

## ● 解 説 ●

## 単回式吸入麻酔薬気化器 (アナコンダ)

水野隆芳<sup>1)</sup>・高橋 完<sup>2)</sup>・今宿康彦<sup>1)</sup>・北川裕利<sup>1)</sup>

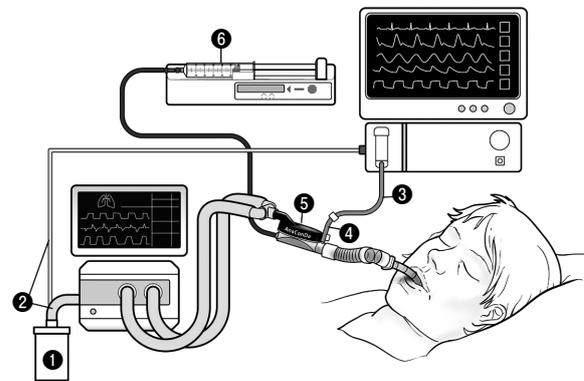
キーワード：気化器，吸入麻酔薬，鎮静，人工呼吸器，集中治療

## I. はじめに

1990年代に Anaesthetic Conserving Device である AnaConDa<sup>®</sup> (以降、アナコンダ) は吸入麻酔薬を効率よく投与するための麻酔薬デリバリーシステムとして発展してきた。アナコンダはリフレクターと呼ばれる部位を持ち、吸入麻酔薬を保持し再呼吸させることが可能である<sup>1)</sup>。また、ベイン回路で使用することを当初からコンセプトとして持っており、低流量での吸入麻酔薬使用量と同等の使用効率を目的として開発が進められてきた<sup>2)</sup>。そして、2000年初頭に初めてICUで挿管患者に対する鎮静管理の際に使用されたことが Sackey らによって報告された<sup>3)</sup>。

吸入麻酔薬の投与に関しては気化器と二酸化炭素吸着剤を必要とせず、いわゆる麻酔器を必要としないことが特徴である。挿管チューブと Y ピースの間に接続して使用するものであり、その他には人工呼吸器、麻酔ガス測定装置、シリンジポンプと専用シリンジを用意すればよい。ICUにおいて挿管管理されている患者に対してベッドサイドで簡便に使用が可能である (図1)。

近年日本でもアナコンダの使用が可能となった。ICUでの鎮静に吸入麻酔薬の有効性や安全性に関して多数報告されており、実際にアナコンダを使用する機会にも恵まれると思われる。本稿ではアナコンダの使用や仕組みについて、その特徴と使用に関する注意点を述



- |                            |                    |
|----------------------------|--------------------|
| ① FlurAbsorb               | ④ Nafion Line      |
| ② FlurAbsorb Accessory Kit | ⑤ AnaConDa         |
| ③ Gas Sampling Line        | ⑥ AnaConDa Syringe |

図1 典型的なセットアップ  
(Sedana medical 社ホームページより引用)

べる。また、アナコンダを通して投与される吸入麻酔薬の特性や注意点についても付記する。

## II. アナコンダの目的

アナコンダは挿管患者に吸入麻酔薬を投与するために開発されたデバイスである。現在、吸入麻酔薬としてはイソフルランとセボフルランが投与可能である。その特性から、ICUにおいて挿管患者の鎮静に使用されている。その使用は2004年に Sackey らによって報告された。Sackey らは、12時間以上挿管による人工呼吸管理および鎮静が必要とされる患者を対象に、ミダゾラムの持続投与による鎮静とアナコンダを使用したイソフルラン投与による鎮静とを比較し、その安全

1) 滋賀医科大学 麻酔学講座

2) 金沢医科大学 麻酔科学講座

性と有効性を報告した。安全性と有効性に関しては、後述したアナコンダの仕組みや使用方法、吸入麻酔の特性を通して供覧していく。

### Ⅲ. アナコンダの使用

アナコンダにより吸入麻酔を投与するには、挿管チューブと Y ピースの間に接続して使用する。人工呼吸を行う際に加湿回路を使用しない場合は、挿管チューブと Y ピースの間に人工鼻を接続して回路の湿度と温度を維持するが、アナコンダは人工鼻の機能も併せ持つためアナコンダを使用する場合は人工鼻を使用しなくてよい。

吸入麻酔薬は専用シリンジに吸引し使用する。アナコンダは専用シリンジのみ接続する形状になっており、吸入麻酔薬以外が充填したシリンジと誤接続・誤投与がなされるのを未然に防ぐシステムとなっている（図 2）。また、専用シリンジの形状は BD Plastipak™ 50 mL syringe および Sherwood monoject™ 50mL syringe と同じになるように設計されている。そのため、当該シリンジが搭載できるシリンジポンプを使用する必要がある。セボフルランをシリンジに充填する際も医療者の曝露を予防し、専用シリンジに接続可能な専用のアダプターを使用する（図 3）。

また、吸入麻酔薬を安全に使用するために、麻酔薬濃度監視装置を用いて吸気および呼気麻酔薬濃度のモニタリングをすることが有効である。アナコンダの患者側にガスサンプリングポートが設置されているため、そこにガスサンプリングチューブの接続が可能である（図 4）。

詳細は後述するがアナコンダは、患者呼気に含まれる吸入麻酔薬の 90% を回収し再利用している。しかし、構造上 10% は呼気回路を通じて人工呼吸器より排気される。そのため吸入麻酔薬の環境汚染・医療従事者への曝露が問題となる。排気ガスへの対策は、手術室で使用されている余剰ガス排気システムや活性炭を使用して吸入麻酔薬を吸着させる方法がある。これらの余剰ガスへの対策がない場合は、イソフルランを用いた研究では室内の平均濃度は 1ppm で、排気口付近は 50 ppm と報告されている<sup>4)</sup>。各国で職業従事上許容される吸入麻酔薬への曝露量が公表されている<sup>5)</sup>が、薬剤による人体への影響が考えられる以上は汚染対策と安全の確保が必要である。日本の ICU や観察室など、一



図 2 AnaConDa Syringe (アナコンダ専用シリンジ)  
先端が AnaConDa® と接続可能に形状になっている。  
(Sedana medical 社ホームページより引用)



図 3 吸入麻酔薬充填用のアダプター (フィリングアダプター)  
(Sedana medical 社ホームページより引用)



図 4 AnaConDa® (アナコンダ) の接続  
患者側にガスサンプリングチューブが接続できるガスサンプリングポートが設置されている。  
(Sedana medical 社ホームページより引用)

歩手術室を出ると吸入麻酔薬を使用することは想定されていないため、患者サイドすべてに余剰ガス排気装置がついている医療施設は少ないことが考えられる。そのため、活性炭を用いて吸入麻酔薬を吸着する方法が一般的になると考えられるが、排気ガスから吸入麻酔薬を吸着することを想定してデザインされている人工呼吸器も多くはないと考えられる。いずれの方法を用いるとしても、各施設で排気ガスを適した形で管理できるように工夫が必要である。

表1 各国の8時間勤務における吸入麻酔薬への許容曝露量<sup>5)</sup>

	イソフルラン (ppm)	セボフルラン (ppm)	デスフルラン (ppm)
Germany	10	—	10
Italy	—	—	—
French	—	—	—
Sweden	10	10	10
Norway	2	20	20
China	2*	2*	—
England	50	—	—
Spain	50	—	—
Austria	10	10	—
USA (NOISH)	2#	2#	—

— : 公表なし

\* : 8時間以上暴露した場合の Time Weighted Average

# : 1時間あたりの許容最大曝露量

開放型の吸痰を行った場合に5ppmのイソフルランを測定した報告<sup>6)</sup>やアナコンダ直上でイソフルランを測定した場合は5ppm未満であったという報告がある<sup>4)</sup>。吸痰時は閉鎖式の吸引システムを用いることが推奨される。また、呼吸回路の接続のゆるみなどからも吸入麻酔薬のリークを生じる可能性もあるため、有効な鎮静および医療従事者の暴露を防止するためにも適切な接続が求められる(表1)。

#### IV. アナコンダの仕組み

##### 1. アナコンダの性能

アナコンダはディスポーザブルであり、1患者に使用する。使用できる期間は24時間までである。死腔が100mLであり、一回換気量が350mL以上必要である。アナコンダ自体には電子機器や磁性体は含まれず、MRIでの使用は可能である。死腔が50mLで、一回換気量が200mL以上で使用できるAnaConDa-S<sup>®</sup>という製品もある。除菌フィルターがついており、加温加湿が可能であり人工鼻フィルターとしての機能も有している(表2)。

##### 2. リフレクター (Reflector)、エバポレーター (Evaporator rod) の役割

アナコンダは上記のように加湿加温機能と吸入麻酔薬を効率よく投与するための機能を持つ。その肝となる機能は静電性の除菌フィルターと吸入麻酔薬を供給するエバポレーター、リフレクターと呼ばれるカーボン製のフィルターから成り立っている。エバポレータ

ーは吸入麻酔薬が充填されたシリンジと接続されており、患者の吸気が開始されるたびに気化した吸入麻酔薬がエバポレーターから供給される。患者の呼気はバクテリアフィルターとリフレクターを通過した後、呼吸回路を通じて排気口より排気される。患者呼気に含まれる吸入麻酔薬はリフレクターを通過する時に呼気に含まれる吸入麻酔薬の約90%を吸収し、吸気の開始後にガスフローがリフレクターを通過した時に吸収された吸入麻酔薬が放出され再び患者に投与される。つまり、リフレクターにより吸入麻酔薬が再利用され、吸入麻酔薬の使用量が抑えられる工夫がなされている。

リフレクターに関しては、呼気に含まれる二酸化炭素について吸着、再呼吸する可能性について示唆した報告がある<sup>7)</sup>。臨床上どのような影響があるのか今後の検討が待たれる(図5)。

エバポレーターから供給される吸入麻酔薬の量は少なく、吸気に含まれる吸入麻酔薬の多くはリフレクターに吸収された吸入麻酔薬を放出し再利用されている。そのため、呼気に含まれる吸入麻酔薬濃度が低い場合は、投与される吸入麻酔薬濃度も低いままである。エバポレーターから新しく供給される吸入麻酔薬の量が排気される吸入麻酔薬の量より多くなるとはじめて吸入麻酔薬濃度は増加を認める。普段麻酔器を用いて吸入麻酔薬を使用されている場合は、目的濃度に達するまでに時間がかかるところが違和感を覚えるかもしれない。いち早く呼気の濃度を上げるためには、エバポレーターからの吸入麻酔薬の供給量を増量すればよい。

以上のようにアナコンダは、呼気時は吸入麻酔薬を

表2 アナコンダおよびアナコンダ-Sの性能表

	AnaConDa® (アナコンダ)	AnaConDa-S® (アナコンダ-S)
		
使用可能な吸入麻酔薬	イソフルラン・セボフルラン	
使用可能なシリンジ	アナコンダ専用シリンジ	
適正一回換気量	350 ~ 1,200mL	200 ~ 800mL
死腔量	100mL	50mL
流量抵抗 (ガス流量 60L/分)	2.5cmH <sub>2</sub> O	3.0cmH <sub>2</sub> O
水分損失		
	5mg/L (V <sub>T</sub> <500mL)	5mg/L (V <sub>T</sub> <300mL)
	7mg/L (V <sub>T</sub> ≥500mL)	7mg/L (V <sub>T</sub> ≥300mL)
除菌フィルター性能		
細菌除去率	≥99.998%	
ウイルス除去率	≥99.97%	
重量	50g	38g

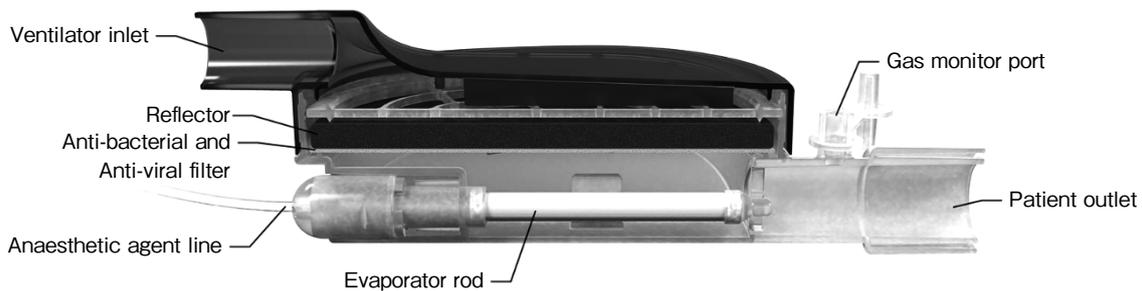
V<sub>T</sub>: 一回換気量

図5 アナコンダの構造

(Sedana medical 社ホームページより引用)

吸収・保持し吸気時に放出するため、管理・モニタリングしていくうえで呼気吸入麻酔薬濃度が重要な数字となる。呼気の吸入麻酔薬濃度を調整することで安定した鎮静が可能となる (図6～図10)。

### 3. 使用できる人工呼吸モード

アナコンダは吸気と呼気の出入りにより吸入麻酔薬を供給するので、高頻度振動換気など振動換気では有効に使用できない。挿管管理されている場合は Assist control モード、Pressure support モードいずれでも有効に使用が可能である。

## V. 吸入麻酔薬の特性

### 1. 吸入麻酔薬による覚醒の迅速さ

アナコンダは吸入麻酔薬を投与するデバイスであるが、使用できる吸入麻酔薬はイソフルランとセボフルランである。吸入麻酔薬による鎮静では、投与中止後の覚醒が早いという特徴がある。吸入麻酔薬は経肺的に体内に投与され、排出経路も肺を通じて呼気とともに排出される。すなわち、静脈麻酔薬では経静脈的に体内に投与後、効果器にて効果を発揮し、肝臓・腎臓による代謝・排泄という経路を通してようやく効果を失うが、吸入麻酔薬ではその過程をほとんど経ないため結果的に覚醒が早くなる。ICU でミダゾラム、プロ

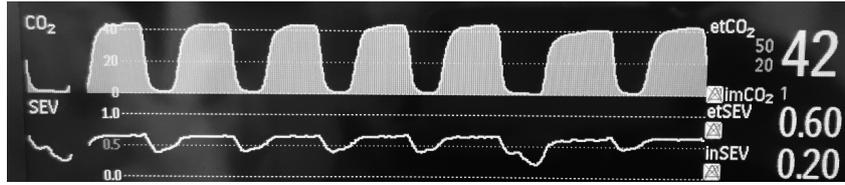


図6 セボフルランを用いてICUで鎮静を行った時のモニター画面  
 カブノグラムの呼気とともにセボフルラン濃度の上昇を認める。  
 鎮静時の吸入麻酔薬濃度を数字で可視化できることが特徴の1つである。

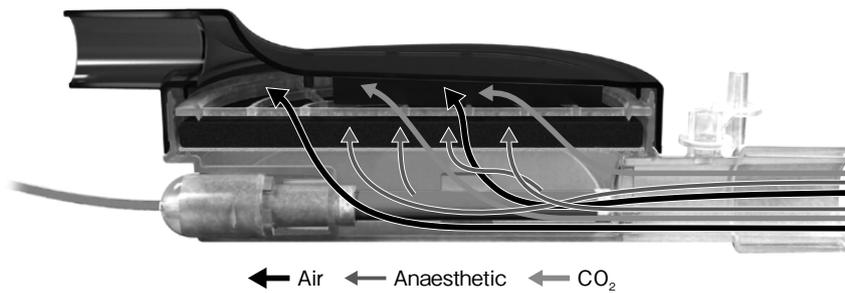


図7 呼気開始時

ガスフローに吸入麻酔薬とCO<sub>2</sub>を含む。  
 (Sedana medical 社ホームページより引用)

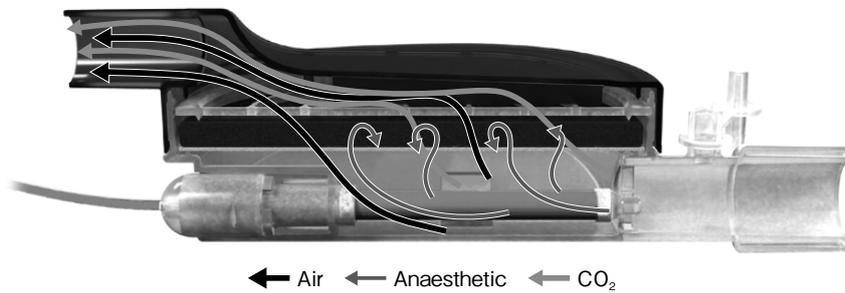


図8 呼気終末

CO<sub>2</sub>は通過していくが、約90%の吸入麻酔薬はReflectorに吸収される。  
 (Sedana medical 社ホームページより引用)

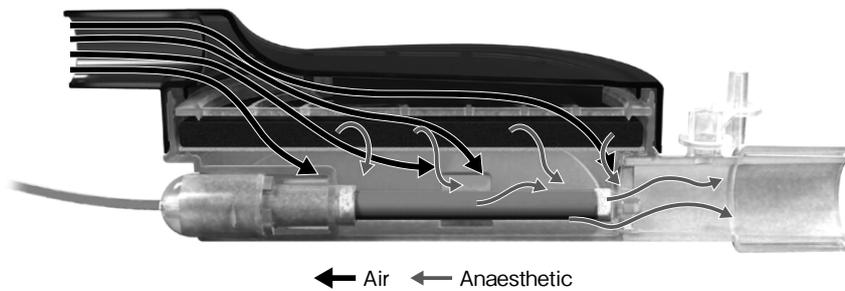


図9 吸気開始時

新鮮なガスフローがAnaConDa®内に入っていく。  
 (Sedana medical 社ホームページより引用)

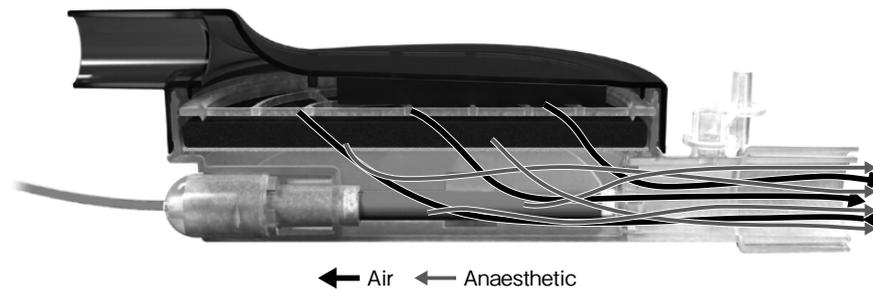


図 10 吸気終末

Reflector 内の吸入麻酔薬が放出され、Evaporator rod から供給される吸入麻酔薬と合流して患者に投与される。  
(Sedana medical 社ホームページより引用)

ポフォールを用いた鎮静と吸入麻酔薬による鎮静を比べたメタアナリシスでは、口頭による指示に従うまでの時間に有意差は認めなかったが、抜管までの時間は吸入麻酔薬による鎮静のほうが平均で 52.7 分早かったと報告している (吸入麻酔薬 vs 静脈麻酔薬 平均-52.7 分; 95% 信頼区間、-75.1 to -30.3;  $P < 0.00001$ )。とくにミダゾラムと比較すると 292.2 分早かったと報告している (吸入麻酔薬 vs 静脈麻酔薬 平均-52.7 分; 95% 信頼区間、-384.4 to -200.1;  $P < 0.00001$ )<sup>8)</sup>。現在吸入麻酔薬の保険適応は手術場内に限られているため、手術場外での使用は適応外使用になることに注意が必要である (表 3)。

## 2. ICU における鎮静の重要性

ICU では侵襲を伴う治療を行うことがあるため、適切な鎮静・鎮痛管理が必要である。しかし、患者にとって過度な鎮静を行うことで人工呼吸管理期間や ICU 入室期間が遷延することが指摘されている<sup>11)</sup>。ICU で鎮静管理中に、静脈麻酔薬では鎮静薬に対する耐性が出現し、鎮静の質を維持するために鎮静薬の投与量が徐々に増加することや鎮静薬を多剤併用することを経験する。鎮静薬の量が増えると覚醒や抜管までの時間が遷延すると考えられている。良質な鎮静管理は ICU において必要であるが、負の側面を持つことにも注意しなければならない。吸入麻酔薬の作用機序は解明されていないが、多様な効果器に作用すると考えられており耐性が形成されにくいと考えられている。吸入麻酔薬では単一で鎮静の質を維持できる可能性があり、静脈麻酔薬による鎮静によって生じる負の側面を減弱できる可能性がある。

表 3 イソフルランとセボフルランの物理化学的特性

吸入麻酔薬	イソフルラン	セボフルラン
構造式	CHF <sub>2</sub> -O-CHClCF <sub>3</sub>	CH <sub>2</sub> F-O-CHClCF <sub>3</sub>
分子量	184.5	200.6
沸点	48.5℃	58.5℃
生体代謝率	0.2% <sup>9)</sup>	5% <sup>10)</sup>

## 3. 吸入麻酔薬の力価の指標：MAC

皮膚切開を行った場合に 50% に体動を認める吸入麻酔薬濃度を minimum alveolar concentration (MAC) という。MAC は吸入麻酔薬の効果を比較するのに使用することがある。吸入麻酔薬同士で比較することも可能であり、同一の吸入麻酔薬内で比較することも可能である。吸入麻酔薬は年齢によって必要な麻酔薬濃度が変わり、たとえばセボフルランの 1MAC は 25 歳 2.6%、40 歳は 2.1%、60 歳は 1.71%、80 歳は 1.4% である<sup>12)</sup>。吸入麻酔薬同士で比較する場合は、40 歳におけるイソフルランの 1MAC は 1.15%、セボフルランは 2.1% という具合である。

## 4. 悪性高熱症

吸入麻酔薬を使用するにあたって、悪性高熱症に注意が必要である。悪性高熱症は遺伝性の骨格筋疾患であり、発生頻度は全身麻酔症例 10 万人に 1～2 人の稀な疾患である。死亡率は、1960 年代は 42% であり、2000 年以降は 15% に低下しているが依然死亡率の高い疾患である<sup>13)</sup>。揮発性吸入麻酔薬および脱分極性筋弛緩薬が誘発因子である。骨格筋の代謝が異常亢進し、かつミトコンドリアに対し異常負荷を起こす結果、高体温、異常頻脈、高炭酸血症、代謝性アシドーシス、腎不全、播種性血管内凝固症候群 (Disseminated in-

travascular coagulation : DIC) を引き起こす。治療薬としてはダントロレンがある。悪性高熱症は、発生頻度は稀であるが劇症型が発症した場合は進行が早く致死率も高いため、できるだけ早期の診断と治療が必要と考えられる。揮発性吸入麻酔薬を使用する部署内にダントロレンを常備することを考慮に入れてもよい。

## VI. おわりに

アナコンダは吸入麻酔薬をベッドサイドで投与可能としたデバイスである。アナコンダの特徴であるリフレクターにより吸入麻酔薬を吸収・再利用することで、効率よく吸入麻酔薬を投与することを可能とした。吸入麻酔薬を鎮静薬の選択肢とすることで、患者により適した鎮静を行うことが可能になると考えられる。また、吸入麻酔薬は呼気濃度を測定可能であり、鎮静の評価尺度と組み合わせることで、数字で鎮静の程度を伝えることができる。たとえば、RASS-3 を目標に鎮静管理している場合に、「呼気濃度 0.8% で RASS は -4 でした。呼気濃度が下がるように調節しますか?」と具体的になる。当院ではスタッフ間の指示や申し送りが明瞭になったという効果を認めた。アナコンダによる吸入麻酔薬鎮静は鎮静管理の新しい扉を開く可能性があると考えられる。

本稿の全ての著者には規定された COI はない。

### 参考文献

- 1) Perhag L, Reinstrup P, Thomasson R, et al : The Reflector : a new method for saving anaesthetic vapours. *Br J Anaesth.* 2000 ; 85 : 482-6.
- 2) Enlund M, Lambert H, Wiklund L : The sevoflurane saving capacity of a new anaesthetic agent conserving device compared with a low flow circle system. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2002 ; 46 : 506-11.
- 3) Sackey PV, Martling CR, Granath F, et al : Prolonged isoflurane sedation of intensive care unit patients with the anesthetic conserving device. *Crit Care Med.* 2004 ; 32 : 2241-6.
- 4) Marbini HD, Palayiwa E, Chantler J : Active gas scavenging is unnecessary when using the AnaConDa volatile agent delivery system. *J Intensive Care Soc.* 2009 ; 1 : 26-8.
- 5) Deng HB, Li FX, Cai YH, et al : Waste anesthetic gas exposure and strategies for solution. *J Anesth.* 2018 ; 32 : 269-82.
- 6) Sackey PV, Martling CR, Nise G, et al : Ambient isoflurane pollution and isoflurane consumption during intensive care unit sedation with the Anesthetic Conserving Device. *Crit Care Med.* 2005 ; 33 : 585-90.
- 7) Stureson LW, Malmkvist G, Bodelsson M, et al : Carbon dioxide rebreathing with the anaesthetic conserving device, AnaConDa®. *Br J Anaesth.* 2012 ; 109 : 279-83.
- 8) Jerath A, Panckhurst J, Parotto M, et al : Safety and efficacy of volatile anesthetic agents compared with standard intravenous Midazolam/Propofol sedation in ventilated critical care patients : a meta-analysis and systematic review of prospective trials. *Anesth Analg.* 2017 ; 124 : 1190-9.
- 9) Holaday DA, Fiserova-Bergerova V, Latto IP, et al : Resistance of isoflurane to biotransformation in man. *Anesthesiology.* 1975 ; 43 : 325-32.
- 10) Kharasch ED, Karol MD, Lanni C, et al : Clinical sevoflurane metabolism and disposition. I. Sevoflurane and metabolite pharmacokinetics. *Anesthesiology.* 1995 ; 82 : 1369-78.
- 11) Kress JP, Pohlman AS, O'Connor MF, et al : Daily interruption of sedative infusions in critically ill patients undergoing mechanical ventilation. *N Engl J Med.* 2000 ; 342 : 1471-7.
- 12) Nickalls RW, Mapleson WW : Age-related iso-MAC charts for isoflurane, sevoflurane and desflurane in man. *Br J Anaesth.* 2003 ; 91 : 170-4.
- 13) Migita T, Mukaida K, Kawamoto M, et al : Fulminant-type malignant hyperthermia in Japan : cumulative analysis of 383 cases. *J Anesth.* 2007 ; 21 : 285-8.