



GE HealthCare

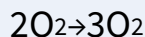
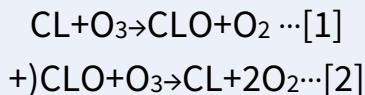
安全で確かな低流量麻酔をサポートする機能とは..

東京慈恵会医科大学麻酔科学講座

木山 秀哉 先生

セボフルランとデスフルラン

現代の吸入麻酔薬の双壁をなすセボフルランとデスフルラン、その化学構造はどちらもハロゲン化アルキルエーテルです。ハロゲンとしてフッ素原子のみを含む点が、イソフルランやエンフルランと異なります。水素原子の一部を塩素、フッ素で置換した炭化水素(chlorofluorocarbons;CFCs)、いわゆるフロンガスは成層圏内で紫外線を浴びて光解離反応を起こし、塩素原子を遊離します。この塩素原子はオゾンと反応して一酸化塩素を生成します([1])。一酸化塩素がオゾンと反応すると、再び塩素原子が生じるため([2])、オゾンから酸素分子への変換が持続することになり、これが「オゾン層破壊」の化学的機序です。



セボフルラン、デスフルランは塩素を含まないため、オゾン層破壊作用はありません。しかし、両者ともに地球放射(赤外線)を吸収する温室効果を有しており、特に大気中の残留時間が長いデスフルランの20年換算地球温暖化係数(Global Warming Potential;GWP20)は、二酸化炭素の係数を1とした場合、3714と高値を示します。セボフルラン、デスフルランを使用するに当たって、地球環境への影響を無視することはできません。これらの血液/ガス分配係数が小さいことは、理想的な揮発性麻酔薬の条件の一つを満たしていますが、MAC値が高いこれらの薬物を私達はどのように使用すべきでしょうか？

低流量麻酔

揮発性麻酔薬の使用量を抑える最も確実な方法は、新鮮ガス流量を減らすこと、すなわち低流量麻酔です。麻酔器から供給される酸素/空気/亜酸化窒素の混合ガス、いわゆる新鮮ガス流量(Fresh Gas Flow;FGF)と患者の酸素消費量 $\text{VO}_2(\text{mL}/\text{min})$ の大小関係によって、低流量麻酔は次のように分類できます。

- metabolic flow: $\text{FGF} = \text{VO}_2 \approx 250(\text{mL}/\text{min}) \approx 5(\text{mL}/\text{kg}/\text{min})$
- minimum flow: $\text{FGF} \approx 500(\text{mL}/\text{min})$
- low flow: $\text{FGF} \approx 1,000(\text{mL}/\text{min}) = 1(\text{L}/\text{min})$

麻酔中、患者の酸素消費量を正確に求めることは難しいため、metabolic flowまでFGFを減らすことは稀で、minimumまたはlow flow techniqueが現実的な方法と考えられます。

低流量麻酔の利点

特にデスフルランのようなMAC値が高い(=力価が低い)揮発性麻酔薬を長時間の麻酔維持に使用する場合、低流量麻酔には下記のような利点があります。

1) 経済性(Economy)

麻酔薬の消費が少ないことは当然、医薬品購入費削減につながります。

2) 効率性(Efficiency)

低流量麻酔では麻酔回路内の温度、湿度が高流量麻酔に比べて、より生理的な範囲に保たれるため、体温維持、気道の加湿効果が大きくなります。周術期に体温を保持することは出血量/輸血量の削減、手術創感染の減少等、有益な効果をもたらします。

3) 環境保護(Ecology)

低流量麻酔による症例毎の麻酔薬使用量の削減はわずかであっても、長期間に世界全体で施行される麻酔件数を考慮すれば、地球環境保護上、その影響は無視できません。安全が保たれる範囲内で、積極的に麻酔薬使用量の削減に努めることが求められます。

低流量麻酔の注意点

このように明確な理論的優位性があるにもかかわらず、これまで低流量麻酔が広く普及してこなかった理由は何でしょうか？その理由は

- 1)低酸素症のリスクがあること
- 2)麻酔薬濃度の調節性が低いこと

の2点に集約されます。FGFを500mL/min前後まで減らす場合(minimum flow anaesthesia)、患者の酸素消費量が変動すれば、吸入酸素濃度の値によっては酸素供給量が消費を下回る可能性があり、麻酔回路内の酸素濃度をリアルタイムでモニタすることが必須です。レミフェンタニル等の強力な鎮痛薬と揮発性麻酔薬を併用するバランス麻酔では、就眠鎮静レベルが安定すれば、維持中頻りに麻酔薬濃度を調節する必要性は高くありませんが、FGFが少ないままでは短時間で濃度を増減することは不可能です。さらに低流量麻酔は呼気を再吸収する割合が増えるため、二酸化炭素吸収剤の消耗が速いことにも注意が必要で、CO₂吸収剤の変色に注目し、カブノグラムの基線が0mmHgであるかどうか、頻繁な観察を要します。



安全な低流量麻酔のための条件

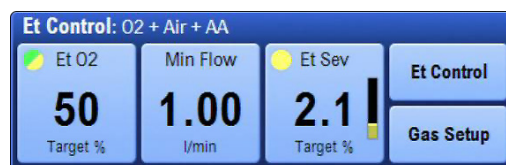
したがって安全確実な低流量麻酔の実施には下記の条件が必要となります。

- 1) 漏れの無い麻酔回路：呼気ガスモニターがサンプリングする回路内ガス(約200mL/min)を、再び回路内に戻します。
- 2) 麻酔ガスモニター(酸素/亜酸化窒素/二酸化炭素/揮発性麻酔薬)
- 3) 効率のよい二酸化炭素吸収剤
- 4) 回路内ガス濃度アラーム(呼気終末酸素/麻酔薬、吸入二酸化炭素)

End-tidal Control(EtC)



低流量麻酔を行う上でもっとも警戒すべき低酸素症を防ぐためには、吸入酸素濃度と酸素消費量のバランスで決定される呼気終末酸素濃度(End-tidal O₂;EtO₂)をモニタすることが合理的です。GE HealthCare社の麻酔器 Aisys に搭載された機能、End-tidal Control(EtC)はEtO₂と呼気終末麻酔薬濃度(End-tidal Anaesthetic Agent;EtAA)を制御対象として、新鮮ガスの流量、組成(酸素濃度)、揮発性麻酔薬の気化量を調節します。一方、従来どおり吸入酸素濃度/麻酔薬濃度(FiO₂, FiAA)を設定するモードは Fresh Gas Control mode(FGC)と呼ばれ、FGC/EtCの両モードはモニタ画面左下隅のボタンで簡単に切替できます。



麻酔導入

EtCモードでは麻酔の全経過を通して、数分間隔で回路リークの有無をチェックして、リーク量が多い場合は自動的に通常のFGCモードに復帰します。麻酔導入は静脈麻酔薬あるいはセボフルラン(FGCモード)で行い、気管チューブあるいはラリンジアルマスクのような声門上器具で気道確保した後、EtCモードに移行するのが現実的な方法と言えるでしょう。EtCモードで設定するのはEtO₂/EtAAです。FGFも任意の値に設定しますが、最小流量Min(Minimum)は、予め揮発性麻酔薬ごとに決めることができます。AisysのEtCモードでは最小流量はデスフルラン、セボフルランいずれも0.5L/minまで下げられます。設定した濃度(EtO₂/EtAA)の90%以内に達するまでの時間(settling time)は、酸素は140秒、麻酔薬は200秒と規定されています。モニタ画面左上には単位時間当たりの気化量が表示されます。静脈麻酔薬で導入した場合、すなわちEtC開始時の揮発性麻酔薬濃度が0%である場合、EtAAを急速に上げるために、FGF設定がMinimumであっても、流量は自動的に2L/min程度まで増加します。デスフルランの場合、急速な濃度上昇は一過性に交感神経を刺激しますが、十分な鎮痛が得られていれば、極端に高いデスフルラン濃度(EtDes)を設定する必要は少ないでしょう。

EtC 実際の使用例(図1,2)

実際のEtC使用例(FGF=1L/min、target EtDes=5.0%、target EtO₂=50%)を提示します。

図1はデスフルランの気化量と濃度(吸気/呼気終末)です。単位時間当たりの気化量は、約75秒までは130mL/h程度ですが、その後急速に漸減して約3分後には20mL/hまで減少します。呼気終末デスフルラン濃度は6%までオーバーシュートした後、設定濃度の5%に接近して、仕様通り200秒前後で目標値(5%)の90%以内におさまります。

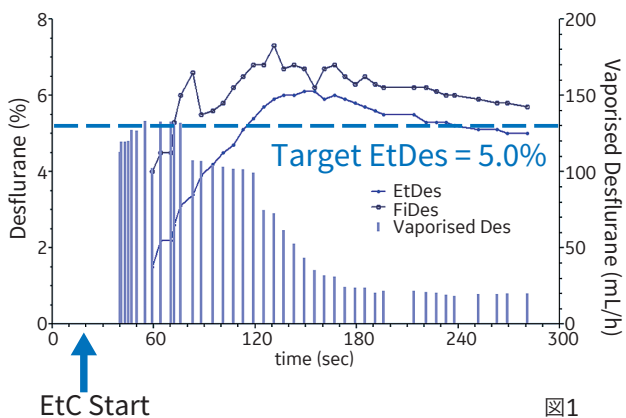


図1

図2は新鮮ガス組成(酸素および空気の流量)と酸素濃度(吸気/呼気終末)です。EtCを開始した時点で自動的にFGFは2L/minに増え、新鮮ガス組成は100%酸素に変更されて、約100秒後にEtO₂は目標値に到達しています。その後、自動的にFGFは再び設定値の1L/minに戻ります。

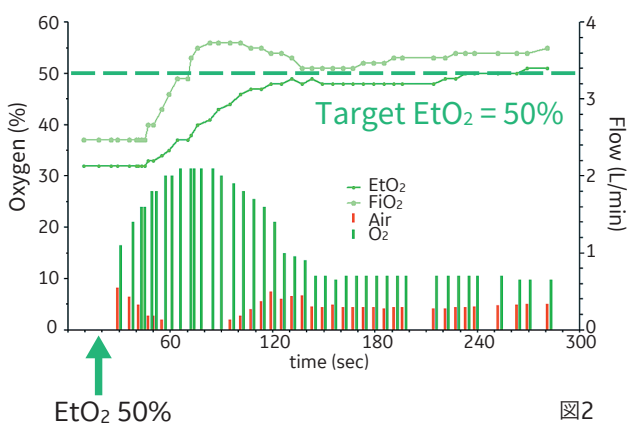


図2

麻酔維持

Target EtAAの調節はBIS、Entropy等の脳波モニタを参考にします。オピオイド、硬膜外麻酔、神経ブロック等で十分な鎮痛が得られていれば、target EtAAを頻繁に調節しなくても、

就眠・鎮静レベルはきわめて安定しています。麻酔維持中にtarget EtAAを増減させると自動的にFGFの流量が増え、settling time内に新たなEtAAに到達した後、再びFGFは元の設定(低流量)に戻ります。

覚醒過程(図3,4)

覚醒時にはtarget EtO₂を高い値に設定し、EtAAをOFF(0%)あるいはパーズ(Purge)に変更します。Target EtO₂は理論的に100%には成り得ないので、Max(Maximum)と表示されますが、実質的には吸入酸素濃度(FiO₂)は100%になります。EtAAをOFF(0%)に設定するだけではFGFは変化しないため、低流量のままでは麻酔薬濃度は速やかに低下しません。麻酔薬の気化を止めるだけでなく、自動的にFGFを増やす設定がパーズです。パーズを選択するとtarget EtAAはOFF(0%)、FGFは10L/minになります。図3、図4は手術終了時にパーズ機能を用いて麻酔を覚醒させた経過で、FGFが維持中の0.5L/minから10L/minに増加し、気化量が0mL/hになることで急速にデスフルラン濃度が低下することがわかります。

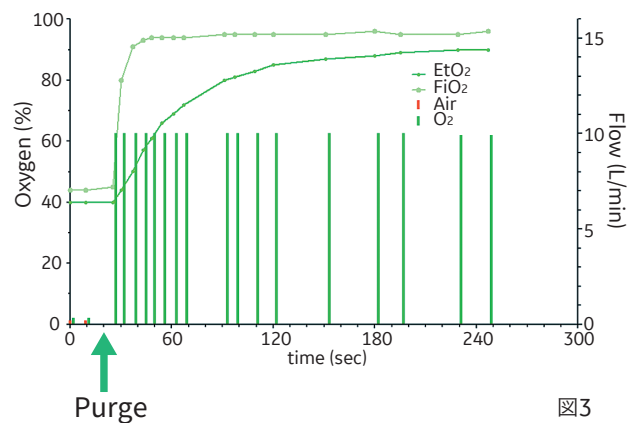


図3

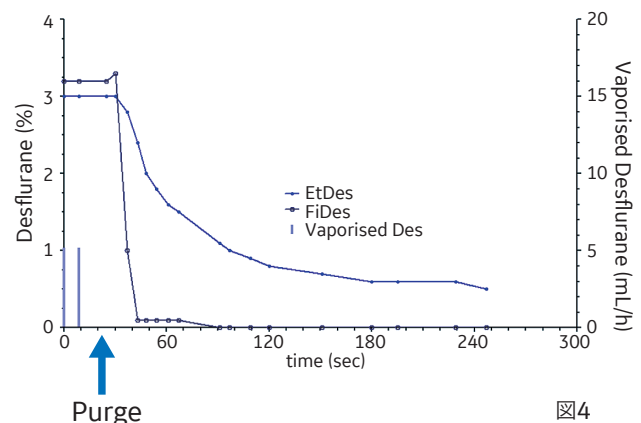


図4

EtC vs target-controlled infusion(TCI)

プロポフォール®の target-controlled infusion(DiprifuTM, AstraZeneca)が臨床に登場して静脈麻酔薬の投与法は体重と単位時間当たりの投与(mg/kg/h)から、濃度($\mu\text{g/mL}$)による投与に変わりました。「濃度」に基づく投与方法であることを強調してTCIの概念は“intravenous vaporizer”と表現されました。現行の血漿中濃度制御方法(plasma-controlled TCI)に加え、効果部位濃度を制御対象とする投与方法(effect-site controlled TCI)も既に一部のEUやアジア諸国で臨床使用され始めています。一方、以前から吸入麻酔薬の投与方法は濃度(気化器の目盛)に基づくものでしたが、あくまでも吸入濃度を設定する投与であり、FGFが低い値の場合必ずしも濃度(鎮静レベル)を迅速に調節することはできませんでした。EtCは麻酔薬濃度を決定する2つの因子、すなわちFGFと気化量を同時制御することによって、低流量麻酔においても迅速、正確なタイトレーションを可能にしました。実際、単位時間当たりの麻酔薬気化量の時間変化は、TCIにおける静脈麻酔薬注入速度の時間変化と同様、指数関数的に減少する形を示しています(図1)。したがって、TCIに慣れ親しんだ麻酔科医はEtCを“effect-site target-controlled inhalation”と考えれば理解が容易になると思います。

低流量麻酔や

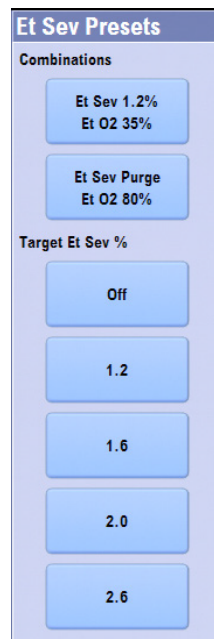
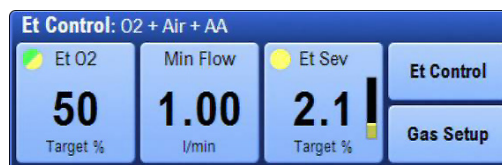
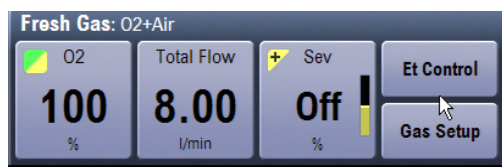
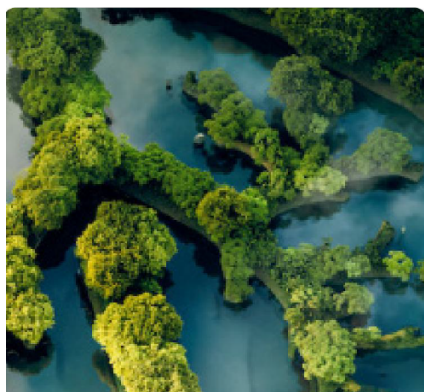
地球環境にも配慮した機能とは

低酸素血症を生じることなく、安全で確かな低流量麻酔をサポートし、揮発性麻酔薬濃度も、気化量とFGFの同時制御によって迅速に調節することができる機能を使用することで、フレッシュガスフロー、気化量を自動的に調節し、その様子を観察することで低流量麻酔の薬物動態の理解が深まります。MACが高い揮発性麻酔薬の使用量を最小限に抑えつつ、迅速なタイトレーションを可能にし、球環境に配慮した吸入麻酔を支える機能の一つと考えられます。

*本資料に掲載されている内容は、使用者の感想であり、仕様値として弊社が保証するものではありません。

エイシスCS²のEtCは温室効果ガス排出を抑制し
安全な低流量麻酔をサポートします

安全・環境・コストに配慮した麻酔を目指し
intelligenceを持って進化した麻酔器エイシス



Full Digital麻酔器AisysCS²にEtC(End-tidal Control)機能を搭載



エイシスCS²
Canvasシリーズモニター搭載例

販売名称：エイシス

販売名称：CARESCAPE ベッドサイドモニター Canvas シリーズ

販売名称：CARESCAPE ONE モニター

製造販売業者名：GEヘルスケア・ジャパン株式会社

医療機器承認番号：21900BZX00741000

医療機器認証番号：305ADBZX00092000

医療機器認証番号：231ADBZX00022000

※記載内容はお断りなく変更する場合がありますのでご了承ください。