

●症例報告●

Evita を用いた APRV 中に PEEP 上昇アラームが頻発した 3 症例

岡森 慧・鈴木裕之・中野 実・仲村佳彦
藤塚健次・雨宮 優・小倉崇以・原澤朋史

キーワード: Evita, APRV, PEEP 上昇アラーム

要 旨

Dräger Medical 社 (ドイツ) の Evita 4、Evita 2dura を用いて APRV を施行し、「PEEP 上昇」アラームが頻発した 3 症例を経験した。「PEEP 上昇」アラームが発生すると、緊急弁の開放により回路内圧が 0 mbar となり、肺胞虚脱をきたすリスクがある。これらの症例を検討することで、Phigh を上げること、Tlow を短くすること、ならびに患者の頻呼吸が、アラーム発生と関連している可能性が示唆された。

はじめに

気道圧開放換気 (airway pressure release ventilation: APRV) は 1987 年に Stock と Downs によって提唱された換気モードである^{1,2)}。比較的高圧の CPAP に圧開放相を付加したものと考えることができ、虚脱肺胞の再開通を期待することができる。当院では呼吸不全患者に対し積極的に APRV を導入している。Dräger Medical 社 (ドイツ) の Evita 2dura、Evita 4 を用いて APRV を試みていく中で、「PEEP 上昇」アラームが頻発する症例を経験した。自験例をもとに、「PEEP 上昇」アラームが発生する原因および対処法につき考察した。

症 例

症例の背景を Table 1、アラーム発生前後の人工呼吸器設定ならびに呼吸数を Table 2 に示す。いずれの症例も人工呼吸器回路には問題なく、気管チューブの閉塞や狭窄は認めなかった。また、3 症例で使用されていた人工呼吸器は、それぞれ別個の機体であった。

症例 1 では、Phigh 24mbar、Tlow 0.5 秒から、Phigh 30mbar、Tlow 0.4 秒へと設定を変更したところ、「PEEP 上昇」アラームが頻発するようになった。その後 Phigh を 26mbar、Tlow を 0.5 秒へと戻したところ、アラームは速やかに消失した。症例 2 では、PCV-SIMV から APRV に変更したことによりアラームが発生しており、BIPAP へのモード変更でアラームは消失した。症例 3 も同じく APRV 開始後よりアラームが発生していた。この症例では、Plow を 0 mbar から 5 mbar へと上げることで、アラームは消失した。

考 察

今回のアラーム頻発は、Evita 4 ならびに Evita 2dura の両機種において、かつ複数の機体で同様の問題が生じることより、単なる特定の機体の問題とは考えられなかった。

Evita 4 ならびに Evita 2dura では、①呼気の際に設定 PEEP 値+8 mbar 未満にならない状態が 2 呼吸続いた場合、または②呼気の際に設定 PEEP 値+5 mbar 以上が 10 呼吸続いた場合、のいずれかが満たされた際に、「PEEP 上昇」アラームは発生する。PEEP 値を設定しない APRV モードでは、設定 Plow 値が PEEP 値として定義される。従って APRV モードにおいては、

Table 1 Patients' characteristics

	Case 1	Case 2	Case 3
Age	83	73	21
Sex	Female	Female	Male
Height (cm)	158	142	164
Weight (kg)	57	38	90
BMI	22.8	18.8	33.5
Primary disease	Colonic perforation	IPF	DKA
Causes of respiratory failure	Sepsis, ARDS	Acute exacerbation of IPF	Dorsal atelectasis, ARDS
PaO ₂ /FiO ₂ ratio	168	163	182

BMI : body mass index, IPF : idiopathic pulmonary fibrosis, DKA : diabetic ketoacidosis,

ARDS : acute respiratory distress syndrome

Table 2 Ventilator settings and respiratory rate when the high-PEEP alarm sounded

	Case 1	Case 2	Case 3
<i>Ventilator</i>	Evita 2dura	Evita 2dura	Evita 4
<i>Before the alarm sounded</i>			
Ventilator settings	APRV	PCV-SIMV	PCV-SIMV
<i>Trigger of recurrent sounding of the alarm</i>	Phigh 24 → 30mbar Tlow 0.5 → 0.4sec	Start of APRV Phigh 30mbar Tlow 0.4sec	Start of APRV Phigh 20mbar Tlow 0.5sec
<i>During the alarm sounded</i>			
Phigh (mbar)	30	30	20
Plow (mbar)	0	0	0
Thigh (sec)	10	6	10
Tlow (sec)	0.4	0.4	0.5
Measured RR (/min)	19	28	46
Spontaneous RR [†] (/min)	13.2	18.6	40.3
<i>Management</i>	Phigh 30 → 26 Tlow 0.4 → 0.5	APRV → BIPAP	Plow 0 → 5

[†] calculated as follows : Spontaneous RR = Measured RR - 60 / (Thigh + Tlow)

RR : respiratory rate

リリース時の回路内圧が十分下がり切らず①もしくは②が満たされた場合に、「PEEP 上昇」アラームが発生する。なお APRV モードでは、肺胞虚脱を防ぐためにリリースは極めて短時間に設定され、内因性 PEEP が生じている。

「PEEP 上昇」アラームが生じると、画面上にアラームメッセージが表示され、人工呼吸器は自動的に緊急弁を開放し、しばらくの間は回路内圧が 0 mbar となる。この間に肺胞は高度に虚脱してしまう可能性がある。従って、虚脱肺胞の再開通およびその維持を目標とする APRV では、「PEEP 上昇」アラームの発生は極力避けなければならない。

症例 1 では、APRV 施行中に Phigh を上げ、Tlow を短くしたことを契機にアラームが発生しており、それぞれの設定を戻すことでアラームは速やかに消失した。このことより、「Phigh を上げること」ならびに「Tlow を短くすること」がアラーム発生の原因と考えられた。

前述の通り、「PEEP 上昇」アラームは、「リリース時の回路内圧が十分下がり切らなかった場合」に発生する。Tlow を短くした場合、回路内圧が Phigh からアラーム発生圧以下に低下するまでの時間的余裕を奪うことになり、アラームが発生しやすくなる (Fig. 1-a)。一方 Phigh を上げた場合、アラーム発生圧と Phigh との差が大きくなるため、アラームが発生しやすくなる

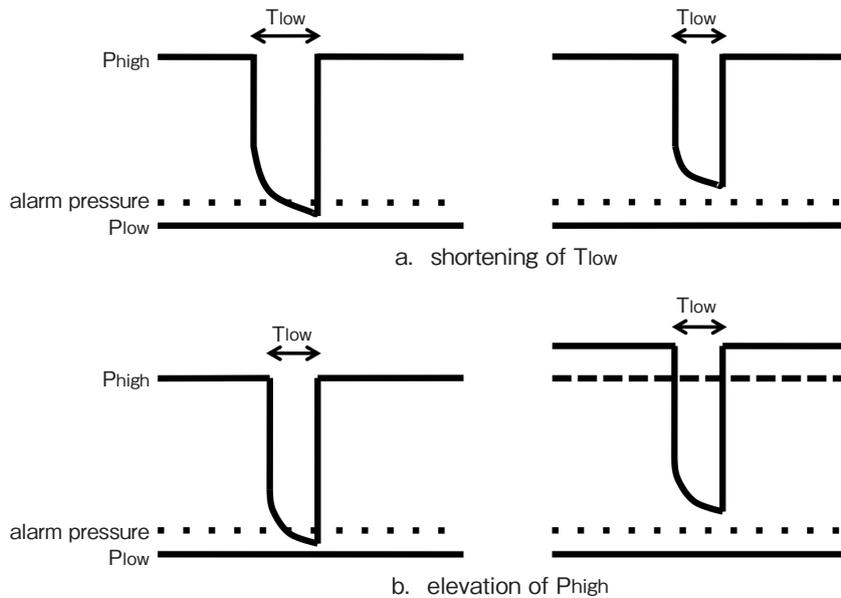


Fig. 1 Changes of pressure curve

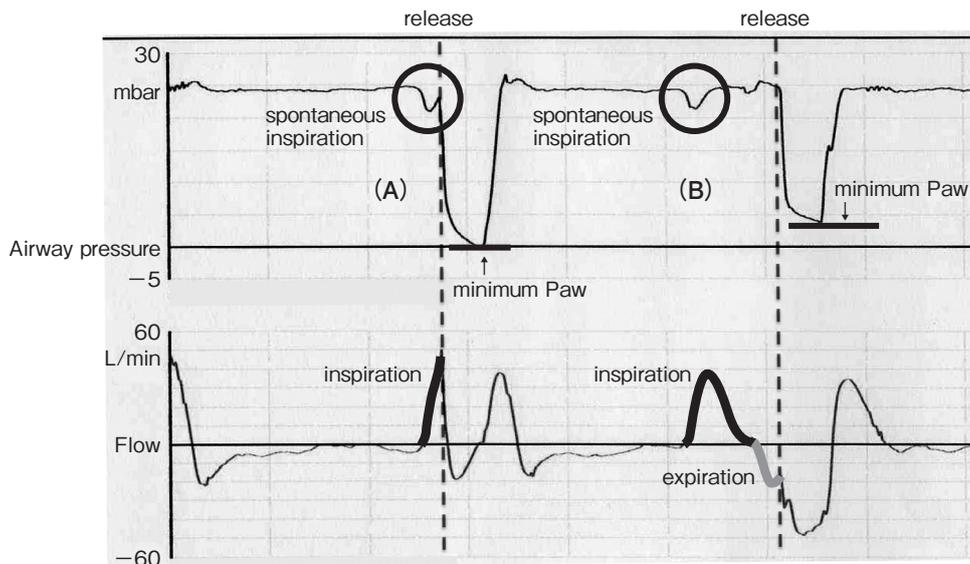


Fig. 2 Airway pressure and flow during release concurrent with spontaneous respiration

- (A) Airway pressure decreases significantly when a release of airway pressure occurs during spontaneous inspiration.
- (B) Airway pressure does not decrease enough when a release occurs during spontaneous expiration.

と考えられる (Fig. 1-b)。

次に Fig. 2 は、ある患者において APRV を施行した際の、圧時間曲線ならびにフロー時間曲線を記録したものである。設定は、 P_{high} 25mbar、 P_{low} 0 mbar、 T_{high} 3.5 秒、 T_{low} 0.5 秒としている。ここでは 2 回のリリースが含まれ、その直前にそれぞれ自発呼吸を伴っている。前半のリリースでは、自発吸気の途中でリリースが開始されており、後半では吸気に続く呼気

の途中でリリースが開始されている。前半のフロー時間曲線を見ると (Fig. 2, 左 A)、リリース開始直後は回路内ガスの呼出が行われているものの、しばらく後には吸入に転じている。これは、患者の吸気努力がリリース時の受動的なガス呼出を上回るためであり、結果として回路内圧は大きく低下している。一方後半では (Fig. 2, 右 B)、呼気の途中でリリースが加わることで、ガス呼出のフローはさらに増大している。フロ

ーが十分に減量しきらない間にリリース時間が終了してしまうので、回路内圧は十分に低下しない。すなわち、前述の「PEEP 上昇」アラーム発生条件を満たしやすい状況にあると言える。

「PEEP 上昇」アラームは、このように患者の自発呼吸に一致したタイミングでリリースが行われたときに生じると思われる。症例3では糖尿病性ケトアシドーシスのため、アラーム発生時点での自発呼吸回数が40.3回/分と著明な頻呼吸を認めていた。このように患者の自発呼吸回数が多い場合は、自発呼吸とリリースが一致する可能性が増えるために、アラームが発生しやすくなるものと思われる。

APRV中に「PEEP 上昇」アラームが発生した場合には、患者の呼吸状態に変化がないかを確認しつつ、まず最初に呼吸回路や気管チューブのトラブルを考慮する。喀痰などによる気管チューブの狭窄には注意が必要である。

次に患者が頻呼吸であった際は、その原因を把握し、場合によっては鎮静薬・鎮痛薬を用いて呼吸数を管理することも考慮する。しかしながら人工呼吸管理中の頻呼吸の原因は多岐にわたり、症例3のように代謝性アシドーシスの代償として頻呼吸となっている場合には、呼吸数の低下がアシドーシスを進行させる危険もある。また、自発呼吸の温存はAPRVの利点の一つでもあるため、その抑制には慎重を要する。

人工呼吸器設定を変更する場合は第一に、T_{low}を延長する。これにより回路内圧が十分に低下する時間的猶予が生まれ、アラーム発生を防ぐことができる。しかしリリースが長時間に及ぶと、その間に回路内ガスの呼出が続き肺胞は虚脱してしまうので、内因性PEEPがかかるようにT_{low}を設定することが重要となる。Habashiによる総説³⁾では、リリース終了時点での呼出流量が、リリース直後の最大呼出流量の50%以下にならない範囲でT_{low}を設定するように推奨されている。したがって、アラーム発生時のフロー時間曲線において、リリース終了時点での呼出流量がすでに最大

呼出流量の50%に達している場合は、それ以上のT_{low}延長を行うことは望ましくない。

第二の対処法は、P_{low}を上げることである。これにより「PEEP 上昇」アラームの発生条件圧が緩和され、リリース終了時点で回路内圧がそれを下回る可能性が増える。この方法では肺胞虚脱のリスクは低いが、ガスを呼出する駆動圧が低下するため、リリース時の換気量が減少する。これによる高二酸化炭素血症の進行には注意が必要である。

今回の「PEEP 上昇」アラームの経験と、その原因に関する考察をDräger Medical社に報告した。「PEEP 上昇」アラームは再現性があり、その結果、現在販売されているEvita XL、Evita 4のプログラムは変更され問題は解決しているとの回答を得た。

結 語

我々は、Dräger Medical社（ドイツ）のEvita 2dura、Evita 4を使用してAPRVを施行し、「PEEP 上昇」アラームが頻発する症例を複数経験した。アラームが発生すると緊急弁の開放により回路内圧が0 mbarとなってしまう、肺胞虚脱が生じてしまうため、アラーム発生は極力避けなければならない。「PEEP 上昇」アラームの発生は、T_{low}を短くすること、P_{low}を上げること、ならびに患者の頻呼吸と関連している可能性がある。

本稿の全ての著者には規定されたCOIはない。

引用文献

- 1) Downs JB, Stock MC : Airway pressure release ventilation : a new concept in ventilatory support. Crit Care Med. 1987 ; 15 : 459-61.
- 2) Stock MC, Downs JB, Frolicher DA : Airway pressure release ventilation. Crit Care Med. 1987 ; 15 : 462-6.
- 3) Habashi NM : Other approaches to open-lung ventilation : airway pressure release ventilation. Crit Care Med. 2005 ; 33 (3 Suppl) : S228-40.

Recurrent sounding of the high-PEEP alarm during airway pressure release ventilation with Evita : a report of three cases

Satoshi OKAMORI, Hiroyuki SUZUKI, Minoru NAKANO, Yoshihiko NAKAMURA
Kenji FUJIZUKA, Yu AMEMIYA, Takayuki OGURA, Tomofumi HARASAWA

Advanced Medical Emergency and Critical Care Center, Japanese, Maebashi Red Cross Hospital

Corresponding author : Satoshi OKAMORI

Advanced Medical Emergency and Critical Care Center, Japanese, Maebashi Red Cross
Hospital

36-21-3 Asahicho, Maebashishi, Gunma, 371-0014, Japan

(Division of General Internal Medicine, Tenri Hospital 200 Mishimacho, Tenrishi, Nara,
632-8552, Japan)

Key words : Evita, APRV, high-PEEP alarm

Abstract

We report three cases of recurrent sounding of the high-PEEP alarm during airway pressure release ventilation (APRV) with Evita 4 or Evita 2dura, produced by Dräger Medical (Germany). During the sounding of the high-PEEP alarm, an emergent valve opens and the airway pressure decreases to zero, and the alveoli are exposed to the risk of collapse. From our experience with these cases, we found that recurrent sounding of the high-PEEP alarm is related to elevation of P_{high} , shortening of T_{low} , and tachypnea in the patients.

Received October 23, 2012

Accepted July 4, 2013