

呼吸管理中に過剰加湿の副作用を認めた症例

小林 勉* 塗谷 栄治* 遠山 一喜*
定常 雄* 村上 誠一*

長期人工呼吸には、吸気の加湿が不可欠である。しかし過剰加湿はかえって肺機能を障害することが知られている^{1)~3)}。最近われわれは、心筋硬塞により心不全におちいった患者の人工呼吸管理中、過剰加湿のために肺機能および肺循環動態が悪化したと考えられる事態を経験した。今回は、症例を紹介し、過剰加湿が肺機能を障害する機序に関し、肺サーファクタントの活性低下という面から考察する。

症 例

患者：73歳、男性

主訴：前胸部痛および呼吸困難

既往歴：約20年前より高血圧を指摘されており、降圧薬を内服していた。

現病歴：起床直後に突然主訴を認め、近医でニトロール®舌下錠の投与を受けるも症状が好転せず、金沢大学付属病院に入院した。

入院時現症：栄養良好、意識は明瞭であった。

不整脈を認め、脈搏数は1分間110前後であった。血圧は収縮期が108mmHg、拡張期が78mmHgであった。四肢末端は冷たく、体表面の静脈は虚脱していた。1分間28~30回の浅く速い呼吸を行っていた。胸部レントゲン像では、心陰影の拡大とともに、肺野全体に雲状陰影が認められた。心電図では、多源性の心室期外収縮が散発し、I, aVL, V₂~V₆誘導でSTの上昇がみられ、III, aVR誘導でSTの低下がみられた。以上の所見から、本患者は、左心室前側壁の心筋硬塞とそれに基づく心不全状態であると診断された。

臨床経過：モルヒネおよびフェノバルビタールを投与して鎮静をはかるとともに、ドブタミン(2.5 μg/kg/min)の点滴と、ジギタリスおよび利尿薬を投与して心不全の改善をはかった。またニトログリセリン(0.06 μg/kg/min)を点滴して冠動脈の拡張をはかり、ヘパリンおよびウロキナーゼを投与して硬塞の再発を予防した。呼吸困難に

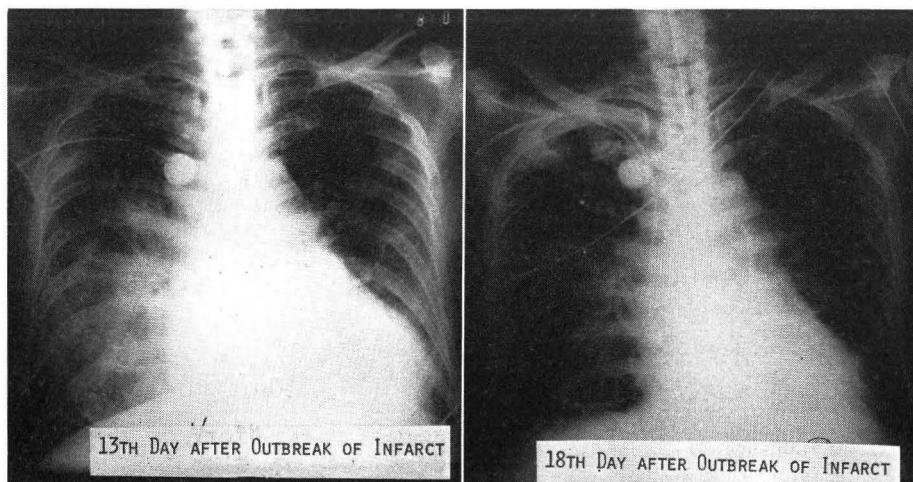


図 1 第13病日(人工呼吸開始前日)と第18病日(人工呼吸開始5日後)の胸部X線像

対しては、マスクを用いて酸素療法を行った。

上記のような治療を2週間続けたが、心不全症状は改善しなかった。さらに、酸素療法下でも PaO_2 が 60 mmHg 以下を示すようになったため、第14病日に気管内挿管を行い、人工呼吸療法を開始した。人工呼吸器は Servo 900B (Siemes-Elema, Sweden) を用い、Swan-Ganz catheter で監視しながら、肺動脈圧が上昇しない範囲で PEEP (4.0 cmH₂O 前後) を付加した。吸気の加湿は heated over flow type の加湿器 (Bennett Cascade Humidifier, USA) を用いた。しかし、この時点では過剰加湿に関して特別の注意をはらっていなかったため、加湿器の水温はその時々で適当に設定されていた。

PEEP を併用した人工呼吸療法により、 PaO_2 の上昇、肺内シャント率の低下、心搏出量の増加、および平均肺動脈圧の低下が認められた。図1に、第13病日（人工呼吸開始1日前）と第18病日（人工呼吸開始後5日）の胸部X線像を示す。人工呼吸療法開始後は、肺野の雲状陰影が著明に減少した。

人工呼吸療法開始後約3週間は状態が安定していた。しかし、第41病日（人工呼吸開始後28日）ごろより平均肺動脈圧が上昇しはじめ、第49病日（人工呼吸開始後36日）には、平均肺動脈圧の最高値が 58 mmHg を示すようになった。また、

モルヒネやダイアゼパムの投与にもかかわらず、患者は人工呼吸器と fighting しはじめた。さらに、喀痰量が増加し、人工呼吸器の呼気センサーに喀痰が付着して、設定された換気量が得られなくなるという事故も発生した。なお、肺動脈圧が上昇しはじめた第41病日より第49病日までの間は、加湿器の水温を 37°C 前後に設定していたことが後日の測定で判明した。

第41病日以降の症例は、肺うつ血ないし肺水腫が再度悪化したことを示すものであろう。しかし、第49病日に加湿器の水温を 26°C にまで低

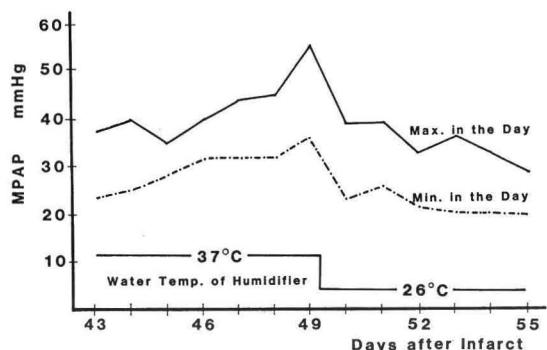


図 2 加湿器の水温を変化させた前後の平均肺動脈圧

4時間おきに記録された値のうち、その日の最高値と最低値を示す。図に示された第43病日から第55病日までは、加湿以外の呼吸条件を変化させていない。Minute volume=7.2 l/min, PEEP=4.0 cmH₂O, $\text{FI}O_2=0.6$

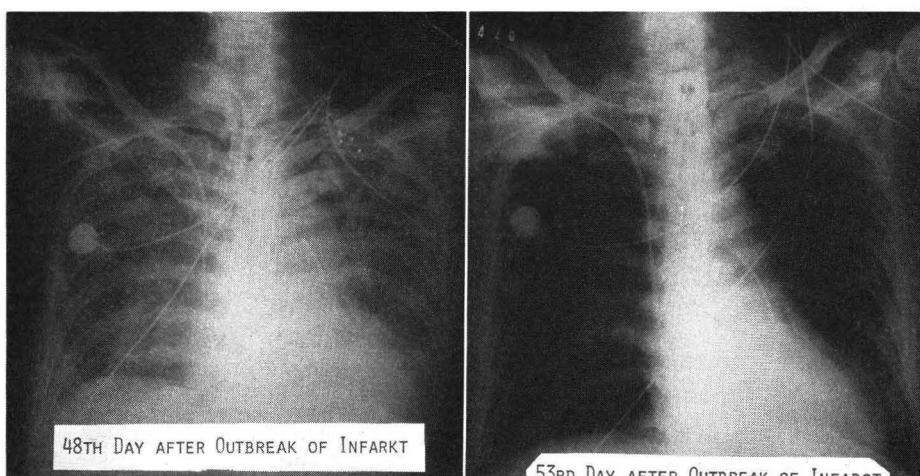


図 3 第48病日（加湿器水温 37°C）と第53病日（加湿器水温を 26°C にして5日後）の胸部X線像

下させたところ、肺の状態は日を追って改善した。図2は、加湿を減少させた前後の平均肺動脈圧である。4時間おきに記録された値のうち、その日の最高値と最低値を示したものである。分時換気量、PEEP、 FiO_2 などは変化させていないが、加湿を減じた翌日から肺動脈圧の低下がみられ、喀痰量も急激に減少した。図3は、第48病日（加湿器水温 37°C ）と第53病日（加湿器水温 26°C にして5日後）の胸部X線像である。加湿を減じた後には、肺野の雲状陰影が明らかに減少している。

吸気の加湿を減少させた後の経過は順調であった。1週間後にはIMVを用いて人工呼吸器からの離脱訓練を行うことができるようになり、3週間後（人工呼吸開始後60日）には完全離脱が可能になった。

考 察

心不全状態の患者に不用意にPEEPを用いるとかえって状態を悪化させる危険がある。しかし、肺動脈楔入圧が高い場合は、PEEPを併用した人工呼吸によって心搏出量が増加するといわれており⁴⁾、本症例でも心不全状態を改善することができた。

しかし、一度消退した肺うつ血ないし肺水腫が人工呼吸中に再度出現した。この再度の悪化は、PEEPや分時換気量を変化させることなく、吸気の加湿を減じた（加湿器の水温を低下させた）のみで改善された。この所見は、過剰加湿により肺機能や肺循環動態が悪化することを示唆するものであろう。

吸気の過剰加湿が肺機能を障害することはすでに報告されている^{1)~3)}。この機序の一つとして、吸気を介して投与された水が肺胞内に貯留し、ガス交換可能な肺胞面積が減少するというnear drawing現象が考えられている²⁾。しかし、肺胞で吸気中の水蒸気が結露すると、near drawingをおこすような大量でなくとも、肺サーファクタントを不活性化し、肺機能を障害する可能性がある³⁾⁵⁾⁶⁾。

図4は、ブタから採取した肺サーファクタントの分散液の表面張力をWilhelmy balanceで測

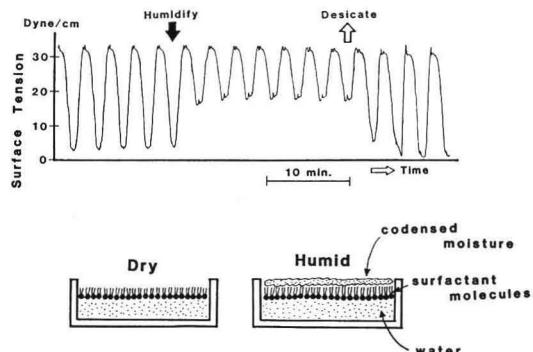


図4 Wilhelmy balanceで測定したブタ肺サーファクタント分散液の表面張力。加湿による変化とその機序
水相温= 37°C 、気相温= 40°C
非加湿時相対湿度=32%
加湿時相対湿度=85%

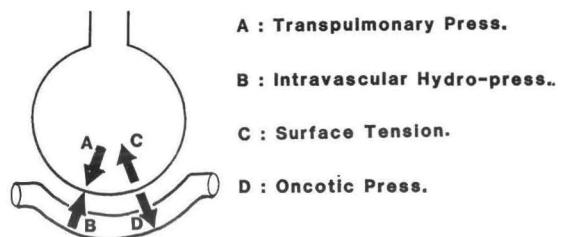


図5 肺水腫に関与する圧

定した記録である。気相の温度を水相の温度より $2\sim3^{\circ}\text{C}$ 高く保った状態で、水面に形成されたサーファクタント層の伸展・圧縮を繰り返したときの所見である。図にみられるように、気相を加温すると最小表面張力（サーファクタント層を圧縮したときの表面張力）はすみやかに上昇する。この現象は、気相と液相の境界に存在しているサーファクタントの層の上に、水蒸気が結露して水の膜が新しく形成され、サーファクタントが機能を発揮できなくなつたために発生したものと考えられる。

肺サーファクタントは、肺胞の表面張力を減少させて無気肺の発生を防止するとともに、肺水腫の発生を防止する役目をはたしている（図5）。通常は肺胞から外界へとえず水分が放出されている。しかし、100%に加湿された 32°C の空気を吸入した場合は水分の出入りがなくなり、それ以上の温度では水分の動きが逆になるといわれている⁶⁾。水分の動きが通常と逆になれば、その動き

がごく小量であっても、肺水腫や肺うつ血の誘因になることは、肺サーファクタント分散液の表面張力を測定した前述の実験結果から十分推測できよう。

Heated type の加湿器の水温を 32°C 以上にあげることは避けるべきであり、ましてや体温以上にあげることは非常に危険である。とくに心機能の予備力が低下した患者では、重大な結果をまねくおそれがある。現在、一般に使用されている heated type の加湿器の水温調節装置には、便宜上の目盛りのみしかなく正確な温度調節に困難を感じるものがある。また、水温計が組み込まれていない加湿器も多い。最近の人工呼吸器の本体には、種々の測定装置や制御機構、安全装置などのついたものが開発されている。加湿器の設計、開発にも十分な配慮が加えられることを期待したい。

まとめ

心筋梗塞により心不全におちいった 73 歳男性の人工呼吸管理に際し、過剰加湿が原因で肺うつ血ないし肺水腫が悪化したと考えられる事態を経験した。In vitro で加湿の影響をみた実験結果を加味して考察すると、本症例でみられた事態は、吸気中の水蒸気が肺胞の表面に結露して肺サーファクタントの層を被覆してしまい、肺胞の表面張力が強まったことが一因であると考察され

た。人工呼吸に際し heated type の加湿器を使用する場合は、水温を上昇させすぎないよう注意すべきであると結論された。

文 献

- 1) Graff TD, Benson DW : Systemic and pulmonary changes with inhaled humid atmospheres. *Anesthesiology* 30 : 199~207, 1969
- 2) 藤田俊夫, 惟任 修, 井上須美子 : 超音波ネブライザーによる過給湿の際ににおける血液ガスの変動. *麻酔* 21 : 694, 1972
- 3) Tsuda T, Noguchi H, Takumi Y, Aochi O : Optimum humidification of air administered to a tracheostomy in dogs. *Scanning electron microscopy and surfactant studies*. *Br J Anaesth* 49 : 965~977, 1977
- 4) Grace MP, Greenbaum DM : Cardiac performance in response to PEEP in patients with cardiac dysfunction. *Crit Care Med* 10 : 358~360, 1982
- 5) Wildeboer-Venema F : The influence of temperature and humidity upon the isolated surfactant film of the dog. *Respir Physiol* 39 : 63~71, 1980
- 6) 高田善則, 小林 勉, 片岡久範, 村上誠一, 小久保雅之 : 肺サーファクタント由来物質の表面活性に対する温度と湿度の影響. *日界面医誌* 13 : 128~134, 1982
- 7) 横田晃和, 日並史郎, 小林尚日出, 古谷 生, 塩飽善友, 平川方久 : 吸気ガス加温湿潤器の試作と使用経験. *麻酔* 23 : 659~662, 1974

人工呼吸器の除湿器の効果

星 邦 彦* 橋 本 恵 二* 吉 成 道 夫*
天 羽 敬 祐*

はじめに

長期人工呼吸の際、適切な気道の加湿を目的として、一般に人工呼吸器の吸気側に加温加湿器が、呼気側にウォータートラップが組み込まれる。しかし、われわれの経験では、市販されてい

る従来のウォータートラップは除湿が不完全なものが多い。その結果、過剰な湿度が呼気弁に結露して呼気弁の作動を障害したり、熱線式流量計の作動を障害して換気量が過大に表示されたり、また、呼気回路内に結露した水が貯留すると、特に幼小児用回路のように内腔の狭い呼気チューブでは、終末呼気圧の上昇をもたらしたりし人工呼吸

* 東北大医学部麻酔学教室