




Consommation de sévoflurane en mode manuel vs contrôle automatique des gaz



**La technologie AGC
permet une réduction
de la consommation des
agents anesthésiques
jusqu'à 58 %**

Consommation de sévoflurane en mode manuel vs contrôle automatique des gaz



Minimizing sevoflurane wastage by sensible use of automated gas control technology in the Flow-i workstation: an economic and ecological assessment

Alain F. Kalmar^{1,2} · Nicky Van Der Vekens³ · Frédéric De Rydt^{3,5} · Silvie Allaert³ · Marc Van De Velde^{4,5} · Jan Mulier^{1,2,6}

Résumé

Tant les considérations écologiques qu'économiques recommandent de minimiser le gaspillage d'agents anesthésiques volatils. Pour concilier les enjeux opposés apparents entre les préoccupations écologiques/économiques et la stabilité de l'administration d'agents anesthésiques, les ventilateurs actuels sont équipés d'un logiciel automatisé qui optimise en permanence le débit de gaz frais (DGF). Cette technologie permet d'obtenir de manière fiable le mélange gazeux demandé avec un minimum de déchets anesthésiques volatils. L'objectif de cette étude est d'analyser la cinétique et la consommation de différentes manières d'administrer le sévoflurane avec un même objectif de 2 % en fin d'expiration chez tous les patients. Ces schémas de consommation du Flow-i ont été étudiés rétrospectivement avec, dans tous les cas, une concentration cible en sévoflurane en fin d'expiration (Et_{sevo}) de 2 %. 25 cas ont été inclus dans l'analyse pour chaque réglage. Avec l'AGC (Contrôle Automatique

des Gaz) V4.4, un réglage de vitesse à 6 a été observé; avec le logiciel AGC V4.7, des réglages de vitesse à 2 ont été observés ainsi qu'un autre groupe avec un DGF fixe à 2 l/min. Les résultats en 45 min : une moyenne de 14,5 ml a été consommée dans le groupe 2L DGF, 7,1 ml dans le groupe V4.4 et 6.0 ml dans le groupe V4.7. Ainsi, l'algorithme AGC v4.7 plus récent était plus efficace que l'ancien algorithme AGC v4.4.

Cette étude indique que la technologie AGC offre des avantages économiques et écologiques, associés à une stabilité et à une facilité, par rapport aux réglages de DGF conventionnels et devrait donc être privilégiée. La pratique clinique courante utilisant ce que nous appelons « l'anesthésie à bas débit » (par ex. 2 l/min de DGF) doit être abandonnée. Tous les appareils d'anesthésie doivent être mis à niveau dès que possible avec une technologie d'administration automatique des gaz afin de minimiser la pollution atmosphérique liée aux anesthésiques volatils.

(1) Département d'anesthésiologie, de réanimation et de soins intensifs, AZ Sint Jan Brugge-Oostende, Bruges, Belgique. (2) Département d'anesthésie, Université de Gand, Gand, Belgique. (3) Département d'anesthésie et de médecine de réanimation, Maria Middelaers Hospital, Gand, Belgique. (4) Département des sciences cardiovasculaires, KULeuven, Louvain, Belgique. (5) Département d'anesthésiologie, UZLeuven, Louvain, Belgique. (6) Département d'anesthésiologie, KULeuven - Université de Louvain, Louvain, Belgique



Introduction

Les anesthésiques volatils sont des hypnotiques largement utilisés aux propriétés pharmacologiques attractives. Cependant, un inconvénient majeur est que ces gaz finissent par être rejetés dans l'atmosphère contribuant de manière significative à l'effet de serre. Les émissions mondiales d'agents anesthésiques volatils fluorés s'élevaient à trois millions de tonnes de CO₂ en 2014 [1]. Alors que l'urgence climatique devient de plus en plus apparente, menaçant de décimer des écosystèmes complets et de déclencher de vastes urgences médicales et sociétales [2], il est du devoir de chacun d'entre nous de minimiser notre impact écologique personnel. Compte tenu de la forte capacité de réchauffement climatique des anesthésiques volatils, les anesthésistes ont une grande responsabilité à cet égard [3]. Des choix simples faits par l'anesthésiste peuvent réduire l'impact climatique sans impacter négativement la qualité des soins. Dans la mesure où les anesthésiques volatils sont souhaitables, une compréhension minimale de leurs effets climatiques indique que les étapes les plus importantes doivent être de choisir l'agent volatil et le gaz porteur avec soin et d'utiliser de manière optimale la technologie moderne pour minimiser le débit de gaz frais [4]. Outre les avantages environnementaux, la réduction du gaspillage d'agents anesthésiques volatils peut permettre de réaliser d'importantes économies.

« Tous les appareils d'anesthésie doivent être mis à niveau dès que possible avec une technologie d'administration automatique afin de minimiser la pollution atmosphérique par des agents anesthésiques volatils ».

En raison des complexités de la physique et de la chimie atmosphériques, qui sont décrites en détail ailleurs, le sévoflurane a un effet de réchauffement global 349 fois inférieur à celui du CO₂ [3]. Étant donné que les agents anesthésiques volatils sont largement utilisés et souvent en continu dans les blocs opératoires, cette consommation totale dans les environnements conventionnels à faible débit peut facilement s'élever à 40 l de sévoflurane par ventilateur d'anesthésie et par an. Cela représente un coût financier bien supérieur à 16 000 € par an d'agents anesthésiques volatils et un équivalent en gaz à effet de serre de 21 tonnes de CO₂ pour le sévoflurane [3, 5]. Ainsi, une réduction des agents anesthésiques volatils entraînerait des économies – couvrant le coût supplémentaire des équipements modernes – et une réduction de la pollution atmosphérique. À titre de référence, un vol aller-retour Bruxelles-New York en classe économique entraîne 2 tonnes d'émissions de CO₂ par personne.

Alors que les innovations technologiques, telles que l'oxymétrie de pouls et l'analyse continue des gaz, ont rendu l'anesthésie à débit minimal conventionnelle sûre, elle exige toujours une expertise et une attention continue [6, 7]. L'ajout d'un logiciel automatisé à faible débit permet enfin d'optimiser les débits de gaz vecteur et l'administration d'agents volatils afin de garantir avec précision l'administration du mélange gazeux souhaité tout en minimisant les déchets [8, 9]. Le système d'anesthésie Flow-i (Getinge, Goteborg, Suède), par exemple, peut être fourni avec l'AGC. Cela permet à l'anesthésiste de régler la vitesse appropriée [sur une échelle numérique de 1 (lent) à 8 (rapide)] pour atteindre les concentrations en fin d'expiration sélectionnées d'agent anesthésique volatil. L'algorithme AGC réduit progressivement le DGF à un débit minimal en fonction de la consommation d'oxygène du patient, ce qui entraîne des avantages environnementaux et économiques. [10, 11] Le logiciel automatisé élimine les réglages manuels fréquents pendant l'anesthésie à débit minimal et optimise la stabilité des anesthésiques administrés et de la fraction d'oxygène inspiratoire (F_iO₂) [12]. À l'exception de situations rares, telles qu'une intoxication au monoxyde de carbone, il n'existe aucune contre-indication à la réalisation d'une anesthésie à débit minimal [6]. En outre, l'augmentation du coût due à une consommation élevée d'absorbant de CO₂ à débit minimal ne l'emporte pas sur les agents anesthésiques volatils économisés [13]. L'étude actuelle vise à comparer le taux de consommation de sévoflurane dans l'anesthésie à bas débit conventionnelle (DGF 2 l/min) avec les versions 4.4 et 4.7 de l'AGC.

Méthodes

Après approbation éthique de l'établissement (MMS.2021.004), les données du système (ICCA, Philips, Amsterdam, Pays-Bas) ont été analysées. Ces dossiers comprennent toutes les données peropératoires à 15 s d'intervalle, en plus de toute intervention anesthésique telle que les voies aériennes utilisées et les médicaments administrés. Tous les postes de travail Flow-i étaient équipés de la version 4.4 ou 4.7 de l'AGC. La quantité cumulée de sévoflurane consommée rapportée par le Flow-i est automatiquement enregistrée avec une précision de 0,1 ml.

Toutes les données après le 01/10/2019 ont été évaluées et les 25 premiers cas dans chacun des groupes, répondant aux critères d'inclusion, ont été extraits et analysés : groupe AGC version 4.4 à la vitesse 6 ; groupe AGC version 4.7 à la vitesse 2 ou groupe débit fixe de gaz frais de 2 l/min (DGF 2 l/min). Dans les groupes AGC, le DGF a été automatiquement réduit à un débit minimal de 300 ml/min. Dans tous les cas, une F_{iO_2} de 80 % et une cible Et_{Sevo} de 2 % ont été recherchées. Le principal critère d'évaluation était la consommation cumulée de sévoflurane après 45 minutes.

Enregistrement et analyse des données

Toutes les données anesthésiques ont été extraites puis importées dans Microsoft Excel 2010 (Microsoft, Redmond, États-Unis) pour analyse. En supposant une distribution normale des données de consommation, nous avons considéré qu'une différence moyenne de 1 ml après 45 min entre l'AGC et le débit minimal était pertinente (ET estimé à 1,1 ml, d'après les données pilotes). Pour détecter cette différence avec un α -erreur de 0,05 et une puissance de 0,95, il a été nécessaire d'avoir 25 enregistrements dans chaque groupe [14]. La normalité a été testée avec le test de Kolmogorov-Smirnov. Les données continues sont exprimées en moyenne (ET). Pour l'analyse statistique et la visualisation, les enregistrements individuels ont été synchronisés au moment (T0) après l'initiation de la ventilation que l' Et_{Sevo} a dépassé 0,2 %. Des enregistrements avec au moins 55 min d'administration de sévoflurane ont été inclus dans l'analyse.



Pour une comparaison complète des différents groupes, les valeurs moyennes ont été indiquées dans les figures. 1, 2, 3. Le taux de consommation de sévoflurane à une certaine minute (R_m , exprimé en ml/heure) a été calculé comme l'augmentation de la consommation cumulée au cours de la minute suivante : $R_m = [C(m+1) - C_m] * 60$. Les valeurs moyennes (ET) des variables analysées ont été déterminées à 5, 15, 30 et 45 min. L'analyse de la variance suivie d'un test T non apparié a été utilisée pour déterminer les différences entre les groupes. La signification a été réglée sur $P < 0,05$.

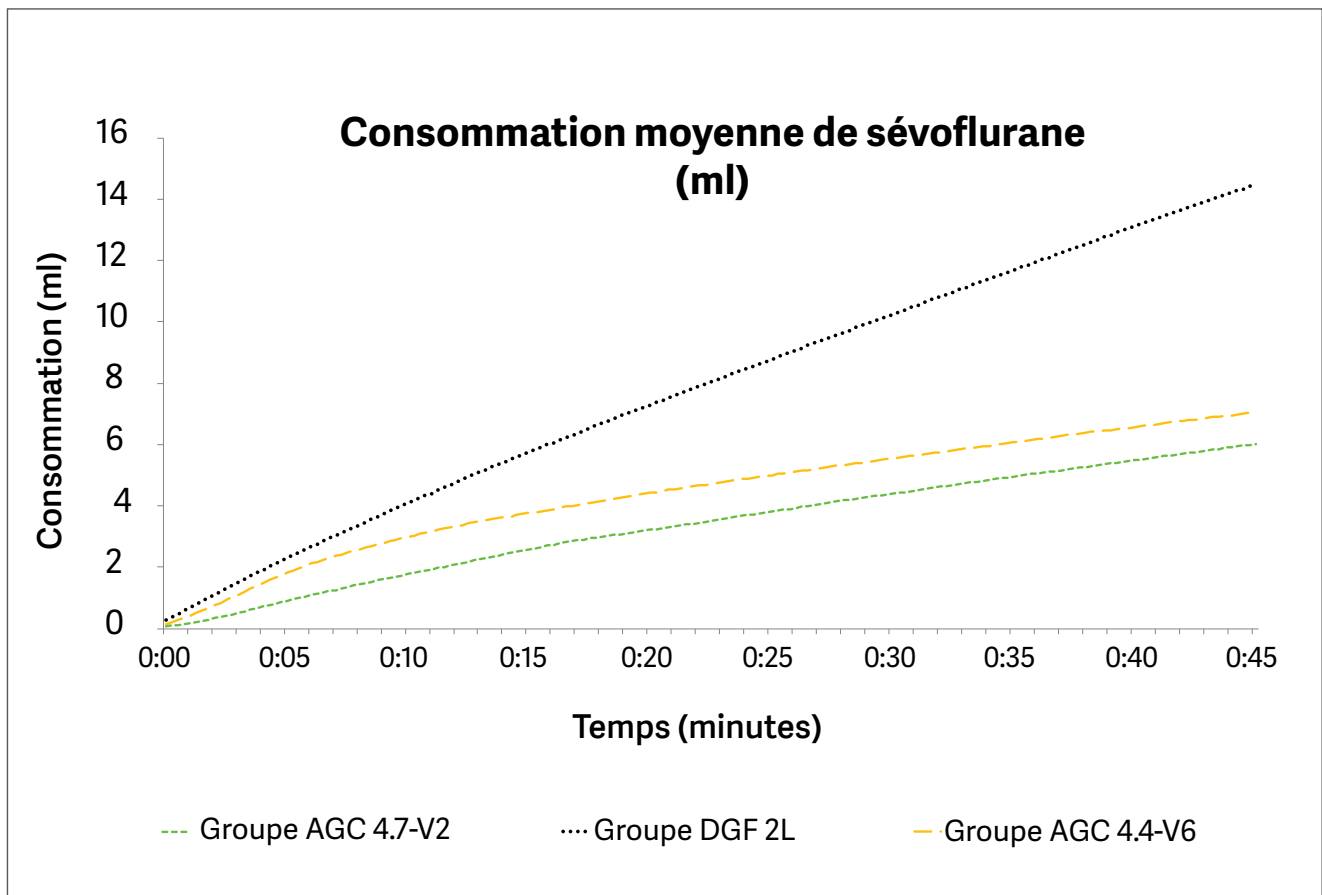


Figure 1 : Consommation cumulée moyenne de sévoflurane dans différents modes d'administration de sévoflurane avec le respirateur Flow-i. AGC vitesse 6 avec l'algorithme AGC4.4, AGC vitesse 2 avec le nouvel algorithme AGC4.7 et DGF constant de 2 l/min (DGF 2 l/min)

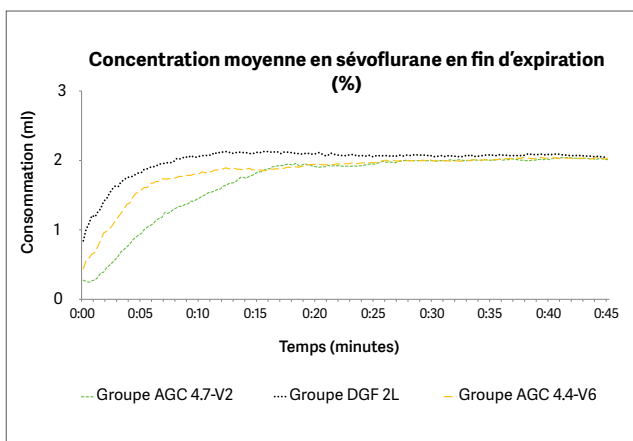


Figure 2 : Concentration moyenne en sévoflurane en fin d'expiration dans différents modes d'administration de sévoflurane avec le respirateur Flow-i. AGC vitesse 6 avec l'algorithme AGC4.4, AGC vitesse 2 avec le nouvel algorithme AGC4.7 et DGF constant de 2 l/min (DGF de 2 l).

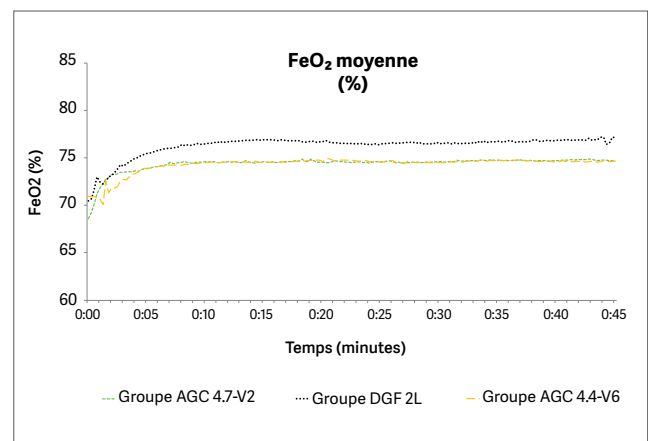


Figure 3 : Concentration moyenne d'O₂ en fin d'expiration dans différents modes d'administration de sévoflurane avec le respirateur Flow-i. AGC vitesse 6 avec l'algorithme AGC4.4, AGC vitesse 2 avec le nouvel algorithme AGC4.7 et DGF constant de 2 l/min (DGF de 2 l).

Résultats

Les caractéristiques des patients et la consommation cumulée de chaque groupe à 5, 15, 30 et 45 min sont indiquées dans le tableau 1. Les figures 1, 2 et 3 montrent la consommation cumulée de sévoflurane (ml), la concentration moyenne d'Et_{sevo} (%) et la concentration expiratoire d'O₂ (%) dans chaque groupe, respectivement. Dans le groupe DGF 2L, le taux de consommation de sévoflurane reste élevé pendant toute la durée des 45 minutes, tandis que dans les groupes AGC, il y a une baisse significative après trois minutes. Dans tous les groupes, à l'exception du groupe DGF 2L, bien que les taux de consommation initiale varient considérablement, au bout de 10 minutes, le taux de consommation devient comparable. La consommation de sévoflurane avec le nouvel algorithme AGC 4.7 était initialement égale à celle de l'ancien algorithme – AGC 4.4 – mais par la suite, le nouvel algorithme consommait significativement (P = 0,027) moins de sévoflurane pour maintenir sa cible.

« La consommation cumulée d'agents anesthésiques volatils – et donc la pollution – peut être réduite en utilisant l'AGC, par rapport à l'anesthésie traditionnellement appelée « débit faible ».

Tableau 1 : Caractéristiques du patient et consommation cumulée :

	AGC _{4.7} vitesse 2	AGC _{4.4} vitesse 6	DGF 2L	Valeur P
Âge	51(16)	55(18)	59(15)	0,444
Poids	80(22)	82(21)	72(12)	0,310
Sexe (H/F)	14/11	11/14	14/11	
Consommation cumulée				
À 5 min	0,9 (0,2)*	1,8 (0,4)*	2,3 (0,3)*	<0,001
À 15 min	2,6 (0,3)*	3,8 (0,9)*	5,8 (0,6)*	<0,001
À 30 min	4,4 (0,7)	5,5 (1,2)*	10,2 (0,8)*	<0,001
À 45 min	6,0 (1,2)	7,1 (1,4)*	14,5 (1,2)*	<0,001

Moyenne (ET) âge, poids et consommation cumulée de sévoflurane, répartition hommes/femmes dans les différents groupes. 25 patients ont été inclus dans chaque groupe

*Différence significative entre les colonnes adjacentes

Discussion

Scientific American, étayée par de nombreuses preuves, a déclaré que nous vivons dans une situation d'urgence climatique [15]. Les effets néfastes du changement climatique étant beaucoup plus graves que prévu et menaçant désormais la biosphère comme l'humanité, aucun effort ne doit être ménagé pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Bien que cet appel résonne de plus en plus fort, de nombreux anesthésistes sont insuffisamment conscients de l'impact de leurs choix quotidiens. Dans la pratique quotidienne, des modifications minimales peuvent réduire l'impact environnemental de l'anesthésie, sans compromettre la concentration en fin d'expiration de l'agent anesthésique correspondant à la profondeur de l'anesthésie.

Après l'administration initiale, les agents anesthésiques volatils peuvent être réutilisés après leur passage dans l'absorbeur de dioxyde de carbone. Lorsqu'un faible débit de gaz frais est administré, moins de gaz sera évacué vers le système d'échappement et, par conséquent, moins de sévoflurane doit être ajouté dans le système respiratoire. Une augmentation de la consommation d'absorbants de CO_2 est observée, qui n'a pas cependant d'impact négatif sur la dépense globale [13]. Avec les formulations modifiées des absorbants de CO_2 actuels au cours des dernières décennies, la formation du composé A et la toxicité chez l'homme lors de faibles débits ne sont plus un problème [16, 17] et, en dehors de conditions rares telles que l'intoxication au monoxyde de carbone, il n'existe aucune raison d'éviter un débit de gaz minimal [6]. Néanmoins, à un DGF plus faible, la consommation d'absorbants augmentera, ce qui entraînera également une pollution associée à leur production et à leur destruction. Même si l'emballage en plastique et la chaux sodée ne sont pas écotoxiques lorsqu'ils sont mis en décharge, une quantité de CO_2 est libérée pendant la production et l'incinération.

Un grand réservoir de chaux sodée contient 1 200 g de chaux sodée et 200 g de plastique, dont la production et l'incinération entraînent des émissions de CO_2 d'environ 1,3 kg, ce qui correspond à 2,4 ml de sévoflurane [5, 18, 19]. On peut constater que la pollution due à l'excès de consommation de sévoflurane (DGF 2 l/min) au cours des 12 premières minutes d'anesthésie chez un seul patient équivaut à la pollution liée à la production et à l'incinération d'un grand bocal de chaux sodée.

Nos résultats confirment que la consommation cumulée d'agents anesthésiques volatils – et donc la pollution – peut être réduite en utilisant l'AGC, même par rapport à l'anesthésie traditionnellement appelée « débit faible » (DGF 2 l/min).



Bien qu'il soit souvent important d'atteindre rapidement cette concentration cible, dans la plupart des cas cliniques, une période de stimulation minimale du patient se produit après l'intubation tandis que la dose d'induction de propofol fournit toujours un effet hypnotique fort. Ainsi, atteindre rapidement un Et_{sevo} de 2 % entraînerait dans la plupart des cas une dose inutilement élevée d'hypnotiques souvent avec des effets hémodynamiques défavorables, en plus de la consommation inutile et de la pollution.

La figure 1 montre que la consommation de sévoflurane est la plus élevée dans le groupe DGF 2L, par rapport à tous les autres groupes. La figure 3 montre qu'en mode AGC, l'algorithme parvient à stabiliser l' O_2 expiratoire (FeO_2). Le DGF plus élevé requis pour stabiliser la FeO_2 a probablement entraîné une consommation un peu plus élevée de sévoflurane. Cette observation suggère qu'une cible inférieure de F_iO_2 lors de l'utilisation de l'AGC entraînera une consommation réduite d'agents anesthésiques volatils.

« Des ajustements minimes dans la pratique quotidienne peuvent réduire l'impact environnemental de l'anesthésie »

La comparaison avec les études sur la première version du logiciel AGC montre une tendance constante d'amélioration. Carette et al. ont rapporté pour la version 4.0 à des vitesses 2 et 6 une consommation cumulée après 30 min de 5,0 ml et 7,0 ml de sévoflurane, respectivement [9]. Nos résultats pour les mêmes paramètres de vitesse indiquent une consommation de 4,4 ml et 4,9 ml après 30 min. Cela souligne que même une mise à jour de la version logicielle la plus récente entraîne facilement des économies annuelles de 2 500 ml de sévoflurane et un équivalent de 1 326 kg de CO_2 en émissions. De même, l'anesthésie « à débit faible » conventionnelle à un DGF de 2 l/min entraîne une consommation de 240 % par rapport à la vitesse 2 de l'AGC. Les établissements qui ne disposent pas de technologie d'administration automatisée de gaz devraient être encouragés à investir dans des équipements plus modernes. En remplaçant simplement le DGF habituel de 2 l/min par l'AGC avec la mise en œuvre 250 jours ouvrables/an, 8 h/jour entraînerait des économies annuelles de 17 000 ml de sévoflurane pour chaque machine, soit 9 tonnes de CO_2 et un coût d'environ 6 000 €. Comme le logiciel AGC coûte environ 5 000 €, cet investissement serait rentabilisé en moins d'un an. Si de nouveaux postes de travail sont nécessaires, un prix d'achat, incluant le logiciel le plus avancé, estimé à 45 000 €, est amorti en moins de 8 ans. Si un DGF supérieur à 2 l/min est fréquemment appliqué, le prix d'achat est évidemment amorti beaucoup plus rapidement. Il convient également de prendre en compte le coût social du CO_2 : étant donné que le changement climatique entraînera une mortalité excessive due au stress thermique, ce coût est estimé entre 37 \$ et 258 \$ par tonne d'équivalents CO_2 émis, en fonction des hypothèses du modèle [20]. Cette différence de coût sociétal résultant du changement climatique entre le DGF

« L'AGC a amélioré la stabilité et doit donc être préconisé d'un point de vue clinique. »

2l/min et l'AGC est estimée à un montant annuel entre 337 \$ et 2353 \$ pour l'utilisation de sévoflurane sur un poste de travail [3, 20].

Bien que la pratique de l'anesthésie manuelle à débit minimal avec le Flow-i soit fiable, la stabilité de l' Et_{sevo} lors de l'utilisation de la technologie AGC est nettement meilleure sans qu'il soit nécessaire d'ajuster les réglages du vaporisateur ou du débit de gaz frais. Outre une facilité pour l'anesthésiste, l'AGC a amélioré la stabilité et doit donc être préconisé également d'un point de vue clinique.

Par rapport à d'autres études axées sur la pharmacocinétique, il convient de noter que la vitesse établie dans nos résultats pour atteindre 90 % de la cible est légèrement plus élevée par rapport à la version logicielle 4.0. Carette et al. ont montré que 90 % de l'objectif était atteint à la vitesse 2 et 6 après 15 et 6 minutes, respectivement. Dans nos observations de la version 4.7, nous avons atteint 90 % de l'objectif avec les mêmes paramètres de vitesse après 13min45 et 05min, respectivement [9]. De même, De Medts et al. ont signalé que lors de l'utilisation du desflurane, 90 % de l'objectif a été atteint après 16min et 6min45 [21].

La limite la plus importante de cette étude est sa nature rétrospective. Alors que chez tous les patients, une concentration en fin d'expiration de 2 % a été recherchée, certains biais susceptibles d'affecter les résultats ne peuvent pas être exclus. Néanmoins, l'analyse des courbes individuelles suggère des taux de consommation fiables et l'analyse des caractéristiques des patients (Tableau 1) indique des patients comparables dans chaque groupe. Deuxièmement, au moment des enregistrements de données, le logiciel a été réglé sur un DGF au plus bas en mode AGC de 0,3 l/min, tout en permettant également de prédéfinir une limite inférieure de 0,1 l/min, ce qui améliorerait probablement davantage les économies

réalisées grâce à l'AGC. Troisièmement, selon le protocole des établissements, une F_iO_2 de 80 % a toujours été utilisée en AGC. Cependant, les récentes recommandations consensuelles prescrivent une $F_iO_2 \geq 40 \%$, ce qui peut réduire le débit de gaz frais, diminuant ainsi la consommation dans les premières minutes en AGC [22].

Néanmoins, nos résultats démontrent que de nouvelles mises à niveau logicielles pourraient apporter d'autres améliorations. Quatrièmement, pour permettre une comparaison correcte entre les groupes, cette analyse a été limitée aux cas où la concentration cible a été fixée après l'induction de l'anesthésie et n'a pas été ajustée par la suite. Nous pouvons nous attendre à ce que des changements fréquents de la concentration cible pendant la procédure aient une influence variable sur les chiffres de consommation dans les différents réglages AGC. Cinquièmement, en ce qui concerne les calculs sur les émissions de gaz à effet de serre, l'impact final est inférieur d'environ 10 %, car les émissions de déchets pendant la fabrication industrielle du sévoflurane libèrent environ 10 % d'équivalents de CO_2 qui sont libérés pendant l'utilisation, en fonction des méthodes de production [23]. Enfin, la réduction potentielle des émissions de N_2O n'a pas été examinée dans cette étude, car l'utilisation de N_2O dans l'hôpital était déjà supprimée il y a des années pour des raisons écologiques.

Conclusion

La mise en œuvre de la technologie AGC permet de réaliser d'importantes réductions sur les plans économique et environnemental. Même comparé à l'« anesthésie à débit faible » conventionnelle de 2 l/min de DGF, l'AGC est beaucoup plus efficace. La stabilité de l'AGC nécessitant une intervention minimale de l'opérateur représente un avantage pour l'AGC en termes de réduction des déchets, de charge de travail et de sécurité des patients. La mise en œuvre de la technologie de contrôle automatique des gaz permet de réduire les déchets anesthésiques de 50 %. Cette technologie permettrait donc d'économiser plus de 5 000 € chaque année par machine et l'équivalent de 11 tonnes d'émissions de CO₂ avec l'utilisation de sévoflurane.

Les économies financières résultant de la mise en œuvre de l'AGC dans la plupart des cas suffisent à financer l'installation de postes de travail d'anesthésie avancés. Ces considérations financières peuvent varier en fonction des pays, car différents modèles et processus commerciaux peuvent être utilisés pour déterminer qui paie les médicaments par rapport à l'équipement technique. L'investissement dans des systèmes automatisés porte ses fruits au niveau de l'hôpital ou de la société : sur le plan écologique, il convient de souligner que le patient reçoit le même niveau d'anesthésie, mais de manière plus sûre et à un coût inférieur à la fois pour la société et pour la biosphère. Nos résultats démontrent également qu'il peut encore y avoir une marge d'amélioration significative des algorithmes AGC pour faire correspondre la stabilité à une efficacité encore améliorée, en particulier au début de

« Sur le plan écologique, il convient de souligner que le patient reçoit le même niveau d'anesthésie, mais de manière plus sûre et à un coût inférieur à la fois pour la société et pour la biosphère. »

la période de rinçage. Nos résultats montrent que (même) ce que nous appelons historiquement « l'anesthésie à débit faible » doit être abandonnée et que tous les postes de travail d'anesthésie doivent être mis à niveau dès que possible afin de bénéficier de l'administration automatisée des gaz.



Références

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 : a ethics 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. Consulté le 23 décembre 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 N₂O 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-O₂-N₂O 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>.

Les vues, opinions et affirmations exprimées reflètent uniquement les vues, opinions et affirmations des cliniciens interrogés et ne reflètent ou ne représentent pas nécessairement les vues de Getinge AB ou de Maquet Critical Care AB.

Le clinicien contributeur n'a pas été rémunéré ou indemnisé par Getinge AB ou Maquet Critical Care AB.

Mentions légales :

Flow-i- Système d'assistance respiratoire destiné à être utilisé pour administrer des halogénés tout en contrôlant la ventilation des patients qui ne peuvent pas respirer ainsi que pour aider les patients qui ont une capacité limitée à respirer. Il s'agit d'un dispositif médical de classe IIb, CE0123. Produit fabriqué par Maquet Critical Care AB, Suède. Pour un bon usage, veuillez lire attentivement toutes les instructions figurant dans la notice d'utilisation du produit.

PUB-2023-0401-A, version de mai 2023



Getinge est un fournisseur mondial de solutions innovantes pour les blocs opératoires, les unités de soins intensifs, les services de stérilisation et pour les entités en lien avec les sciences de la vie. Grâce à notre connaissance du marché et à des partenariats étroits avec des experts cliniques, des professionnels de la santé et des spécialistes de l'industrie médicale, nous améliorons la vie quotidienne des personnes, aujourd'hui comme demain.

Les déclarations du médecin ne sont le reflet que de son opinion personnelle et n'expriment pas nécessairement l'avis de Getinge.

Getinge France - 23 Avenue Carnot - 91300 Massy

Trouvez votre représentant commercial Getinge local sur le site :

www.getinge.fr