく改善の傾向を示さなかった。なお、60分値は開始前値の72%であった。第II群においても作動開始後5分より心拍出量は経時的に減少したが、最大減少時でも(60分後)その程度は約10%であり、第I群に比較すると減少率は小さかった。一方、第III群ではほかの二群と異なり、心拍出量は15分後までにはほとんど変化せず、30分および60分に僅かに5%減少するに留まった。肺動脈圧は第I群では5分後より著しく低下し

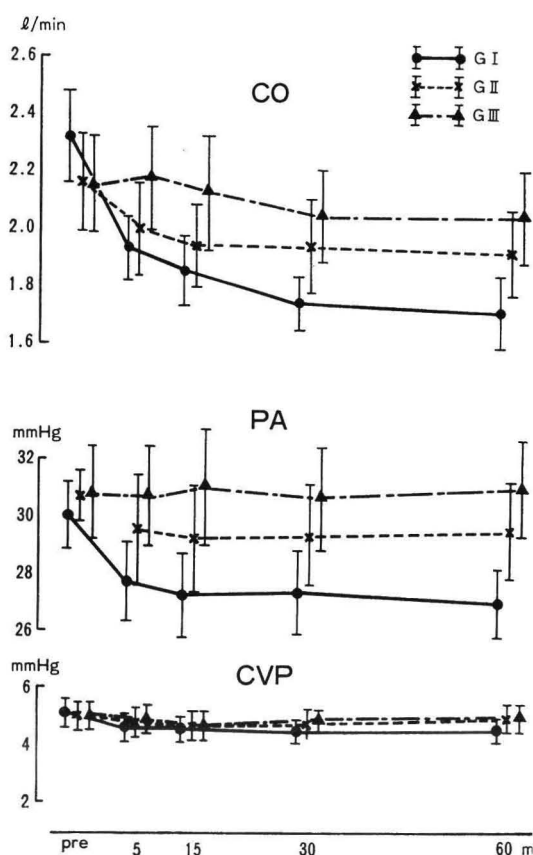


図4 cardiac output, pulmonary arterial pressure, さらに central venous pressure などの変動 (mean±SE)

た。第Ⅱ群では低下したものの、第Ⅰ群に比べるとその程度は小さく、さらに、第Ⅲ群ではほとんど肺動脈圧の減少は認められなかった。なお、全群において、さしたる中心静脈圧の変動はなかった。

考 察

CO₂ ナルコーシスに陥った呼吸不全例に人工呼吸を開始すると、Paco₂ が低下して血液ガスは改善するにも拘わらず、循環虚脱や痙攣を発症する事⁵⁾は周知の事実である。その対策として、換気量を徐々に増やして急激な Paco₂ の正常化を避けたり、または間欠的強制換気法を用いるなどにより、呼吸管理を行ってきた。著者らが開発した CO₂ コントローラは、ETco₂ を情報源に用い、希望する換気状況を容易に得ることが可能であ

る。そこで、木目の細かい呼吸管理が要求される高炭酸血症を、コントローラを用いて是正することを目的として基礎的な検討を行った。

今回、換気量を自動制御する際に用いた制御法では、設定 ETco₂ と実測 ETco₂ との間の差 (s-pDETco₂ と略す) が拡大するにつれて、SCV は増加する。そのため、本方式を用いてコントローラを作動する場合には、s-pDETco₂ が 1.0% における SCV を規定することになる。したがって、第Ⅱならびに第Ⅲ群では、設定 ETco₂ を実測 ETco₂ より 4.0% 低く設定したので、コントローラ作動開始当初の SCV は、それぞれ 20 ml/sec (5 ml/sec×4; 第Ⅱ群) と 5 ml/sec (1 ml/sec×4; 第Ⅲ群) となる。第Ⅱ群の自動制御開始時の SCV は、全身麻酔下における normocapnia の症例に対して、もっとも効率良く ETco₂ を減少し得る速度である。また、菅の検討では、ASA I 乃至Ⅱの症例 (Paco₂=35 乃至 40 mmHg) においては、循環動態の失調は、まったく認められなかった⁴⁾。

しかしながら、通常用いる際にはもっとも良好と思われる SCV により高炭酸血症を是正したにも拘わらず、第Ⅱ群では肺動脈圧の低下を伴った心拍出量の減少を認めた。一方、第Ⅱ群の 1/5 の SCV で換気量を制御した第Ⅲ群では、さしたる心拍出量の減少を伴うことなく高炭酸血症の是正に成功した今回の結果は、コントローラにより CO₂ ナルコーシスの呼吸管理を行い得ることを、示唆したものと思われる。しかし、第Ⅱ群の結果より、その際の SCV の選択には、通常の全身麻酔下での使用とは異なった細心の注意が必要とされる事が窺われた。

肺胞換気量を増すことにより、高炭酸血症を急激に是正した際に合併する循環失調の発生機序については、以下のごとく理解されている。高炭酸血症により交感神経が刺激されるためにカテコールアミンの分泌が促進される⁶⁾⁷⁾が、換気量の増加とともに Paco₂ が低下するとカテコールアミンの分泌が減少すること、さらに、陽圧呼吸により胸腔内圧が上昇して静脈還流が阻害され、心拍出量が減少することなどが考えられている。したがって、VT の変動が直線的であるために、オーバ

ーショートする V_T (設定 ET_{CO_2} における至適 V_T よりも一時的に V_T が上昇する現象) がより大きい比例制御法⁴⁾では、換気量自動制御時に必要以上の胸腔内圧の上昇をきたすので、高炭酸血症の是正時には用いない方が良好であろう。

今回対象に用いた成犬は、心肺機能にさしたる異常を伴っていないと考えられるので、 ET_{CO_2} と Pa_{CO_2} とが略近似して変動した。しかし、 CO_2 ナルコーシスに陥っている臨床例では、肺機能に多大な障害があり、その結果 $a-AD_{CO_2}$ は較大していると思われる。したがって、コントローラを用いて高炭酸血症を是正する際には、必ず $a-AD_{CO_2}$ 値を算出して、その分を加味して設定 ET_{CO_2} を定めることが肝要と思われる。この点に関して、Mitamura ら⁸⁾は $a-AD_{CO_2}$ が較大した例では、 ET_{CO_2} が換気状況を反映しにくいので、 \dot{V}_{CO_2} を測定して、 \dot{V}_{CO_2} の変化に伴って \dot{V}_A を変動させることにより Pa_{CO_2} の制御を試みた。その後、試作機を閉塞性肺疾患患者の呼吸管理に用いたところ、良好な結果を得たと報告している⁹⁾。

SCV の設定および $a-AD_{CO_2}$ への配慮などの問題があるものの、従来では繁雑であった高炭酸血症の呼吸管理を、 CO_2 コントローラにより循環動態の失調をきたすことなく行い得ることが、推測された今回の基礎的研究は、本コントローラの応用範囲が呼吸不全例にも較大することを示唆するものである。

今後は、高炭酸血症是正時のカテコールアミンの変動などを合わせて検討することが、必要と思われる。

結 語

雑種成犬を用いた基礎的研究では、 CO_2 コントローラにより、高炭酸血症を循環動態の失調をきたすことなく安全に是正することができた。しかし、その際の SCV は、1 ml/sec と著明に低かった。したがって、 CO_2 ナルコーシスの呼吸管理にコントローラを用いる際には、SCV の選択には十分な配慮を要することが窺われた。

文 献

- 1) 安本和正, 稲田 豊: 換気量自動制御装置. 麻酔 33: 1236-1241, 1984
- 2) 安本和正, 畠中 節夫, 桑迫 勇登, 稲田 豊ほか: Endtidal CO_2 による自動換気量調節装置の使用と問題点. 臨床呼吸生理 16: 146, 1984
- 3) 安本和正: ハンドブック呼吸不全と呼吸管理. 日経研, 名古屋, 1985
- 4) 安本和正, 稲田 豊: (麻酔印刷中)
- 5) 一市瀬裕一, 横山哲朗: 呼吸性アシドーシス. 日本臨床 41: 679, 1983
- 6) Nahas GG, Steinsland OS: Increased rate of catecholamine synthesis during respiratory acidosis. Respiration Physiology 5: 108, 1968
- 7) Andersen MN, Border JR, Mouritzen CV: Acidosis, catecholamines and cardiovascular dynamics; When dose acidosis require correction. Annal Surg 166: 344, 1967
- 8) Mitamura Y, Mikami T, Sugawara H, et al: An optimally controlled respirator. IEE Trans Biomed Eng BME 18: 330, 1971
- 9) 川上義和, 入江 正ほか: 閉塞性肺疾患患者に対する電算化レスピレータの使用. 日本胸部臨床 30: 798, 1971