

## 300m 飽和潜水中の換気パターンの変動

玉谷 青史\*    太田 保世\*    山 林 一\*  
 松田 源彦\*\*    中山 英明\*\*\*

### はじめに

高気圧環境下では炭酸ガスに対する換気応答が低下すると報告されている。肺泡低換気の結果である動脈血炭酸ガス分圧の増加は減圧症の促進因子としても知られている。環境ガスの密度が増加すると換気力学的には気道の粘性抵抗が増大するので分時換気量を指標とした換気応答テストは炭酸ガスに対する呼吸中枢の感受性の変化を必ずしも反映しない。Whitelaw, Milic-Emili らの  $P_{0.1}$  (mouth occlusion pressure at 0.1 sec after the beginning of inspiration) は炭酸ガスを負荷して換気量が増加する際に吸気側のバルブを瞬間閉塞して口腔内圧を測定するので気道内に気体の流れがなく、従って気道抵抗の影響を受けないので換気応答と比較して呼吸中枢の反応をより正確に測定できる。この方法で測定した口腔内圧を換気力学上駆動圧の間接的な指標として扱い300m 飽和潜水中の呼吸調節, 換気パターンの変動を換気力学的立場から検討することを目的とした。

### 方 法

1979年7月下旬より9月にかけて海洋科学技術センターで行われた300m 飽和潜水シミュレーション (Seadragon IV) において4名のアクアノートを対象に再呼吸法による炭酸ガス負荷を与え, 換気パターンの変動を測定した。空気をベースに酸素を0.2ATA 加え, He で加圧した。空気に対する混合ガス密度は100m で2.6倍, 200m で4

倍, 300m では5.4倍であった。31ATA 下の潜水シミュレーター内部で実験を行うため吸気, 呼気の判別, 換気量の変動は電気信号としてタンク外部の micro-computer で記録し, 更に  $P_{0.1}$  測定用 valve の開閉も computer 制御下に行った (図 1)。

再呼吸時の呼気ガスを同径のテフロン・チューブでタンク外に送り出し, 医療用質量分析装置 (Parkin-Elmer MGA 1000) で連続的に分析した (図 2)。

1呼吸毎に一回換気量  $V_T$ , 吸気に要する時間  $T_I$ , 呼出に要する時間  $T_E$  を測定し, これらの値より1呼吸を分時換気量に換算して  $V_E$  を求めた。 $V_T$  を  $T_I$  で除して平均吸気速度  $V_T/T_I$  を求めた。ポリグラフ上電圧変化として描出された呼気終末期の炭酸ガス濃度を1呼吸毎に測定し, 分圧に換算して対応する他の指標とともにコンピューターに記録した。これらのデータより  $V_E$ ,  $P_{0.1}$  の絶対値を対数に換算し片対数座標のたて軸に,  $P_{ET}CO_2$  を横軸にとり最小自乗法を用いてそれぞれ換気応答,  $P_{0.1}$  の回帰式を求めた。飽和潜水は100m/日の潜降速度で3日間, 300m 海底で14日間, 減圧に14日間のプログラムで行われた。実験は加圧開始14日後 (300m), 減圧途中 (200m, 100m), そして大気圧下で行われた。各深度で1ATA 相当の酸素を含む He 混合ガス 5ℓ を再呼吸に用いた。測定前後に水柱を用い圧 transducer の較正を, 質量法で特別に調整した混合ガスを用いて質量分析装置の較正を行った。

### 結 果

質量分析装置の電氣的 drift は2時間の間にわ

\*東海大学医学部第2内科

\*\*海洋科学技術センター

\*\*\*産業医科大学

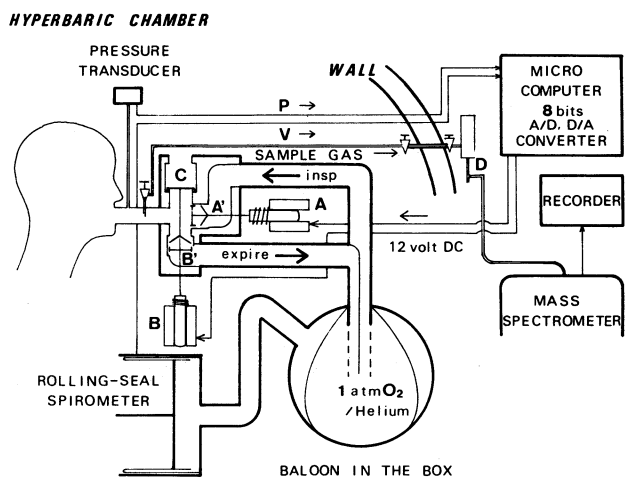


図1  
再呼吸システムと呼吸パターン測定装置。高圧タンク内 (31ATA) の呼吸パターンは bag in the box system に連結した rolling seal spirometer により換気量の変化を、差圧型 transducer (Validyne) により吸気, 呼気の判別を行い、信号はタンク外部の micro-computer に送られる。呼気ガスは micro needle valve で調節し 4 ml/分の割合でタンク外へ送られ、外部では容積が 31 倍に膨張し約 120ml/分となる。その 90ml/分のサンプルガスを mass-spectrometer (Parkin-Elmer MGA-1000) で連続的に測定し、ポリレコーダー上に描記した。P<sub>0.1</sub> 測定用の吸気側 valve (A) は micro-computer の制御下に silent solenoid A (国際電業) で開閉される。

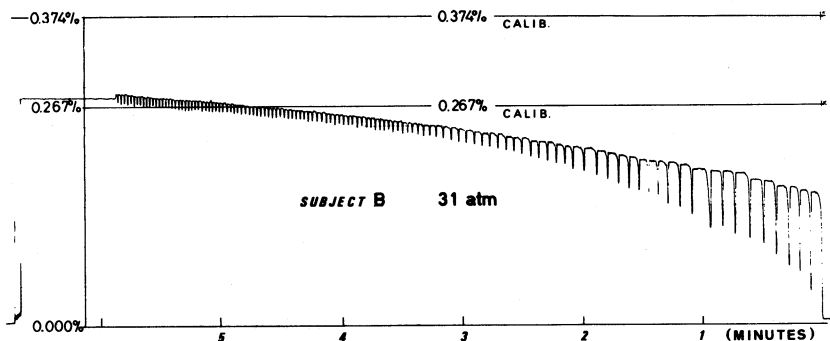


図2 He-O<sub>2</sub> 5 l 再呼吸中の呼気終末期炭酸ガス P<sub>ET</sub> CO<sub>2</sub> の段階的上昇。測定前後の calibration では誤差は 3% 以内であった。

ずかに認められたが前後 calibration の誤差は 3% 以内で 5 ~ 6 分の再呼吸時の炭酸ガス濃度は満足できる精度で測定された。

再呼吸による炭酸ガス分圧の最大値は control では  $63.2 \pm 3.1$  torr, 300m では  $67.3 \pm 2.7$  torr であった。

換気応答は P<sub>ET</sub> CO<sub>2</sub> 60torr 時に control では  $58.0 \pm 10$  l/min, 300m では  $34.0 \pm 2.5$  l/min で  $23.9 \pm 7.7$  l/min の減少があった (P<0.01)。

P<sub>0.1</sub> (絶対値) は P<sub>ET</sub> CO<sub>2</sub> 60torr 時に control で  $12.3 \pm 4.9$  cmH<sub>2</sub>O, 300m で  $8.72 \pm 2.88$  cmH<sub>2</sub>O と  $3.6 \pm 2.4$  cmH<sub>2</sub>O の減少 (P<0.1) が認められた。

一呼吸ごとの平均吸気速度 V<sub>T</sub>/T<sub>1</sub> と、その呼吸に対応する回帰式より求めた P<sub>0.1</sub> の予測値の関係 (図3) は dimension の上では気道の conductance をあらわす。★印で示す control 群の傾斜は  $0.32 \pm 0.08$  l / sec / cmH<sub>2</sub>O, 300m (+印) では

$0.17 \pm 0.07$  l / sec / cmH<sub>2</sub>O で有意 (P<0.01) な減少が認められた。

横軸に P<sub>ET</sub> CO<sub>2</sub> をたて軸に上段より順に V<sub>T</sub>, T<sub>e</sub>, T<sub>1</sub> を描出すると (図4) control (★印で示す) と比較して 300m (+印) では 4 名の被験者中 a と b では主に T<sub>1</sub> と T<sub>e</sub> が延長し, c と d では主に一回換気量 V<sub>T</sub> が小さくなっていることがわかった。

### 考 案

本実験では加圧に He を使用しており 0.8ATA 含まれる N<sub>2</sub> の呼吸中枢に対する薬理作用は考えなくてもよい。シミュレーター内の環境は温度, 湿度とも快適に制御されているので呼吸調節および呼吸パターンに直接影響すると思われる因子は吸気ガスの密度と 0.4ATA の酸素である。

Linnarsson らは空気加圧下 (6.4ATA) の呼吸調節に関する研究で P<sub>0.1</sub> で測定した CIA (central

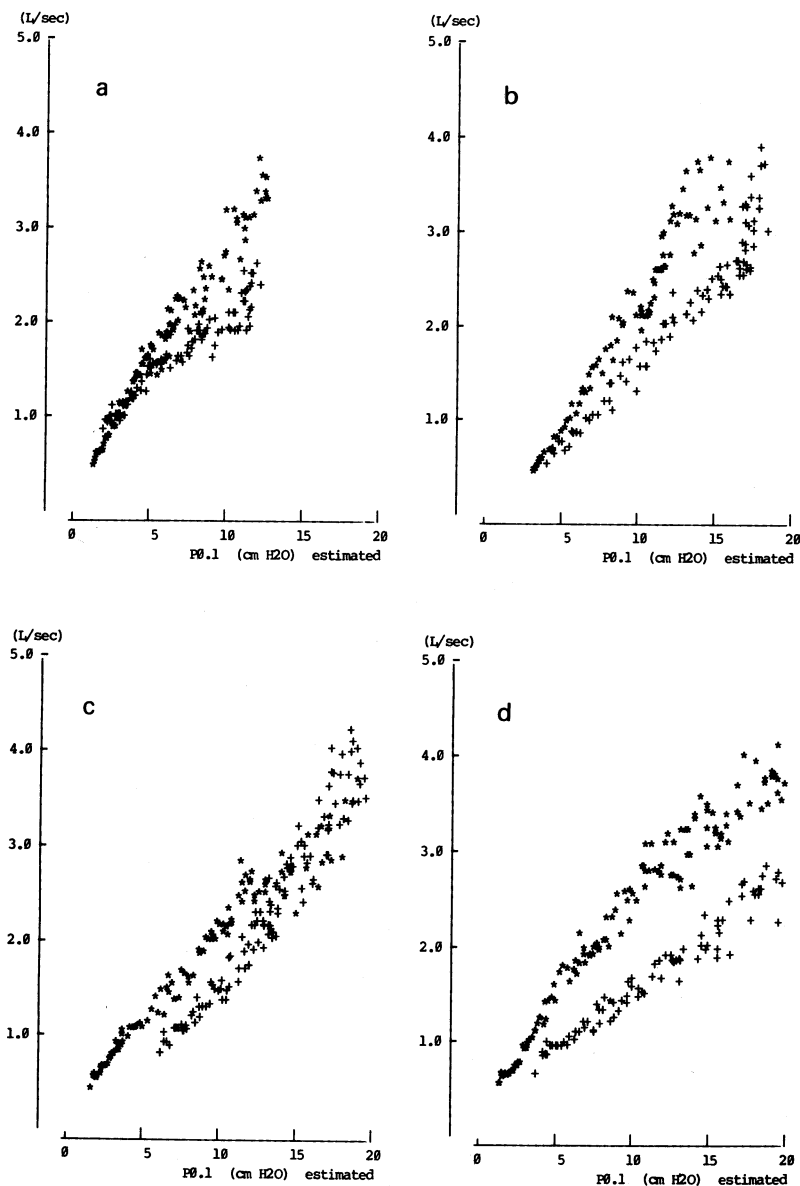


図3 再呼吸法による炭酸ガス負荷時の  $P_{0.1}$  を横軸に、平均吸気速度 ( $V_T/T_I$ ) をたて軸にとると dimension は conductance と同様なものになる。  
 ★印は control を、+印は 300m 下での測定値を示す。

inspiratory activity) は亢進しており、減少する換気応答とは解離があると報告している。その原因を気道抵抗の増大に対する生体の反応として説明している。本実験では 300m での conductance の減少に観察されるように同程度の駆動圧に対して高気圧下では十分な気速が得られず、その結果分時換気量  $V_E$  が低下して換気応答が減少することがわかる。また気道抵抗の増加に対して換気量

が減少する type と呼吸数が減少する type があることが推察される。

従来の報告との最も大きな相異は  $P_{0.1}$  の減少、すなわち CIA の減少である。この原因として長期間の 0.4ATA の酸素暴露による呼吸中枢への影響 (文献-4) が推察される。また今回の実験は急性の高気圧暴露による Linnarson らの実験とことなり、長期の飽和潜水途中に行われているので

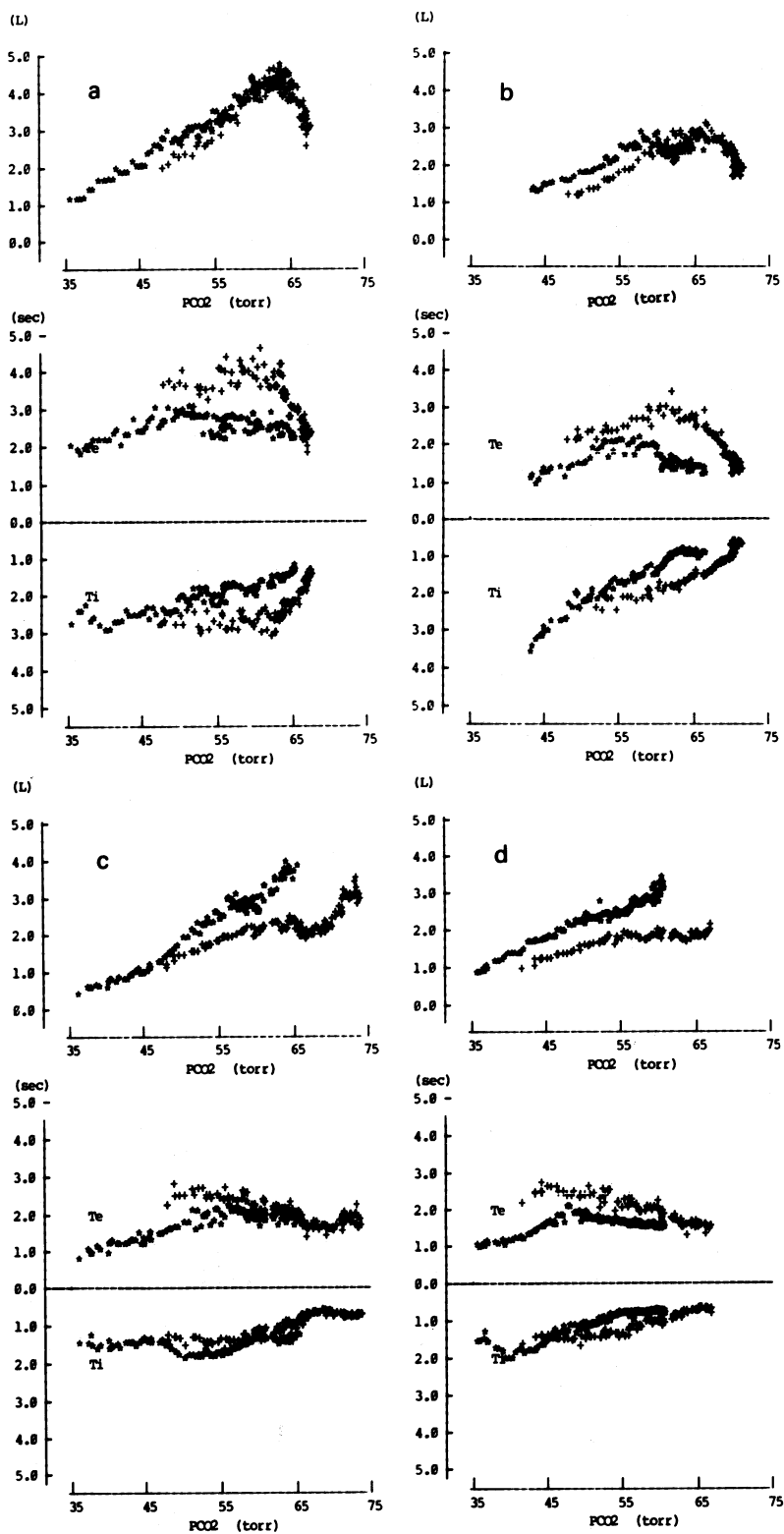


図4 横軸は  $P_{ET}CO_2$ , たて軸は上段より一回換気量(L), 呼出に要する時間  $T_e$ , 吸気に要する時間  $T_i$  (秒)を示す。★印は control, +印は 300m 加圧下の測定値を示す。

呼吸抵抗増大に対する反射的な吸気圧の上昇が順応化されてしまった結果であるとも考えられる。

[参 考 文 献]

- 1) Younes, M.K., and J.E. Remmers: Control of tidal volume and respiratory frequency. *Lung Biology in Health and Disease*, Marcel Dekker Inc., 1981, p.621-671
- 2) Linnarson D. and C.M. Hesser: Dissociated ventilatory and central respiratory response to CO<sub>2</sub> at raised N<sub>2</sub> pressure. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 45(5): 756-761, 1978
- 3) Florio, J.T., J.B. Morrison, and W.S. Butt: Breathing pattern and ventilatory response to carbon dioxide in divers. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 46(6): 1076-1080, 1979
- 4) Fleetham, J.A., C.A. Bradley, M.H. Kryger, and N.R. Anthonisen: The effect of low flow oxygen therapy on the chemical control of ventilation in patients with hypoxemic COPD. *Am Rev Respir Dis* 109: 345-350, 1974