〔一般演題〕

雑種成犬における長時間人工呼吸の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布に及ぼす影響

西村佳津*　中川真理*　橋本　宇*
栗岡孝明*　小西邦彦*　宗行万之助*

人工呼吸の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布におよぼす影響は数多く報告されているが，長時間人工呼吸の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布におよぼす影響に関する報告は少ない。われわれは，犬において72時間までの人工呼吸を行いその $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布の変化を検討したので報告する。

方　法

雑種成犬5頭，平均体重15.8±1.6 kg（Mean±SE）をペントバルビタールで麻酔し，アルクロニウムで不動化し，図1のように気管内挿管後仰臥位にてハーバードレスピレーター618Dに接続し人工呼吸を行った。動脈圧モニター・動脈血採血用として股動脈にテフロンカテーテルを挿入し，末梢静脈には輸液路としてテフロンカテーテルを留置した。Swan-Gantz® カテーテルを股静脈より挿入し，肺動脈圧・肺動脈楔入圧モニターと混合静脈血採血に用いた。動脈血炭酸ガス分圧が30～35 mmHg になるように換気量を設定し，換気回数は1分間20回，空気呼吸とし，実験終了まで換気量・換気回数の変更は行わなかった。輸液は乳酸加リンゲル液5 ml/kg/h とし，ペントバルビタールとアルクロニウムを持続投与し麻酔を維持した。循環動態が安定したところで，5%グルコース液200 ml に SF_6 2.5 ml，エタン40 ml，サイクロプロパン15 ml，ハロセン3 ml，ジエチルエーテル1 ml，アセトン5 ml を溶解したものを末梢静脈より3 ml/min の速度で注入した。30分後，動脈血・混合静脈血・混合呼気を採取し対照値とした。動脈血・混合静脈血のガス分圧，pH は血液ガス分析装置 IL 1303® を用いて測定し，

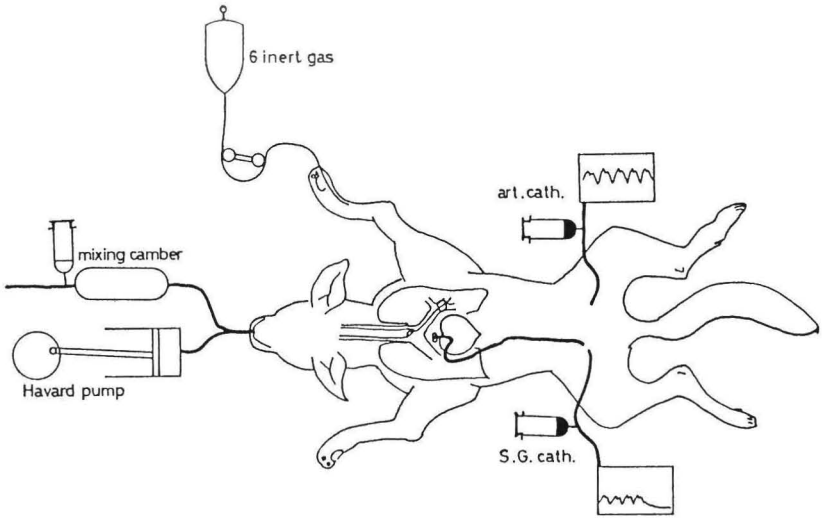

図1　実験の概要

*　三重大学医学部麻酔学教室

ヘモグロビン値は，CO-Oximeter IL 282® にて測定した。心拍出量はエドワード社心拍出量測定装置 9520-A を用いて熱希釈法で計測した。動脈圧・肺動脈圧・肺動脈楔入圧・右房圧は日本光電製 RM-6000 型ポリグラフにて記録した。6種不活性ガスはガスクロマトグラフ（島津 GC-7 A，水素炎イオン化ディテクター，エレクトロンキャプチャーディテクター ECD-7，クロマトパック C-RIA）によって分析し，NEC 社製 PC 9801® を使用して50個のコンパートメントでの換気・血流量を求めた。測定は，最高72時間まで適宜行った。数値は，Mean±SE で表し，統計は Student t test を用いて危険率 $P<0.05$ をもって有意とした。

結　果

5例の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布図とその時間的経過を示す（図 2～6）。第1例では（図2），Control で換気・血流ともに $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比 1.0 付近に集中し $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比 100 以上にわずかな換気が存在するがその分布の中心を表す $\dot{V}$ mean と $\dot{Q}$ mean はそれぞれ 1.35 と 0.43 であった。また換気・血流の分布幅を表

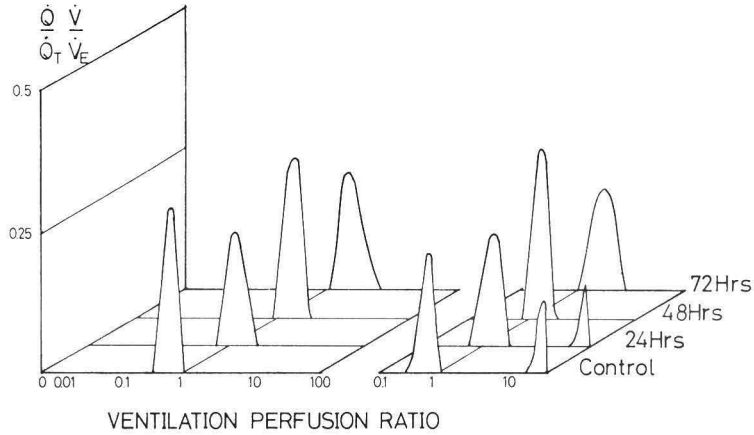

図 2　第1例の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布図

縦軸に換気・血流，横軸に $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比，左側に血流分布，右側に換気分布を示す。

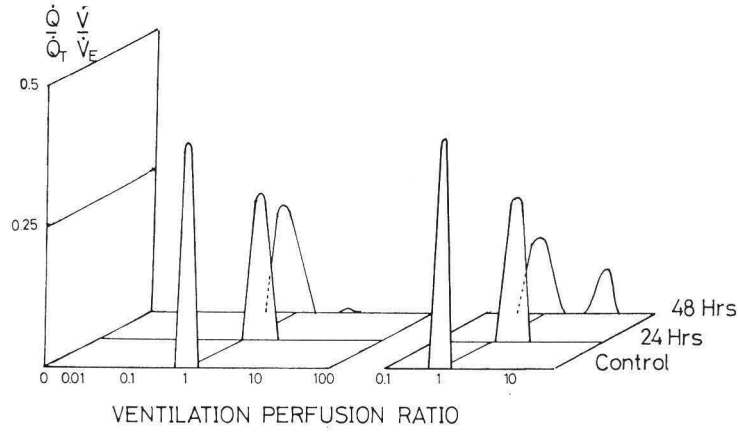

図 3　第2例の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布図

Control（$\dot{V}$ mean 1.27，$\dot{V}$ log SD 0.21，$\dot{Q}$ mean 0.99，$\dot{Q}$ log SD 0.22，Pa_{O_2} 94.2 mmHg，Pa_{CO_2} 30.8 mmHg）に比べ，48時間後には2峰性分布となる（$\dot{V}$ mean 1.04，$\dot{V}$ log SD 0.47，$\dot{Q}$ mean 7.53，$\dot{Q}$ logSD 0.23，Pa_{O_2} 62.0 mmHg，Pa_{CO_2} 37.9 mmHg）。

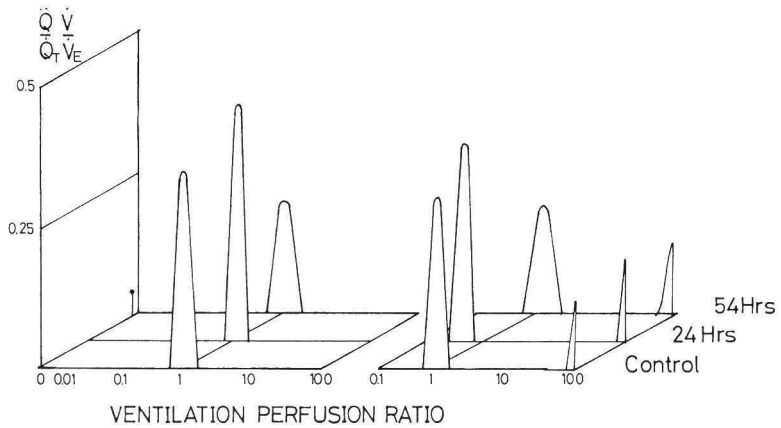

図 4　第3例の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布図

Control（$\dot{V}$ mean 1.53, $\dot{V}$ log SD 0.75, $\dot{Q}$ mean 0.74, $\dot{Q}$ log SD 0.12, Pa_{O_2} 124.2 mmHg, Pa_{CO_2} 38.7 mmHg）に比べ，54時間後には3.8%のシャント（図左端棒グラフで示す）を伴う分布となる（$\dot{V}$ mean 2.45, $\dot{V}$ log SD 0.82, $\dot{Q}$ mean 0.82, $\dot{Q}$ log SD 0.16, Pa_{O_2} 96.3 mmHg, Pa_{CO_2} 36.2 mmHg）。

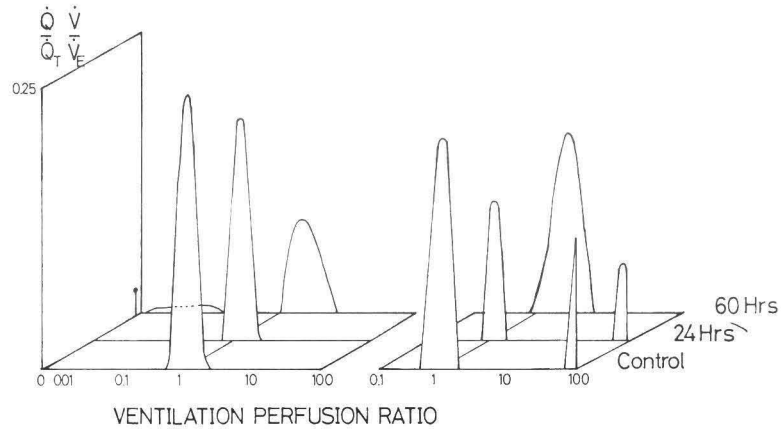

図 5　第4例の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布図

Control（$\dot{V}$ mean 1.86, $\dot{V}$ log SD 0.76, $\dot{Q}$ mean 0.78, $\dot{Q}$ log SD 0.15, Pa_{O_2} 114.2 mmHg, Pa_{CO_2} 34.0 mmHg）に比べ，60時間後には血流分布の中心は大きく左へ移動した（$\dot{V}$ mean 1.80, $\dot{V}$ log SD 0.26, $\dot{Q}$ mean 0.24, $\dot{Q}$ log SD 0.98, Pa_{O_2} 98.3 mmHg, Pa_{CO_2} 36.5 mmHg）。

す $\dot{V}$ log SD と $\dot{Q}$ log SD は0.81と0.16であり，この時の動脈血酸素分圧（以下 Pa_{O_2}）は95 mmHg，動脈血炭酸ガス分圧（以下 Pa_{CO_2}）は38.5 mmHg であった。混合静脈血の酸素分圧，炭酸ガス分圧，pH，ヘモグロビン値と $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布から求めた計算上の Pa_{O_2} と Pa_{CO_2}[1] はそれぞれ92.8 mmHg，34.5 mmHg であった。シャント式から求めた肺内シャント率は3.4%であったが，$\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比0.005以下の部分への血流はなかった。

時間的経過によって分布の中心とその分布幅に大きい変化はないが，人工呼吸48時間後には $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比100以上の換気の分布がなくなり，72時間後には $\dot{V}$ mean 1.89, $\dot{Q}$ mean 1.47と分布の中心は移動し $\dot{V}$ log SD 0.26, $\dot{Q}$ log SD 0.18と分布幅は変化したが，Pa_{O_2} 112.7 mmHg，Pa_{CO_2} 33.9 mmHg であった。第2例では（**図3**），48時間後には $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比10付近に大きい換気の分布が出現し $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布は全体として2峰性となった。第3

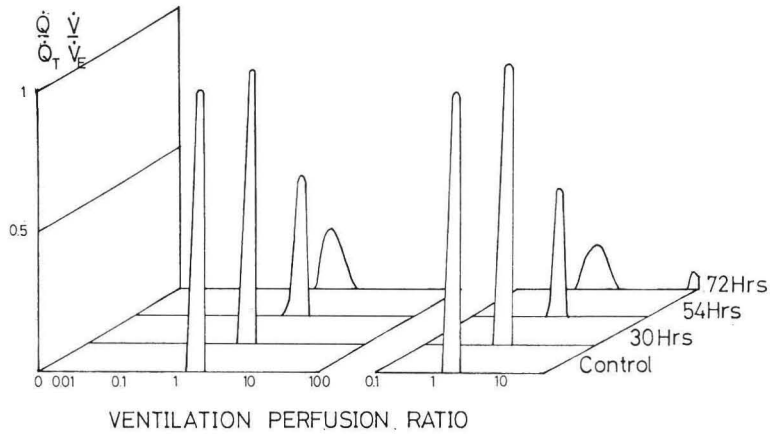

図 6　第5例の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布図

Control（$\dot{V}$ mean 1.43, $\dot{V}$ log SD 0.0, $\dot{Q}$ mean 1.43, $\dot{Q}$ log SD 0.0, Pa_{O_2} 103.0 mmHg, Pa_{CO_2} 39.8 mmHg）に比べ，72時間後にはわずかに $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比の高い換気が出現した（$\dot{V}$ mean 2.45, $\dot{V}$ log SD 0.77, $\dot{Q}$ mean 0.88, $\dot{Q}$ log SD 0.18, Pa_{O_2} 70.9 mmHg, Pa_{CO_2} 43.4 mmHg）。

例では（**図 4**），54時間後にはシャントが3.8%出現し，シャント式から計算した肺内シャント4.0%とよく一致した。第4例では（**図 5**），60時間後 $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比の低い血流がわずかではあるが出現し，血流分布の中心は大きく $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比の低い方へ移動し，シャント2.5%はシャント式から計算した肺内シャント3.0%とよく一致した。第5例では（**図 6**），72時間後 $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比の高い部分に換気が出現し，全体として分布幅も広くなった。

実験24時間までは，平均動脈圧・心拍数・心係数・ヘモグロビン値が低下傾向にあるが有意ではなく，肺動脈圧・右房圧・肺動脈楔入圧に変化はなかった。更に長時間になると個体差が大きく一定の傾向はなかった。

考　察

Wagner らによって6種不活性ガスによる $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布測定が報告[2]されてから，$\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布の状態を連続的かつ定量的に促えることができるようになり従来の放射性同位元素を用いた方法に比べその意義は大きい。この方法を用いて人工呼吸下の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布についての報告[3)~5)]はなされているが長時間の人工呼吸の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布に及ぼす影響の報告は少ない。人工呼吸下（麻酔下）では，陽圧呼吸，体位，麻酔薬，筋弛緩薬，吸入酸素濃度などの種々の因子が $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布に影響を及ぼす。さらに種々の基礎疾患，年齢，肥満など個体固有の因子の影響も見逃せない。$\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布不均衡の結果として動脈血酸素分圧を評価する時には循環動態の影響も無視することができない。

Control ではいずれも $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布は $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比1.0付近に集中し，その分布幅も狭く平均 Pa_{O_2} は 107.9±5.2 mmHg である。3例で（第1・3・4例）$\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比10以上の換気が出現している。Dueck らは犬におけるハロセン麻酔と人工呼吸の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布に及ぼす影響を報告[3)]し，ハロセン麻酔下では自発呼吸・人工呼吸ともに $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比の高い換気の出現と死腔率の増加を見るとしている。さらにハロセン麻酔下の人工呼吸では $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比0.005以上10以下の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布不均衡が増し，その不均衡性は1回換気量との間に正相関があるとしている。本実験は自発呼吸との比較はしていないが，$\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比の高い換気分布は麻酔の影響と考えられる。24時間までの人工呼吸では $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布に大きい変化はなく平均 Pa_{O_2} も 98.1±4.2 mmHg となっている。さらに人工呼吸を続けると $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布の中心は $\dot{V}_A/\dot{Q}$ の低い方へ移動しその分布幅も広がる傾向が見られるがその不均衡性は軽度である（第1・5例）。にもかかわらず第1例と第5例の72時間後の Pa_{O_2} に 112.7 mmHg

と 70.9 mmHg の差がみられるのは，心係数にはほとんど変化がないのに対して第5例でヘモグロビン値が 14.1 g/dl から 7.5 g/dl と大きく低下しているためと思われる。このヘモグロビン値の低下の原因として頻回かつ大量の採血（1回約30 ml 採血），術創部からの出血が考えられる。他の3例では長時間人工呼吸にしたがい，種々の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布の変化が見られたが，Pa_{O_2} の変化に対しては循環動態の影響が大きいと考えられた。第2例では，48時間後に平均動脈圧の低下により肺内の血流再配分が起こり $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比の高い換気が出現したのにしたがい，Pa_{CO_2} は増加し（30.8 mmHg→37.9 mmHg），ヘモグロビン値の低下（11.9 g/dl→5.2 g/dl）にしたがい，Pa_{O_2} は低下した（94.2 mmHg→62.0 mmHg）。第3例では48時間後3.8%のシャントが出現したにもかかわらず循環動態は安定し Pa_{O_2} に変化はなかった。同様に第4例でも $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 比の低い血流分布が出現したにもかかわらず Pa_{O_2} は比較的保たれていた。この2例の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布不均衡の原因として無気肺の発生が考えられる。

実験中，換気条件を固定し変化させなかったが動脈血ガス分析の結果に従いこれに対応し，感染予防，加湿・吸痰などの気道管理を行い，ヘモグロビン値の低下に対しても輸血を行うなどの管理を行うことにより長時間人工呼吸の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布に及ぼす影響をより的確に促えることができると考えられた。

結　語

雑種成犬における72時間までの人工呼吸の $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布に及ぼす影響を検討した結果，24時間までは $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布に大きい変化はなく循環動態も保たれ Pa_{O_2} は低下しなかった。さらに長時間になると $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布不均衡は増すがその型には個体差があり Pa_{O_2} の変化には循環動態の変化が大きく影響を及ぼした。

文　献

1) 小西邦彦：肺内ガス交換ならびに $\dot{V}_A/\dot{Q}$ 分布に及ぼす交互肺換気の影響—オレイン酸肺水腫犬について—．三重医学 28：315-325，1984
2) Wagner PD, Saltzman HA, West JB：Measurement of continuous distribution of ventilation-perfusion ratios；theory. J Appl Physiol 36：588-599，1974
3) Dueck R, Young I, Clausen J, et al：Altered distribution of pulmonary ventilation and blood flow following induction of inhalational anesthesia. Anesthesiology 52：113，1980
4) Dueck R, Wagner PD, West JB：Effects of positive endexpiratory pressure on gas exchange in dog with normal and edematous lungs. Anesthesiology 47：359-366，1977
5) Wagner PD, Laravuso RB, Goldzimmer E, et al：Distribution of ventilation-perfusion ratios in dogs with normal and abnormal lungs. J Appl Physiol 38：1099-1109，1975