



# SEVOFLURANE CONSUMPTION IN MANUAL VS AUTOMATIC MODES

**AGC 機能により、安全かつ  
容易に麻酔薬の消費量を  
最大 58% 削減**



# Sevoflurane consumption in manual vs automatic modes



Flow-i ワークステーションで自動化されたガス制御技術を適切に使用して、セボフルランの消費量を最小化することによる、環境的および経済的評価

Alain F. Kalmar<sup>1,2</sup> · Nicky Van Der Vekens<sup>3</sup> · Frédéric De Rydt<sup>3,5</sup> · Silvie Allaert<sup>3</sup> · Marc Van De Velde<sup>4,5</sup> · Jan Mulier<sup>1,2,6</sup>

## 概要

環境性と経済性を考慮し、揮発性麻酔薬の消費を最小限に抑える必要があります。新しい麻酔システムは、環境性 / 経済性の懸念と麻酔薬の安定供給という相反する課題を両立させるため、フレッシュガス流量 (FGF) を継続的に最適化し、揮発性麻酔薬の消費量を最小限に抑え、要求された混合ガスを得られる自動ソフトウェアを備えています。この研究の目的は、全ての患者を対象に、2% の呼気終末麻酔薬濃度を目標とし、異なるアプローチで投与するセボフルランの動態と消費パターンを分析することです。Flow-i のセボフルランの消費パターンを、目標呼気終末セボフルラン濃度 ( $Et_{sevo}$ ) が 2% の症例で、後ろ向きに検討しました。各設定について、25 例が分析の対象となりました。AGC (自動ガスコントロール) ソフトウェアバージョン 4.4 (V 4.4) で速度設定 6、V4.7 で速度設定 2、FGF が 2 L/分固定のグループが観察されました。45 分間で、

2L-FGF グループで平均 14.5 mL、AGC<sub>4.4</sub> グループで 7.1 mL、AGC<sub>4.7</sub> グループで 6.0 mL 消費されました。より新しい AGC<sub>4.7</sub> アルゴリズムは、古い AGC<sub>4.4</sub> アルゴリズムよりも効率的でした。

このように、AGC は従来の手動 FGF 設定と比較して、経済的・環境的なメリットが非常に大きく、かつ安定性・利便性にも優れているため、今後、積極的に導入していくことが望ましいと考えられます。歴史的に「低流量麻酔」と呼ばれているもの (例えば FGF 設定: 2 L/分固定) を用いた日常的な臨床プラクティスは中止されるべきです。また、揮発性麻酔薬による大気汚染を最小限に抑えるため、全ての麻酔器を自動ガスコントロールモデルへできるだけ早くアップグレードすべきです。

(1) Department of Anesthesiology, Reanimation and Intensive Care, AZ Sint Jan Brugge-Oostende, Brugge, Belgium. (2) Department of Anesthesia, Ghent University, Ghent, Belgium. (3) Department of Anesthesia and Critical Care Medicine, Maria Middelaers Hospital, Ghent, Belgium. (4) Department of Cardiovascular Sciences, KULeuven, Leuven, Belgium. (5) Department of Anesthesiology, UZLeuven, Leuven, Belgium. (6) Department of Anesthesiology, KULeuven - University of Leuven, Leuven, Belgium



# 序文

揮発性麻酔薬は、望ましい薬理学的特性を有する麻酔薬として広く使用されています。しかし、大きな欠点は、これらのガスが最終的に大気中に放出され温室効果に大きく影響するという点です。2014年のフッ素系揮発性麻酔薬の世界排出量は、300万トンのCO<sub>2</sub>に相当しました [1]。異常気象が進むにつれ、生態系が完全に破壊される恐れや、医療や社会への緊急事態を引き起こす懸念があるため [2]、生態系への影響を最小限に抑えることは、全ての人の義務であると言えます。揮発性麻酔薬の強力な熱捕捉力を考慮すると、麻酔医はこの点において重要な責任を負っています [3]。麻酔科医による驚くほどシンプルな選択は、治療の質に悪影響を及ぼすことなく、気候への影響を桁違いに減らすことができます。揮発性麻酔薬がまだ望ましいとされている限り、その気候的影響を最小限理解したうえで、揮発性麻酔薬とキャリアガスを慎重に選択し、フレッシュガス流量を最小限に抑えるために最新技術を最適に使用することが最も重要なステップであることが示されています [4]。環境面でのメリットに加え、揮発性麻酔薬の過剰な消費を減らすことは、大幅なコスト削減にもつながります。

» all anesthesia machines should be upgraded as soon as possible with automatic delivery technology to minimize atmospheric pollution with volatile anesthetics. «

セボフルランは、複雑な大気物理学や化学などの分野でも広く説明されていますが、CO<sub>2</sub>の349倍も地球温暖化を進めてしまうことがわかっています [3]。多くの手術室では揮発性麻酔薬が継続的に使用されるため、従来の低流量麻酔設定における揮発性麻酔薬の総消費量は、麻酔器1台あたり年間40Lにまで容易に到達する可能性があります。これは、揮発性麻酔薬にかかる年間16,000ユーロをはるかに超える経済的コストに相当し、セボフルランの温室効果ガス換算で21トンのCO<sub>2</sub>に相当します [3, 5]。したがって、揮発性麻酔薬の消費量の削減は、最新機器の追加コストを容易にカバーできるほどの大きな経済的節約につながり、大気汚染も大幅に削減することができるのです。参考までに、ブリュッセル～ニューヨーク間のフライトをエコノミークラスで1往復した場合、1人あたりのCO<sub>2</sub>排出量は2トンです。

パルスオキシメトリや連続ガス分析などの技術革新により、従来の手動による低流量麻酔は安全になりましたが、それでもなお専門知識と継続的な注意が求められます [6, 7]。自動化された低流量麻酔向けソフトウェアを追加することで、キャリアガスの流量と揮発性麻酔薬の投与量を最適化し、目的の混合ガスを正確に供給しながら、消費量を最小限に抑えることが可能になりました [8, 9]。例えば、Flow-i 麻酔システム (Getinge, Goteborg, Sweden) のAGC (Automated Gas Control: 自動ガスコントロール) 機能です。これにより、麻酔科医は、選択した揮発性麻酔薬の呼気終末濃度に達するまでの時間を1(遅い)から8(速い)までの数値スケールにて速度として適切に設定することができます。AGCのアルゴリズムは、患者の酸素消費量に応じてFGFを徐々に最小に下げ、環境的および経済的なメリットをもたらします [10, 11]。自動化されたソフトウェアは、低流量～極低流量麻酔中に頻繁な手動による設定調整が不要となり、呼気麻酔薬濃度と吸気酸素濃度(FiO<sub>2</sub>)の安定性が最優先されます [12]。一酸化炭素中毒などの稀な状況を除き、極低流量麻酔を行うのに禁忌はありません [6]。さらに、極低流量でCO<sub>2</sub>アブソーバの消耗が増えてコストが増加しても、揮発性麻酔薬の節約によるコストを上回ることはありません [13]。この研究は、従来の低流量麻酔 (FGF固定: 2 L/分) と、AGCソフトウェアバージョン 4.7 (V 4.7) におけるセボフルラン消費量の比較を目的としています。

# 方法

施設での倫理承認 (MMS.2021.004) の後、デジタル麻酔記録システム (ICCA, Philips, Amsterdam, Netherlands) のデータが分析されました。この記録には、気道確保や薬剤投与などの麻酔介入に加え、15 秒間隔の術中データが全て含まれています。全ての Flow-i 麻酔システムには AGC (V 4.4 または V 4.7) が搭載されていました。Flow-i が示すセボフルランの累積消費量は、0.1 mL の精度で自動的に記録されます。

2019/10/01 以降の全症例のデータを評価し、以下の各グループのうち、クライテリアを満たした 25 症例を抽出し分析しました。AGC V 4.4 (速度 6)、AGC V 4.7 (速度 2)、および FGF 固定: 2 L/分 (2LFGF)。AGC では、FGF は自動的に 300 mL/分の最小 FGF 設定まで低下しました。全てのケースで、80% の  $F_iO_2$  と 2% の  $Et_{sevo}$  を目標にしました。45 分後のセボフルランの累積消費量が主要アウトカムでした。

## データの登録と分析

すべての麻酔データは抽出された後、分析のために Microsoft Excel 2010 (Microsoft, Redmond, USA) にインポートされました。消費量データの正規分布を仮定すると、45 分後の AGC と極低流量の平均差は 1 mL であると考えられました (パイロットデータに基づく推定 SD は 1.1 mL でした)。この差を  $\alpha$ -error: 0.05、検出力: 0.95 で検出するために、各グループで合計 25 の記録が必要でした [14]。Kolmogorov-Smirnov 検定で正規性を検定しました。連続データは平均値 (SD) として表されます。統計分析と可視化のため、換気開始後  $Et_{sevo}$  が 0.2% を超えた時点 (T0) で個々の記録を同期させました。セボフルランを少なくとも 55 分間以上投与した記録を分析に含めました。

各グループを包括的に比較するために、平均値を Figs. 1、2、3 に示しています。ある分におけるセボフルラン消費量 ( $R_m$ , mL/hour で表示) を、今後 1 分間の累積消費量の増加として計算しました。 $R_m = (C_{(m+1)} - C_m) * 60$ 。5 分、15 分、30 分、45 分後に、分析した変数の平均値 (SD) を測定し、グループ間差の判定には ANOVA と Unpaired T 検定を使用しました。有意水準は  $P < 0.05$  としました。



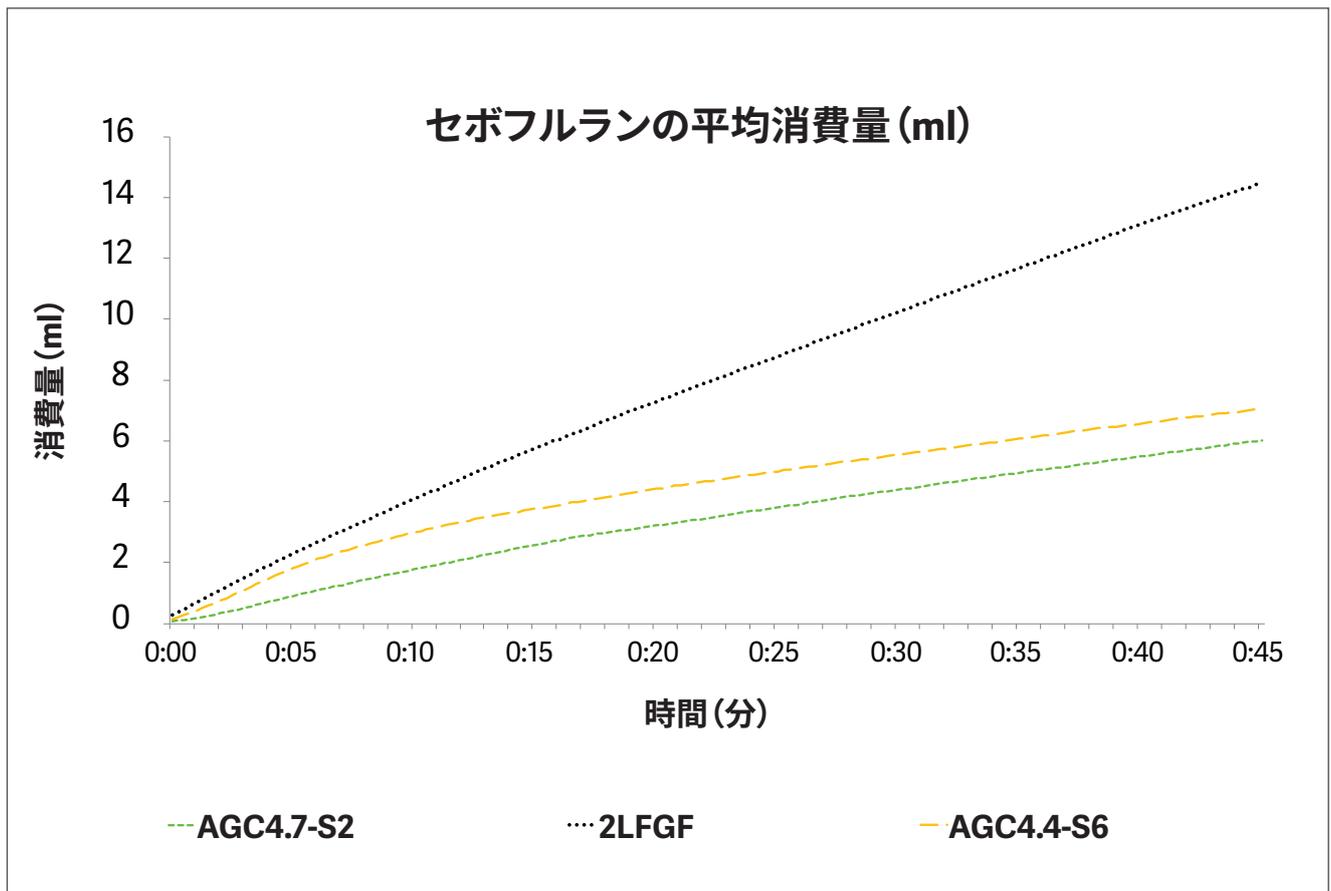


Figure 1: Flow-i 麻酔システムの異なる投与モードにおける平均セボフルラン累積消費量。AGC V4.4 アルゴリズムによる速度設定 6、より新しい AGC V4.7 アルゴリズムによる速度設定 2、FGF 固定: 2 L/分 (2L FGF)

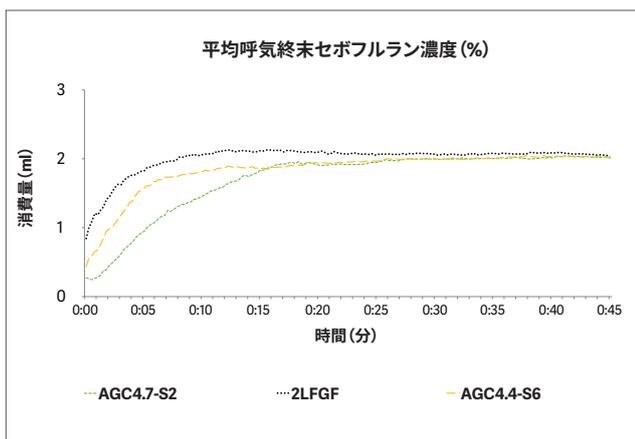


Figure 2: Flow-i 麻酔システムの異なる投与モードにおける平均呼気終末セボフルラン濃度。AGC V4.4 アルゴリズム: 速度設定 6、より新しい AGC V4.7 アルゴリズム: 速度設定 2、FGF 固定: 2 L/分 (2L FGF)

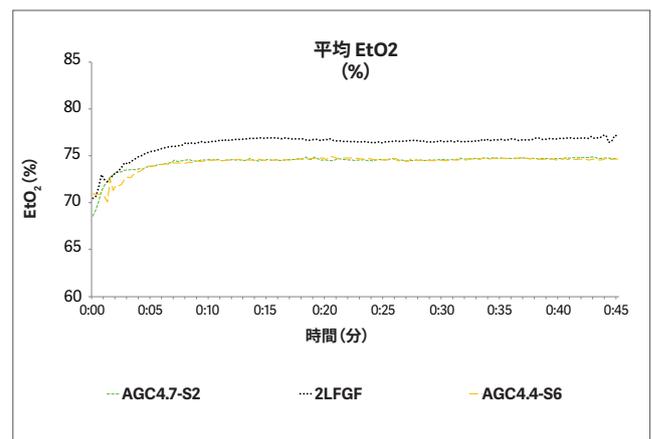


Figure 3: Flow-i 麻酔システムの異なる投与モードにおける平均呼気終末 O<sub>2</sub> 濃度。AGC V4.4 アルゴリズムによる速度設定 6、より新しい AGC V4.7 アルゴリズムによる速度設定 2、FGF 固定: 2 L/分 (2L FGF)

# 結果

5分、15分、30分、45分における各グループの患者の特徴、および累積消費量をTable 1に示します。Figures 1、2、および3は、各グループにおけるセボフルラン累積消費量 (mL)、平均  $Et_{sevo}$  (%)、平均  $EtO_2$  濃度 (%) を示しています。2L-FGFグループは45分間にわたってセボフルランの消費量は高いままであるが、AGCグループでは3分後に有意に低下することがわかりました。2L-FGF群を除くすべてのグループにおいて、初期の消費速度に大きな差があるものの、10分後には同程度の消費速度になることが確認されました。より新しいアルゴリズム (AGC V4.7) を用いた場合のセボフルラン消費量は、当初は古いアルゴリズム (AGC V4.4) と比べても同程度であったが、その後、目標を維持するためのセボフルラン消費量は新しいアルゴリズムにおいて有意に少なく ( $P = 0.027$ ) になりました。

» Cumulative volatile anesthetic consumption – and therefore pollution – can be significantly reduced by using AGC, compared to the traditionally called “low flow” anesthesia. «

Table 1: 患者の特徴と累積消費量:

	AGC <sub>4.7</sub> 速度 2	AGC <sub>4.4</sub> 速度 6	2LFGF	P 値
年齢	51 (16)	55 (18)	59 (15)	0.444
体重	80 (22)	82 (21)	72 (12)	0.310
性別 (男性 / 女性)	14/11	11/14	14/11	
<b>累積消費量</b>				
5分時点	0.9 (0.2)*	1.8 (0.4)*	2.3 (0.3)*	< 0.001
15分時点	2.6 (0.3)*	3.8 (0.9)*	5.8 (0.6)*	< 0.001
30分時点	4.4 (0.7)	5.5 (1.2)*	10.2 (0.8)*	< 0.001
45分時点	6.0 (1.2)	7.1 (1.4)*	14.5 (1.2)*	< 0.001

異なるグループにおける平均値 (SD): 年齢、体重、セボフルラン累積消費量と、性別 (男性 / 女性)。各グループに25名の患者が含まれる。

\* 隣接する列間に有意な差。

# 議論

科学者には、破滅的な何らかの脅威がある場合、人類に明確に警告する道徳的な義務があります。圧倒的な証拠に裏付けられたこの根拠に基づいて、Scientific Americanは、私たちは気候の緊急事態の中で生存していると宣言しました [15]。気候変動の悪影響は予想以上に深刻で、生物圏と人類の両方を脅かしているため、温室効果ガスの排出を削減するためにあらゆる努力を払わなければなりません。この呼びかけはますます大きな反響を呼んでいます。多くの麻酔科医は、毎日の選択がどの程度影響するのか、また、低流量～極低流量麻酔による管理が、麻酔深度に対応する呼気終末濃度を損なうことなく環境への影響を劇的に軽減することができることを、十分に認識していません。

揮発性麻酔薬は臨床にて投与された後、二酸化炭素の吸収剤を通して再使用することができます。フレッシュガス流量が低い場合、排気システムへ流れるガスの量が少なくなり、結果として呼吸システムに流れるセボフルランも少なくなります。CO<sub>2</sub> 吸収剤の消費量の増加が見られますが、全体的なコストの上でマイナスの影響を与えることはありません [13]。ここ数十年の間に CO<sub>2</sub> 吸収剤が改良されたことにより、低流量麻酔における Compound A の産生やヒトへの毒性は、もはや懸念事項ではありません [16, 17]。また、CO 中毒などの希な状態を除けば、最小限のフレッシュガス流量を避ける理由もありません [6]。しかし、より低いフレッシュガス流量では吸収剤の消費量が増加し、その製造と廃棄に伴う汚染も増加するでしょう。プラスチック容器やソーダライムは埋め立てても生態毒性はありませんが、製造や焼却の際に多くの CO<sub>2</sub> が排出されるからです。

大型のソーダライム容器には、ソーダライム 1,200 g とプラスチック 200 g が含まれており、その製造と焼却により、セボフルラン 2.4 mL に相当する約 1.3 kg の CO<sub>2</sub> が排出されます [5, 18,

19]。驚くべきことに、平均的な患者 1 人の麻酔開始後 12 分間に、AGC 速度設定 2 の代わりに 2 L/分のフレッシュガス流量を使用した場合のセボフルランの過剰消費は、大型のソーダライム容器の製造と焼却に起因する汚染に匹敵します。

我々の結果によると、従来「低流量」(FGF固定: 2 L/分)と呼ばれていた麻酔と比較して、揮発性麻酔薬の累積消費量、ひいては汚染を大幅に削減できることが確認されました。

麻酔薬の目標濃度に早く到達することが重要な場合が多いですが、ほとんどの臨床例では、挿管後、導入量のプロポフォールが強い鎮静効果を発揮するため、患者への刺激が少ない時



間が発生します。そのため、 $Et_{sev}$  を速やかに 2% にすることは、多量の鎮静剤を投与することになり血行動態に悪影響を及ぼし、さらに不要なコストと汚染をもたらすことになります。

Figure 1 より、セボフルラン消費量は、2L-FGF グループで他の全グループと比較して最も多いことがわかります。Figure 3 は、AGC のアルゴリズムにおいて、呼気  $O_2$  ( $EtO_2$ ) も安定化させることを示しています。 $EtO_2$  を安定させるために必要な FGF が高くなると、セボフルランの消費量は幾分多くなる可能性があります。以上より、AGC 使用時の目標  $F_iO_2$  が低ければ、揮発性麻酔薬の消費量が少なくなることが示唆されました。

AGC ソフトウェアの最初のバージョンに関するレポートと比較すると、継続的な改善傾向が着実に表れています。Carette らは、バージョン 4.0 の速度 2 および速度 6 において、30 分後のセボフルラン累積消費量はそれぞれ 5.0 mL と 7.0 mL であったと報告しています [9]。同じ速度設定の場合の我々の結果は、30 分後にそれぞれ 4.4 mL、4.9 mL の消費量でした。この

ことは、最新のソフトウェアに更新するだけで、年間 2,500 mL のセボフルランと 1,326 kg の  $CO_2$  に相当する排出量を削減できることを示しています。同様に、FGF 固定: 2 L/分での従来の「低流量」麻酔は、AGC 速度 2 と比較して 240% の消費になるため、自動ガスコントロール機能を持たない施設は、より最新の機器に投資することが奨励されます。FGF 固定: 2 L/分を AGC に切り替えるだけで、250日/年、8時間/日の稼働の場合、1台あたり年間17,000 mLのセボフルランと 9 トンの  $CO_2$ 、コストを約 6,000 € 節約できます。AGCソフトウェアの価格は約 5,000 € (現地価格) ですから、この投資は 1 年以内に回収できることになります。もし、まったく新しい麻酔システムが必要な場合、最新のソフトウェアを含めても 45,000 € (現地価格) の購入費用を 8 年足らずで回収することができるのです。さらに、通常 2 L/分より高い FGF を設定することが多ければ、購入費用は明らかに早く回収されるでしょう。同様に、麻酔科医がこの新しい技術を意識して最大限に活用できるよう、トレーニングや意識改革に適切な投資を行うことは、経済的・環境的利益を最大化するために非常に有益であると考えられます。社会的なレベルでは、 $CO_2$  の社会的コストも考慮することが適切です。人為的な気候変動は、熱ストレスによる過剰な死亡率をもたらします。この死亡コストは、モデル仮定によると排出された  $CO_2$  換算トンあたり 37 \$ から 258 \$ と推定されます [20]。このため、FGF 固定: 2L/分と AGC 間の気候変動に起因する社会的コストの差は、セボフルランを使用した場合、麻酔システム 1 台あたり年間で 337 \$ から 2,353 \$ になります [3, 20]。

» minimal adjustments in daily practice can dramatically reduce the environmental impact of anesthesia «

» AGC improved stability and arguably additionally improves safety, and should therefore be advocated also from a clinical perspective. «

Flow-i による手動の低流量～極低流量麻酔管理の実施は信頼できるものですが、AGC 機能を使用した際の  $Et_{sevo}$  の安定性は、気化器やフレッシュガス流量の調整が不要なため、格段に優れています。AGC は麻酔科医の利便性を高めるのみならず、安定性に優れ、とても安全な管理を実現するため、臨床的な観点からも推奨されるべきものです。なお、最初の数分間に関してのみ、手動にて最小限の流量を使用することで薬剤消費量をさらに抑えることができますが、これはソフトウェア開発者に対するメッセージであると考えています。臨床上的推奨としては、AGC モードを常に計画的に使用することを推奨します。

薬物動態に着目した他の研究と比較すると、我々の研究では目標値の90%に到達するスピードがソフトウェアバージョン 4.0 よりも若干速いことも注目に値します。Carette らは、速度 2 および 6 で、それぞれ 15 分後および 6 分後に目標の 90% に到達したことを示しました。我々はバージョン 4.7 にて、同じ速度設定において、それぞれ 13 分 45 秒後および 5 分後に目標の 90% に到達したことを確認しました [9]。同様に De Medts らは、デスフルランを使用した場合、それぞれ 16 分後および 6 分 45 秒後に目標の 90% に到達したと報告しています [21]。

この研究の最も重要なリミテーションは、そのレトロスペクティブな特性です。全ての患者において 2% の呼気終末麻酔薬濃度を目標にしましたが、結果に影響を与える可能性のあるいくつかのバイアスは除外できません。しかしながら、個々の曲線を分析すると、消費量は信頼できるものであり、患者の特徴を分析すると (Table 1)、各グループの患者は同等であることがわかります。次に、データ記録時点では、AGC 機能の FGF の最小

を 0.3 L/分に設定していましたが、最小を 0.1 L/分に設定することも可能で、AGC の経済性をさらに高められると思われます。第 3 に、施設のプロトコルにより、AGC では常に 80% の  $F_iO_2$  が使用されました。しかし、最近のコンセンサスがとれた推奨では  $F_iO_2$  を 40% 以上とすることが規定されており、これによりフレッシュガス流量が減少し、AGC の最初の数分間の消費量が減少する可能性があります [22]。

それでもなお、この結果は、将来のソフトウェアバージョンアップによって、さらなる改善をもたらす可能性があることを示しています。第 4 に、グループ間の比較を正確に行うために、本研究は麻酔導入後に目標濃度を設定し、その後は調整をしなかった症例に限定しました。AGC の設定によって、目標濃度を頻繁に変更すると、消費量にさまざまな影響を与えることが予想されます。第 5 に、温室効果ガスの放出に関する計算について、製造方法にもよるが、セボフルランの工業的製造過程における廃棄物の放出が、使用時に放出される  $CO_2$  相当量の約 10% であるため、最終的な影響として約 10% 悪化します [23]。最後に、この研究では  $N_2O$  放出量の削減について、環境保護の観点から病院での  $N_2O$  の使用はすでに廃止しているため、本研究では調査しておりません。

## 結論

AGC 機能の導入は、経済的かつ環境的に大幅な節約につながります。AGC の使用は、FGF: 2 L/ 分の従来の「低流量麻酔」と比較しても、はるかに効率的です。AGC の優れた安定性は、麻酔医の関与を最小限に抑えることができるため、麻酔薬を浪費することなく作業負担を低減、患者の安全性の面でも大きな利点があります。自動ガスコントロール機能の導入により、麻酔薬の消費量を安全かつ容易に 50% 削減できます。このテクノロジーによって、麻酔システム 1 台あたり年間 5,000 € 以上の経済的節約、セボフルラン使用時は CO<sub>2</sub> 排出量 11 トン相当を削減します。

AGC の導入により得られる経済的な節約分は、最新の麻酔システムの導入に必要な資金を十分に賄うことができます。このような経済的な考察は、地域によって異なるかもしれませんが。なぜなら、誰が薬代を払うのか、誰が医療設備を払うのか、ビジネスモデルやプロセスが異なる可能性があるからです。しかし、病院や社会のレベルにおいては、自動化システムに対する投資は十分に回収可能であることは明らかです。患者は同じレベルの麻酔を安全に受けることができ、社会的にも生態系にとってもより低いコストで済むことが強調されるべきです。また、この結果は、優れた安定性とさらなる効率向上、特に導入の Wash-in 期において、AGC アルゴリズムに大幅な改善の余地があることも実証しています。今回の結果から、歴史的に「低流量麻酔」と呼ばれていた麻酔管理は中止すべきであり、全ての麻酔システムをできるだけ早くアップグレードして、自動ガスコントロールシステムによるガス供給の恩恵を得るのが望ましいと明らかになりました。

» On an ecological level, it should be emphasized that the patient receives the same level of anaesthesia, with even increased safety, but with a lower cost for both society and the biosphere. «



## 参考文献

1. Charlesworth M, Swinton F. Anaesthetic gases, climate change, and sustainable practice. *Lancet Planet Health*. 2017;1(6):e216–7. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30040-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30040-2).
2. Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Berger S, Caud N, Chen Y, Goldfarb L, Gomis MI, Huang M, Leitzell K, Lonnoy E, Matthews JBR, Maycock TK, Waterfield T, Yelekçi O, Yu R, Zhou B (eds.). IPCC, 2021: summary for policymakers. In: climate change 2021: the physical science basis. contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press. In Press.
3. Ryan SM, Nielsen CJ. Global warming potential of inhaled anesthetics: application to clinical use. *Anesth Analg*. 2010;111:92–8. <https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e3181e058d7>.
4. Van Norman GA, Jackson S. The anesthesiologist and global climate change: an ethical obligation to act. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2020;33(4):577–83. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000000887>.
5. Laster MJ, Fang Z, Eger EI 2nd. Specific gravities of desflurane, enflurane, halothane, isoflurane, and sevoflurane. *Anesth Analg*. 1994;78(6):1152–3. <https://doi.org/10.1213/00000539-199406000-00022>.
6. Brattwall M, Warrén-Stomberg M, Hesselvik F, Jakobsson J. Brief review: theory and practice of minimal fresh gas flow anesthesia. *Can J Anaesth*. 2012;59(8):785–97. <https://doi.org/10.1007/s12630-012-9736-2>.
7. Ghijssels I, De Cooman S, Carette R, Peyton P, De Wolf A, Hendrickx J. Performance of an active inspired hypoxic guard. *J Clin Monit Comput*. 2016;30:63–8. <https://doi.org/10.1007/s10877-015-9684-9>.
8. Struys M, Kalmar A, De Baerdemaeker L, Mortier E, Rolly G, Manigel J, et al. Time course of inhaled anaesthetic drug delivery using a new multifunctional closed-circuit anaesthesia ventilator. In vitro comparison with a classical anaesthesia machine. *Br J Anaesth*. 2005;94:306–17. <https://doi.org/10.1093/bja/aei051>.
9. Carette R, De Wolf A, Hendrickx J. Automated gas control with the Maquet FLOW-i. *J Clin Monit Comput*. 2016;30:341–6. <https://doi.org/10.1007/s10877-015-9723-6>.
10. Moran P, Barr D, Holmes C. Saving sevoflurane: automated gas control can reduce consumption of anesthetic vapor by one third in pediatric anesthesia. *Pediatr Anesth*. 2019;29:310–4. <https://doi.org/10.1111/pan.13587>.
11. Suttner S, Boldt J. Low-flow anaesthesia. Does it have potential pharmacoeconomic consequences? *Pharmacoeconomics*. 2000;17(6):585–90. <https://doi.org/10.2165/00019053-200017060-00004>.
12. Lucangelo U, Garufi G, Marras E, Ferluga M, Turchet F, Bernabè F, Comuzzi L, Berlot G, Zin WA. End-tidal versus manually-controlled low-flow anaesthesia. *J Clin Monit Comput*. 2014;28(2):117–21. <https://doi.org/10.1007/s10877-013-9516-8>.
13. Feldman JM, Hendrickx J, Kennedy RR. Carbon dioxide absorption during inhalation anesthesia: a modern practice. *Anesth Analg*. 2021;132(4):993–1002. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000005137>.
14. Faul F, Erdfelder E, Buchner A, Lang AG. Statistical power analyses using G\*Power 3.1: tests for correlation and regression analyses. *Behav Res Methods*. 2009;41(4):1149–60. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>.
15. Ripple WJ, Wolf C, Newsome TM, Barnard P, Moomaw WR. World scientists' warning of a climate emergency. *Bioscience*. 2020;70(1):8–12. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz088>.
16. Kennedy R, Hendrickx J, Feldman J. There are no dragons: lowflow anaesthesia with sevoflurane is safe. *Anaesth Intensive Care*. 2019;47(3):223–5. <https://doi.org/10.1177/0310057X19843304>.
17. Kharasch E, Frink E, Zager R, Bowdle T, Artru A, Nogami W. Assessment of low-flow sevoflurane and isoflurane effects on renal function using sensitive markers of tubular toxicity. *Anesthesiology*. 1997;86:1238–53. <https://doi.org/10.1097/00000542-199706000-00004>.
18. Gradus RHJM, Nillesen PHL, Dijkgraaf E, Van Koppen RJ. A cost-effectiveness analysis for incineration or recycling of dutch household plastic waste. *Ecol Econ*. 2017;135:22–8. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.12.021>.
19. Climate change 2007: Working Group III: mitigation of climate change. [https://archi.ve.ipcc.ch/publi/catio/ns\\_and\\_data/ar4/wg3/en/ch7s7-4-5-2.html](https://archi.ve.ipcc.ch/publi/catio/ns_and_data/ar4/wg3/en/ch7s7-4-5-2.html). Accessed 23 Dec 2021
20. Bressler RD. The mortality cost of carbon. *Nat Commun*. 2021;12(1):4467. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24487-w>.
21. De Medts R, Carette R, De Wolf AM, Hendrickx JFA. Desflurane usage during anesthesia with and without N<sub>2</sub>O using FLOW-i automatic gas control with three different wash-in speeds. *J Clin Monit Comput*. 2018;32(4):763–9. <https://doi.org/10.1007/s10877-017-0031-1>.
22. De Cooman S, De Mey N, Dewulf BB, Carette R, Deloof T, Sosnowski M, De Wolf AM, Hendrickx JF. Desflurane consumption during automated closed-circuit delivery is higher than when a conventional anesthesia machine is used with a simple vaporizer-O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>O fresh gas flow sequence. *BMC Anesthesiol*. 2008;17(8):4. <https://doi.org/10.1186/1471-2253-8-4>.
23. Young CC, Harris EM, Vacchiano C, Bodnar S, Bukowy B, Elliott RRD, Migliarese J, Ragains C, Trethewey B, Woodward A, Gama de Abreu M, Girard M, Futier E, Mulier JP, Pelosi P, Sprung J. Lung-protective ventilation for the surgical patient: international expert panel-based consensus recommendations. *Br J Anaesth*. 2019;123(6):898–913. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.08.017>.
24. Sherman J, Le C, Lamers V, Eckelman M. Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. *Anesth Analg*. 2012;114(5):1086–90. <https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e31824f6940>.

本レポート中の見解・主張は執筆者である医師本人のものであり、必ずしもゲティンゲの見解を代弁するものではありません。またゲティンゲは執筆者に対して報酬の支払等を行っておりません。



Getinge 独自の AGC テクノロジーの詳細については [www.getinge.com/](http://www.getinge.com/) をご覧ください。



販売名: FLOW-i 麻酔システム  
医療機器承認番号: 22400BZX00385000

# GETINGE

Getingeは、すべての人と地域社会が最善のケアを受け得ることを願い、病院やライフサイエンス関連施設に、臨床結果の向上と最適なワークフローの実現を適える製品・ソリューションを提供しています。その領域は、集中治療、心臓血管手術、手術室、滅菌再生処理、ライフサイエンスといった多様な領域にわたります。Getingeは、世界で10,000人以上の従業員を擁し、製品・ソリューションは135か国以上の国で使用されています。

**ゲティンゲグループ・ジャパン株式会社**  
**アキュート・ケア・セラピー事業部**

〒140-0002 東京都品川区東品川2-2-8 スフィアタワー天王洲 23F  
TEL: 03-5463-8316 FAX: 03-5463-6856  
第一種医療機器製造販売業許可番号 13B1X00176

[www.getinge.com/jp](http://www.getinge.com/jp)

※本カタログは翻訳版です。  
内容は原文が優先されます。  
MCV-BRO-MX-8556 Rev01-JP