症例報告

肺胞洗浄時における呼吸・循環動態の変動

—経皮、血管内酸素電極、及び Swan Ganz カテーテルを用いて—

河西 稔* 松浦正司* 長谷川順一* 貝沼関志*
難波芳道* 三宅聡行* 竹島 登*

要旨 大量一側肺洗浄時、Swan-Ganz カテーテル、橈骨動脈カニューレ留置、経皮、血管内酸素電極を患者（3 症例）に装着し、肺洗浄中の呼吸・循環系の変動を経時的に測定、検討した。結果は、①経皮、血管内酸素電極は、いずれも PaO_2 の変化を鋭敏にとらえた。②生食水を洗浄肺から排液していくと PaO_2 は、最低値を示した後に回復する傾向があり注入を開始すると 500 ml 位までは低下、その後上昇し、その高さは注入量に依存していた。排液を開始すると直ちに低下をはじめた。③換気側肺に PEEP (10 cmH₂O) を負荷すると、 PaO_2 の上昇は強く抑圧された。④洗浄液排液時より注入時に心拍出量は約 500 ml/分低下するが、これは、体循環系の心拍出量の低下というよりも、肺循環系の変化を反映したものと思われる。

I はじめに

Ramirez-R は、1963 年、肺胞蛋白症の治療に、局所的肺灌流 segmental pulmonary irrigation、すなわち肺の一部に生食水を繰り返し注入する方法が、ある程度、有効であると報告し¹⁾、ついで 1965 年²⁾、Carlens の double lumen tube を用いて、左・右肺を分離した後に、一側肺全体を一定圧で、一側肺容量の生食水の注入・排液を繰り返す、大量肺洗浄法を開始し、その有効性を報告した。この方法は、その後肺胞蛋白症の治療に最も有効な方法として、広く実施されているが、生食水の排液時に PaO_2 の

低下を生ずることが明らかとなってきた^{3)~10)}。この欠点を是正するために、まず機能的残気量に相当する生食水を注入した後に 1 回換気量分の生食水を注入・排液する volume-controlled lavage method が提唱されているが、その洗浄効果は、大量肺洗浄法に比して効率の点で悪く、長時間の洗浄操作が必要とされるという欠点があり、満足できる方法とは思えない。本邦でも、高崎ら⁹⁾、後藤ら¹⁰⁾、により既に肺胞洗浄の手技、傾向について詳細に報告されているが、洗浄効率が高く、安全な方法は確立されておらず、現在のところ、肺胞洗浄により急激に変化する呼吸、循環動態の傾向をよく理解し、注意深く監視し、その変化に早めに対処することが安全性の確立につながるものと考えられる。今まで、肺胞洗浄中の PaO_2 の変動を

* 名古屋大学医学部麻酔学教室

受理日 1983.4.23

連続的に測定記録した報告はなく、今回、より安全で、より効率のよい方法の模索の一助として、経皮及び血管内酸素電極を3例の肺胞蛋白症例に装着し、かつ、Swan-Ganz カテーテル及び、橈骨動脈に、カテーテルを留置して、最も効率が高いと思われる大量肺洗浄時の呼吸と循環動態の変化を測定記録し、検討したので報告する。

II 方 法

肺洗浄の方法は、Ramirez-R の方法³⁾ によった。すなわち、double lumen tube を挿管した後に、両肺を 100 % 酸素で換気（脱窒素）し、ついで洗浄側肺への気管内 tube を cramp し、自然の酸素の吸収によって洗浄側肺を無気肺とし、その後、37°C に温めた生食水を、洗浄側肺を換気側肺より低位に体位を変え、tube から生食水があふれるまで注入し、その後、体位を逆にし、排液した。この間、橈骨動脈に入れたカテーテルを通して動脈圧を連続的に測定し、また右内頸静脈より Swan-Ganz カテーテル（S-G catheter）を挿入し、中心静脈圧（CVP）、肺動脈圧（PAP）、肺毛細血管楔入圧（PCWP）を測定し、さらに熱希釈法により、心拍出量（CO）も測定した。また股動脈に血管内酸素電極を留置し、大腿内側に経皮酸素電極を装着して PO_2 の変化を、ロッシュ患者監視装置 630 シリーズにて連続測定記録した。橈骨動脈に留置したカテーテルから得られた動脈血と、肺動脈内に留置した S-G カテーテルより得られた混合静脈血よりシャント率（ Q_s/Q_t ）を算出した。麻酔は 99~98.5 % 酸素と Enflurane 1~1.5 % とし、Pancuronium 投与下に、サーボ 900 B にて一定の換気量で調節呼吸とした。なお被験者は、44 歳の男性、47 歳と 16 歳の女性の計 3 名の肺胞

図1 PtcO₂ と PaO₂ の経時的变化及び注入量

経皮酸素分圧（PtcO₂）と血管内酸素分圧（PaO₂）の経時的变化及び注入量

生食水の注入開始後、500 ml 入った頃から PO_2 は急に上昇し、排液開始直後より急速に低下するテント状パターンを示す。 PO_2 の最高値は、注入量に依存している。

蛋白症患者である。

III 結 果

1. 呼吸に及ぼす影響

図1は、 PO_2 の変化を経皮、及び血管内酸素電極で連続測定記録したものである。生食水の注入を開始すると一定の時間間隔の後に、 PO_2 が急に上昇をはじめ、排液を開始すると、直ちに低下しはじめるというテント状のパターンを示した。 PO_2 上昇の最高値は注入量に依存する傾向があり、特に1,000 ml を越えて生食水が注入できた場合、 PO_2 の上昇は顕著で、経皮酸素電極でも 300 mmHg 前後に上昇し、血管内酸素電極では、400~500 mmHg まで上昇した。 PO_2 が低下した時の値は 70~80 mmHg を示した。経皮と血管内酸素電極を比較した場合、経皮電極の方が変化を、やや速くとらえる傾向にあったが側定値の幅は血管内酸素電極の方が、実際に採血して測定した動脈血 PO_2 に近い値を示した。また、興味あることに、排液終了間際には、 PO_2 が再び、やや上昇していること、及び生食水を注入しはじめると、 PO_2 が低下し、約 500 ml 注入した頃より PO_2 が上昇をは

図2 Ptco₂の経時の変化及び注入量

星印のついた注入量は、PO₂が上昇を始めた時の量を示し、星印のない量は、洗浄側肺に生食水があふれるまで注入した量を示す。

図3 換気側肺に PEEP を負荷した時の影響

PEEPの負荷で、注入時に認められるべき Pao₂の上昇は抑制される。PEEPを解除すると急速に Pao₂が上昇する。注入により上昇していた Pao₂は PEEP 負荷で抑制される。

じめることが認められた。図2は、この変化が明瞭に記録できたものを示している。この図で星印のついた注入量は、PO₂が上昇に転じた時の量を示している。

図3は、換気側肺に Positive end expiratory pressure (PEEP) 10 cmH₂O を負荷した時に、PO₂がどのように変化するかをみたものである。PEEPを負荷すると、注入・排液時に繰り返し再現されたテスト状の PO₂ の上昇は強く抑制されると同時に、PO₂ 自身も、より低値を示した。また、注入により PO₂ が上昇していた時に、同様に換気側肺に PEEP を負荷すると PO₂ は低下し、この時、排液を開始しても、PO₂ が既に 100 mmHg を割って低値を保っていたためか、もはや低下を示さず PEEP を除去すると直ちに上昇に転じた。

図4 S-G cathで wedge した時の影響

非換気側肺(無気肺側)を生食水を注入していない時、S-G カテーテルで wedge すると、直後より急速に Pao₂ が上昇し、wedge 解除で再び低下する。換気側肺に wedge した時(X線透視で確認)。この変化は認められない。

図5 Paco₂

サーボ 900 B で、一定の換気をしているにもかかわらず、生食水の注入時より排液時は、上昇する。

図6 Qs/Qt

脱窒素から無気肺に移行する時及び洗浄液注入後から、排液後のいずれの場合も、シャント率の著明な上昇が認められる。

図4は、留置してある S-G カテーテルの先端の位置を、レントゲン透視により確認した上で、先端のバルーンを膨張させて、楔入(wedge)による血流遮断が、無気肺側及び換気肺側の双方で、PO₂ にどのように影響するか比較したものである。この際、無気肺側には、生食水は注入

していない。無気肺側の肺動脈が wedge されると直ちに PO_2 が上昇し、wedge 解除により直ちに低下することを認めた。両肺換気の場合は、wedge による PO_2 への影響は、ほとんど認められなかった。換気側の肺動脈を wedge した場合も、 PO_2 の変動はみられなかった。

図 5 は、3 名の患者で得られたガス分析値のうち $PaCO_2$ が、生食水の注入時、排液時にどのように変動するかをみたものである。サーボ 900 B で一定の換気をしていたのにもかかわらず、10 回の検査で、すべて排液時、 $PaCO_2$ は上昇した。

図 6 は、S-G カテーテルより採血した混合静脈血、及び橈骨動脈より採血した動脈血より得たガス分析結果から算出したシャント率 (Qs/Qt) が、脱窒素 (両肺 100 %酸素で換気した時) から、無気肺 (洗浄側肺の気管内チューブを、cramp して、5 分後、酸素が吸収された時の状態) 及び洗浄肺に生食水をあふれるまで注入した後の状態から、生食水を排液した後の各々の場合に、シャント率がどのように変動したかを示したものである。無気肺時、排液時にともに増加し、平均値では、30 % 余から 50 % 位に上昇している。

2. 洗浄中の循環動態

洗浄中の、 PaO_2 、 $PaCO_2$ の変動は、循環の変化を反映したものであるが、血行動態のより直接的な指標として、橈骨動脈より得た動脈圧、中心静脈圧 (CVP)、肺動脈圧 (PAP) 肺毛細血管楔入圧 (PCWP)、心拍出量 (CO) の変動をみた。この測定の間は、被験者の体位は、水平仰臥位とし、変化させていない。

図 7 は、洗浄中のある期間の動脈圧、CVP、PAP の変動を記録したものである。全身の動脈圧の変動は、生食水の注入、排液により、ほとんど影響されていないにもかかわらず、CVP、PAP は、注入により上昇し、排液により減少した。図では示していないが、脈拍数も、動脈圧同様、注入・排液で大きな変動はみられなかった。

図 8 は、PCWP が脱窒素から無気肺とした時、及び生食水を注入した後の状態から排液した後、どのように変化するか実際に測定した値を、各々の場合に示したものであり、注入により上昇・排液により低下することを示している。しかし脱窒素から無気肺とした場合は一定の傾向を示さなかった。

図 9 は、心拍出量が図 8 の場合と同様な状態

図 7 洗浄中の循環動態

体循環系の動脈圧は著変を認めないが、CVP、肺動脈圧 (PAP) は、生食水注入時上昇し、排液時、低下していることが認められる。この間、脈拍数も変動しなかった。

図8 PCWP

肺動脈楔入圧 (PCWP) は、脱窒素、無気肺間では有意の変化を認め難いが、注入後より排液後の方が、有意に低下することが認められる。

図9 Cardiac Output

心拍出量 (CO) は、S-G カテーテルで熱希釈法にて得られたが、生食水の注入後よりも排液後に、500 ml/分位の増加が認められる。脱窒素から無気肺の間では、有意の変化を認め難い。

で、どう変化するか、実測値で示したものである。心拍出量は、S-G カテーテルにて熱希釈法でもとめたものであるが、注入後から排液後への変化は明らかにあり、平均で 500 ml/分の上昇が認められた。これに対し、脱窒素から無気肺とした時の変動は、はっきりとした傾向は、みられなかった。

IV 検 討

肺胞蛋白症の大量肺洗浄時の PaO_2 の変動は既に報告されているように³⁾⁻¹⁰⁾、生食水の注入により、 PaO_2 は上昇し、排液によって低下するが、この変化は、図 1 で示すように、経皮・及び血管内酸素電極の、いずれの場合も、経時的に、明瞭に記録できた。この PaO_2 の変動は、図 3 の PEEP (10 cmH₂O) の影響、及び図 4 の S-G カテーテルで、肺血流に変化を与えた際の効果から明らかなように、生食水の注入が、洗浄側の肺胞内圧の上昇を起こし、肺胞をとりまいている血管の圧排・伸展を引き起こし、内径を小さくした結果、肺の血管抵抗増大をもたらし、最終的に、換気側の肺へ血流が移動したこと、及び生食水の排液で、洗浄側肺の肺胞内圧の低下が起こり、注入の場合と逆の経過で、この側の肺血管抵抗が減少して洗浄側肺に血流が再開して、シャントの増大が起こったものと説明することができる。このことは、Wasserman⁴⁾、Smith⁵⁾、Rogers⁶⁾、らも既に推測している。排液がすすんだ終わりの頃に PO_2 が少し回復し、生食水を注入しはじめると、500 ml 位の量が注入されるまでは、 PO_2 は低下し、その後、急上昇してゆく経過は、図 2 で明瞭に認められるが、West の指摘しているように¹²⁾、肺胞を、とりまく血管床が、排液がすすんで虚脱状態となった時、屈曲し、肺血管抵抗が増大していたも

のが、適量の生食水の注入で血管が伸展し、血管抵抗が減少した結果、シャント血流が増大したこと、その後、先に述べた肺胞内圧の上昇が、肺血管抵抗増大を導いたためと考えられる。PaCO₂の変動(図5)、シャント率の変動(図6)は、この間の変化を忠実に示したものと考えられる。心拍出量の変動に関しては、生食水注入時、減少し、排液時、回復することが報告されており¹⁰⁾、今回の測定でも500 ml/分程度、上昇することが確かめられた。何回かの測定で、傾向として、注入時、全身の動脈圧が低下し、排液時、回復する傾向があり、この時、心拍出量の変動する場合には問題はない。しかし、心拍出量の変動が全身の動脈圧、脈拍数の変化がない場合にも認められ、このことは、図7、図8の結果(注入時、CVP、PAP、PCWPが上昇し、排液時、低下する)と考え合わせると、注入、排液の過程では、右心系と左心系の間で、心拍出量の不平衡の時期が存在しうること示唆する。肺胞洗浄中の安全対策としては、洗浄中は、換気側肺の肺血管抵抗を増大する操作は、PaO₂の低下を防ぐ上では禁忌と考えられ、その点で、PEEPを換気側肺に負荷することは禁忌といえることができる。このことは、肺胞洗浄の場合のみでなく、一側肺が無気肺となった急性呼吸不全の治療の際にもあてはまり、普通の気管内チューブで、左右、均等にPEEPを負荷すると、かえってPaO₂が、低下する可能性が考えられる。また、換気側肺の肺血管抵抗を増大させない方策としては、肺洗浄操作を、人工呼吸下でなく、自発呼吸下で実施すること。あるいは、High Frequency Positive Pressure Ventilation (HFPPV)で、平均気道内圧を下げるのが考えられる¹³⁾が、実際に施行してみると、前者は、換気が不十分となってしまった。後者は、

やり方の工夫で、期待できるものであると思われたが、換気量の把握が問題と思われた。また、もしS-Gカテーテルが無気肺側に選択的にwedgeできれば、血流の移動がかなり阻害されてPaO₂が改善されることがわかったが、肺胞洗浄中は、洗浄効果を高めるために、胸壁へのtapping、振動を加えるので、カテーテル先端のバルーンの圧による障害の発生の可能性があること、また、選択的に、左、右の肺動脈をwedgeできないことから、現実的な安全対策とはいえない。3人の患者で、大量肺胞洗浄を繰り返した経験から判断すると、心電図、動脈圧を連続的に監視することで、心肺機能の低下は、かなり察知できるが、これに加えて、経皮酸素電極を装着して、PO₂の変動を連続測定し、呼吸機能を予測していくことが、肺胞洗浄の際には、すすめられる安全対策といえることができる。ヘモグロビンの酸素飽和度を耳朶にて測定して、価値のあるものだ、としている報告もある¹⁴⁾が、経過の予測という点では経皮的なPO₂測定は、勝るとも、劣らないものといえる。

V 結 語

1. 経皮、血管内酸素電極は、肺洗浄時の変化を鋭敏にとらえ、呼吸の変動を予測させる。
2. 肺胞洗浄で、生食水の注入時認められたテント状のPaO₂の上昇は、気道、肺胞側より加えられた圧が、ある限界を越えると洗浄肺への血流が途絶し、シャント血流がなくなるためであり、排液時、PaO₂が低下するのは、洗浄側肺に血流が再開してシャント血流が増加したためと解釈される。
3. 肺胞洗浄施行中、換気側肺にPEEPを負荷することは、肺内シャントの増大をきたすと考えられる。このことは、原因が何であれ、一

側肺が無気肺となった急性呼吸不全の治療の場合も留意すべきである。

4. 生食水の注入、排液操作は、全身の循環系にも、静脈還流の増減によって影響をあたえるが、肺循環系には、より直接的に影響し、CVP, PAP, PCWP は注入により上昇し、排液により減少する。S-G カテーテルで、熱希釈法で得られた拍出量は、全身の血圧、脈拍の変動のない場合にも、注入時 500 ml/分程、低下する。これは、肺循環系での変動が主体のものと考えられる。

5. 肺胞洗浄中、心電図、動脈血の監視は、必須であるが、経皮酸素電極による PO_2 の連続測定も、安全性の向上には、非常に有益である。

参考文献

- 1) Ramirez-RJ, Schultz RB, Dutton RE.: Pulmonary alveolar proteinosis: A new technique and rationale for treatment, Arch Int Med. 112: 419, 1963
- 2) Ramirez-RJ, Kieffer RE, Ball WC.: Broncho pulmonary lavage in man. Ann Int Med. 63: 819, 1965
- 3) Ramirez-RJ.: New techniques and observations. Dis Chest. 50: 581, 1966
- 4) Wasserman K, Blank N, Fletcher G.: Lung lavage (alveolar washing) in alveolar proteinosis, Am J Med. 44: 611, 1968
- 5) Smith JD, Millen JE, Safer P, et al.: Intrathoracic pressure, pulmonary vascular pressures and gas exchange during pulmonary lavage. Anesthesiology. 33: 401, 1970
- 6) Rogers RM, Szidon JP, Shelburne J. et al.: Hemodynamic response of the pulmonary circulation to bronchopulmonary lavage in man. New Engl J Med. 268: 1130, 1972
- 7) 大塚耕司, 安田勇, 遊佐津根雄ほか: 肺胞蛋白症に対する肺洗浄の経験, 麻酔. 23: 269, 1974
- 8) 小林勉, 中西拓郎, 岸榎進次郎ほか: 肺胞蛋白症—肺胞洗浄による血液ガスの変化, 麻酔. 27: 43, 1978
- 9) 高崎真弓, 神谷美保: 肺胞蛋白症に対する肺胞洗浄, 呼吸と循環. 27: 281, 1979
- 10) 後藤幸生, 明石学, 石川清ほか: Whole-lung lavage 法のテクニックに関する分類法と洗浄効率・安全面からの検討, 麻酔. 31: 19, 1982
- 11) Kylstra JA, Rausch DC, Hall KD, et al.: Volume-controlled lung lavage in the treatment of asthma, bronchiectasis and mucoviscidosis. Am Rev Respir Dis. 103: 651, 1971
- 12) West JB: Respiratory Physiology. the essentials, 2nd ed, Williams & Wilkins, Baltimore/London, 1980, 39
- 13) El-Baz NM, Kittle CF, Faber LP et al.: High-frequency ventilation with an uncuffed endobronchial tube. J Thorac Cardiovasc Surg. 84: 823, 1982
- 14) Bradfield HGC, Maynard JP: Pulmonary lavage in a case of alveolar proteinosis. The value of continuous display oxygen-haemoglobin saturation using ear-oximetry Anaesthesia. 34: 1032, 1979

著者連絡先 河西 稔
〒466 名古屋市昭和区鶴舞町65
名古屋大学医学部 麻酔学教室

Respiratory and Circulatory changes during whole-lung lavage

Minoru KAWANISHI
Masaji MATSUURA
Junichi HASEGAWA
Motoshi KAINUMA
Yoshimichi NAMBA
Toshiyuki MIYAKE
Noboru TAKESHIMA

Department of Anesthesiology, Nagoya University School of Medicine

Abstract 3 patients suffering from alveolar proteinosis were treated with massive pulmonary lavage. The lavage method followed the technique described by Ramirez-R, in which one lung was degassed and irrigated repeatedly by liters of a warmed saline solution. During lung lavage, percutaneous and intra-arterial PO_2 electrodes were used to monitor the blood gas changes. Swan Ganz catheter and systemic arterial pressure line were placed to monitor the hemodynamic changes. Arterial oxygen tension increased when the lung was filled with the solution, whereas PaO_2 decreased immediately when the solution was drained out of the lung. Percutaneous and intra-arterial PO_2 electrodes traced these changes very clearly. Pulmonary arterial, central venous and pulmonary capillary wedge pressures were increased at filling into the lung and were decreased at emptying, whereas cardiac output measured by thermo-dilution method was decreased at filling and was recovered at emptying. These hemodynamic and blood gas changes were mainly explained by the changes of pulmonary circulation. The application of positive end expiratory pressure (PEEP) to the ventilated lung suppressed the value of PaO_2 , therefore PEEP application was considered to be contraindicated. Besides the continuous monitoring of electro-cardiogram and systemic arterial pressure, percutaneous PO_2 monitoring seems to be very valuable for the establishment of safety pulmonary lavage.

The Journal of Japan Society for Clinical Anesthesia Vol. 3 No. 3, 1983