




## Re-defining the 3R's (reduce, refine, and replace) of sustainability to minimize the environmental impact of inhalational anesthetic agents

Timur J.-P. Özelsel, MD, DESA  · Rakesh V. Sondekoppam, MBBS, MD · Vivian H. Y. Ip, MBChB, MRCP, MD · Ban C. H. Tsui, MD, MSC, FRCPC

Received: 25 July 2018 / Revised: 18 September 2018 / Accepted: 25 September 2018 / Published online: 17 December 2018  
© Canadian Anesthesiologists' Society 2018

“Can’t see the forest for the trees” aptly describes a conundrum the health sector is facing when it comes to environmental pollution. The World Health Organization (WHO) recognizes global warming as the number one threat to human health in the 21<sup>st</sup> century. Yet the healthcare industry is one of the major contributors of greenhouse gas (GHG) emissions and hence directly contributes to the healthcare burden.<sup>1</sup> The contribution of healthcare to atmospheric pollution is significant, as shown in a recent report on GHG emissions from Canada, which estimated the burden attributable to the health sector to be 4.6% of the national total, seeing a 10% increase between 2009 and 2014.<sup>1</sup> In the United States of America, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from the health sector have increased at a rate of 30% over the last decade.<sup>2</sup> Not accounted for in these estimations are anesthetic gases, since they are not mandatorily reportable. The impact of inhalational anesthesia on the environment was explored by different authors over the last decade. While it is now well established that all of our inhaled anesthetic agents are GHGs of varying potencies, solutions to minimize their environmental impact have not been clearly formulated. With this background, an update of the topic to the current

level of understanding and solutions to minimize the environmental impact are presented below.

### Metrics for measurement and comparison of GHG

Various metrics have been developed to compare the impact of different GHGs, among which global warming potential (GWP) has been adopted as the default metric.<sup>3</sup> Often referred to as carbon dioxide equivalents (CO<sub>2</sub>e), the GWP of a gas is a measure of the energy added to the climate system compared with that of CO<sub>2</sub>. It is calculated by integrating the energy addition over different timelines, with the commonly used values expressed over 20 and 100 years. That is, the GWP values indicate the effects of these emissions (e.g., temperature change) occurring at these times (20 or 100 years). Global warming potential<sub>100</sub> is used as a common metric in both politics and the scientific literature since it was adopted for the Kyoto Protocol.<sup>4</sup> The main GHG, CO<sub>2</sub>, is defined to have a GWP value of 1. The GWP values are regularly updated with the availability of new data with the most recent numbers coming from the Fifth Assessment Report (AR-5) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)—which have not been previously reported in anesthetic literature.<sup>5</sup> The updated atmospheric lifetimes for sevoflurane, desflurane, isoflurane, and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) and the GWP<sub>20</sub> values can be seen in the Table. For gases with very short atmospheric lifetimes, such as volatile anesthetics, IPCC offers the GWP<sub>20</sub>, which as a metric considers a more focused time frame and is used in all the following calculations and reflections.

---

T. J.-P. Özelsel, MD, DESA (✉) · R. V. Sondekoppam, MBBS, MD · V. H. Y. Ip, MBChB, MRCP, MD  
Department of Anesthesia and Pain Medicine, University of Alberta, 2-150 Clinical Sciences Building, 8440 112 St NW, Edmonton, AB T6G 2G3, Canada  
e-mail: Ozelsel@ualberta.ca

B. C. H. Tsui, MD, MSC, FRCPC  
Department of Anesthesiology, Perioperative, and Pain Medicine, Stanford University School of Medicine, Palo Alto, CA, USA

## The impact of inhalational anesthetic agents from everyday practice

Inhalational agents are used in different concentrations. In the Table, the use of such agents at a minimal fresh gas flow (FGF) of  $0.5 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  is assumed when calculating the use of agent per hour and the resulting  $\text{CO}_2\text{e}$ . With 1 L of gasoline contributing the effect of 2.3 kg of  $\text{CO}_2$ ,<sup>6</sup> the daily use of inhalational agent is calculated in context of driving a car. Assuming an average car has a fuel efficiency of 12  $\text{km}\cdot\text{L}^{-1}$  (28 mpg), then a seven-hour operating room (OR)-day use of volatile anesthetic at minimal FGF would produce the listed driving equivalents for the four inhalational agents. Higher FGF rates proportionately increase these numbers. Using desflurane at  $2 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  FGF for a seven-hour OR-day, for example, produces the  $\text{CO}_2$  equivalent of driving 10,216 km, which is more than the distance between St. John's (NL) and Inuvik (NT) (9,304 km by car).

Practice varies between anesthesiologists and institutions. However, it is increasingly recognized that anesthesia plays a significant role in the GHG burden created within the perioperative setting. A typical example was shown in a life-cycle assessment of hysterectomies.<sup>7</sup> Inhalational anesthetics contributed one-third of GHG emissions from robotic and laparoscopic hysterectomies, and two-thirds of GHG emissions in abdominal and vaginal hysterectomies. For the latter, inhalational anesthetic use contributed to 98% of the ozone depletion potential.

What is used and how it is used ultimately has a great impact on the environmental burden created, as shown in a recent report on the comparison of GHG impacts created within a Canadian, an American, and a British hospital.<sup>8</sup> In this report, desflurane was not used in the British hospital, which ultimately resulted in the impact secondary to volatile anesthesia to be only around 10% of the other two hospitals from Canada and the United States. Noteworthy is that  $\text{N}_2\text{O}$  use was negligible in all of the hospitals.

## Laughing gas is no laughing matter

In the discussion of the impact of inhalational agents,  $\text{N}_2\text{O}$  must be seen as a dark horse.  $\text{N}_2\text{O}$  has overtaken chlorofluorocarbons to become the third largest anthropogenic source of GHG in the AR-5 of the IPCC<sup>5</sup> and the most important ozone depleting substance since the worldwide ban on chlorofluorocarbons.<sup>9</sup> Since  $\text{N}_2\text{O}$  is relatively inexpensive, it stands to reason that particularly in less-resourced countries, the usage as an anesthetic agent as well as a carrier gas for oxygen and volatile anesthetic is prevalent and likely to be increasing. Looking at numbers from the National Health Service (NHS) in England, it is

estimated that the total  $\text{CO}_2\text{e}$  burden from inhalational anesthesia is 0.56 million tons; 0.48 million tons or around 85% are from  $\text{N}_2\text{O}$  alone.<sup>10</sup> The NHS estimates that  $\text{N}_2\text{O}$  is only used in 27% of cases requiring general anesthesia,<sup>11</sup> which is likely lower than the global average. So, the actual numbers regarding  $\text{N}_2\text{O}$  emission on a global scale could be much higher yet.  $\text{N}_2\text{O}$  must be given full consideration as a major source of the environmental footprint of anesthesia because of its dual nature of greenhouse effect and ozone depletion, and because of its long atmospheric life time of 121 years.

## Redefining the 3R's of sustainability

The mantra of sustainability is to Reduce, Reuse, and Recycle. We propose a modified 3R approach adapted to inhalational anesthetics of Reduce, Refine, and Replace.

Reducing is a first step. In Canada, anesthesiologists have anesthesia work stations capable of delivering closed-circuit ventilation at metabolic flow while most semi-closed-circuit systems can reliably and safely be run at minimal FGF. By reducing the FGF and hence the usage of anesthetic gases, the environmental burden is lessened and significant simultaneous cost savings are achieved.<sup>12</sup> The topic of compound A and recommended higher FGF rates when using sevoflurane will not be explored in detail. Sevoflurane has been and is used daily worldwide in all flow ranges with no report of human morbidity, and most countries abandoned strict flow recommendations in the 1990s. Modern day absorbents no longer produce any quantifiable levels of compound A,<sup>13</sup> which is why minimal FGF rates need to be recommended in combination with modern  $\text{CO}_2$  absorbents.

Refining the practice of releasing inhalational anesthetics into the atmosphere by recapturing them can be a next step. The life-cycle assessment of inhaled anesthetics shows that manufacturing and transportation account for only 5% of their GHG impact.<sup>14</sup> While anesthetic agent reclamation technology for reuse in humans is still in its beginning and not yet widely used, it presents a unique opportunity to reduce the environmental burden of volatile anesthetics by as much as 95%. Choice of inhalational agent also can play a very important role. A report from Vancouver showed how education within the department led to a substantial shift away from desflurane to sevoflurane, which over a five-year period led to a 66% reduction in GHG emissions.<sup>15</sup>

Replacement of inhaled anesthetics with other alternative modes of anesthesia should be actively considered when feasible. Regional anesthesia is an elegant modality to reduce or to avoid general anesthesia and can potentially play an important role in the

**Table** Environmental metrics for inhalational agents

| Agent            | Use per 1 MAC-hour [g] | GWP <sub>20</sub> | Lifetime | CO <sub>2</sub> e | Km per OR-day |
|------------------|------------------------|-------------------|----------|-------------------|---------------|
| Sevoflurane      | 5                      | 795               | 2.2      | 3975              | 145           |
| Isoflurane       | 2.75                   | 1800              | 3.5      | 4950              | 181           |
| Desflurane       | 12.6                   | 5550              | 10.8     | 69930             | 2554          |
| N <sub>2</sub> O | 36.3*                  | 264               | 121      | 9583              | 350           |

CO<sub>2</sub>e = carbon dioxide equivalent; Km = kilometers; Lifetime = atmospheric lifetime in years; MAC = minimal alveolar concentration per hour; N<sub>2</sub>O = nitrous oxide; OR-day = seven-hour workday in the operating room using 0.5 L·min<sup>-1</sup> of fresh gas flow

\*Calculated for 66 volume percent instead of 1 MAC

“greening” of anesthesia. The NHS reports a volume of 10.119 million surgeries for the financial year 2015–2016.<sup>16</sup> The 5th National Audit Project estimates that 77% of all patients receive general anesthesia and that 92% are inhalational anesthetics.<sup>11</sup> If conservatively assumed that the average CO<sub>2</sub>e per case was 100 kg, then a 10% conversion rate of general to regional anesthesia could already reduce around 0.07 million tons of CO<sub>2</sub>e for the NHS alone. It would seem that regional anesthesia is currently the anesthetic with the lowest environmental burden, although further studies are required to confirm this. Xenon is the only anesthetic gas or vapor which carries no GHG effect, but its procurement and usage is enormously expensive, making it a less affordable option currently. There is also currently no way to mass produce Xenon to the level needed for it to be an everyday anesthetic.<sup>17</sup>

The global volume of surgery has been increasing rapidly and the highest increase has been in countries with a low-resource setting.<sup>18</sup> If global healthcare accessibility is a fundamental human right, as demanded by the WHO, then sustainability needs to be its centerpiece. The triple bottom line—people, planet, profit—coined by John Elkington in 1994 should replace the single bottom line of profit of traditional accounting frameworks. The WHO has urged the healthcare system to embrace sustainability and to promote environmental consciousness in the general population. As healthcare practitioners today, we are faced with a growing awareness of our impact on the wider environment. By changing our way of thinking and corresponding practices, we can positively fulfill our desire to “do no harm” on a global scale. As succinctly put by Ryan and Sherman, “our patient is all of humanity. Accepting responsibility for environmental stewardship is putting patients first”.<sup>19</sup>

## Redéfinir les 3R (réduire, raffiner et remplacer) du développement durable pour minimiser l'impact sur l'environnement des agents anesthésiques inhalés

« Je ne peux pas voir la forêt à cause des arbres » décrit assez bien le dilemme du secteur médical face à la pollution de l'environnement. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) identifie le réchauffement de la planète comme étant la menace numéro un pour la santé humaine au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. Or, le secteur des soins de santé est l'un des principaux contributeurs aux émissions de gaz à effet de serre (GES) et contribue par conséquent directement au fardeau imposé aux soins de santé.<sup>1</sup> La contribution des soins de santé à la pollution atmosphérique est significative, comme le montre un récent rapport canadien sur les émissions de GES qui a estimé le poids attribuable au secteur de la santé à 4,6 % du total national, avec une augmentation de 10 % entre 2009 et 2014.<sup>1</sup> Aux États-Unis, les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) provenant du secteur de la santé ont augmenté à un rythme de 30 % au cours de la dernière décennie.<sup>2</sup> Ces estimations ne tiennent pas compte des gaz anesthésiques dans la mesure où ils ne sont pas à déclaration obligatoire. L'impact de l'anesthésie par agent d'inhalation sur l'environnement a été exploré par plusieurs auteurs au cours des dix dernières années. On sait maintenant avec certitude que tous nos agents anesthésiques inhalés sont à des GES à des degrés variables, mais aucune solution pour minimiser leur

**Tableau** Paramètres environnementaux des agents anesthésiques inhalés

| Agent            | Utilisation par 1 MAC-heure [g] | PRG <sub>20</sub> | Durée de vie | CO <sub>2e</sub> | Km par jour de salle d'opération |
|------------------|---------------------------------|-------------------|--------------|------------------|----------------------------------|
| Sévoflurane      | 5                               | 795               | 2,2          | 3 975            | 145                              |
| Isoflurane       | 2,75                            | 1 800             | 3,5          | 4 950            | 181                              |
| Desflurane       | 12,6                            | 5 550             | 10,8         | 69 930           | 2 554                            |
| N <sub>2</sub> O | 36,3*                           | 264               | 121          | 9 583            | 350                              |

CO<sub>2e</sub> = dioxyde de carbone équivalent; Km = kilomètres; Durée de vie = durée de vie dans l'atmosphère, en années; MAC = Concentration alvéolaire minimum par heure; N<sub>2</sub>O = protoxyde d'azote; Jour de salle d'opération = journée de travail de sept heures en salle d'opération utilisant un débit de gaz frais de 0,5 L·min<sup>-1</sup>

\*Calculé pour une concentration de 66 pour cent à la place de 1 MAC

impact environnemental n'a été clairement formulée. C'est dans ce contexte que nous présentons ci-dessous une actualisation de notre niveau de compréhension et des solutions visant à réduire leur impact sur l'environnement.

### Outils de mesure et de comparaison des GES

Divers paramètres ont été élaborés pour comparer l'impact des différents GES, notamment leur potentiel de réchauffement global (PRG) qui a été adopté comme outil de mesure par défaut.<sup>3</sup> Le PRG d'un gaz, auquel il est souvent fait référence sous forme d'équivalent de dioxyde de carbone (CO<sub>2e</sub>), est une mesure de l'énergie ajoutée au système climatique par rapport à celle du CO<sub>2</sub>. Il est calculé en intégrant l'ajout d'énergie pendant différentes périodes; les valeurs habituellement utilisées sont 20 et 100 ans. C'est-à-dire que les valeurs du PRG indiquent les effets de ces émissions (p. ex. le changement de la température) survenus sur ces périodes (20 ou 100 ans). Le potentiel de réchauffement global (PRG)<sub>100</sub> est couramment utilisé comme outil dans les publications politiques et scientifiques depuis son adoption pour le Protocole de Kyoto.<sup>4</sup> Le principal GES, le CO<sub>2</sub>, a une valeur de PRG de 1. Les valeurs de PRG sont régulièrement mises à jour au fur et à mesure de la disponibilité de nouvelles données avec l'arrivée des chiffres les plus récents provenant du cinquième rapport d'évaluation (AR-5) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) dont il n'avait pas été fait mention jusque là dans les publications anesthésiques.<sup>5</sup> Les durées de vie mises à jour dans l'atmosphère du sévoflurane, desflurane, isoflurane et protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) ainsi que les valeurs PRG<sub>20</sub> sont présentées dans le Tableau. Pour les gaz ayant de très courtes durées de vie dans l'atmosphère, comme les anesthésiques volatils, le GIEC propose le PRG<sub>20</sub> qui — en tant que paramètre — porte sur une durée plus courte et sera utilisé dans tous les calculs et réflexions qui vont suivre.

### L'impact des agents anesthésiques inhalés provenant de la pratique quotidienne

Les agents inhalés sont utilisés à des concentrations différentes. Dans le Tableau, l'utilisation de ces agents avec un débit de gaz (DGF) minimum de 0,5 L·min<sup>-1</sup> est supposé pour le calcul de l'utilisation horaire de l'agent et du CO<sub>2e</sub> qui en résulte. L'utilisation quotidienne des agents inhalés est calculée en comparaison avec la conduite d'un véhicule, sachant qu'un litre d'essence contribue pour 2,3 kg de CO<sub>2</sub>.<sup>6</sup> En supposant qu'une voiture de cylindrée moyenne a une efficacité énergétique de 12 km·L<sup>-1</sup> (28 mpg), sept heures d'utilisation quotidienne d'un anesthésique volatil au DGF minimum en salle d'opération produiraient les équivalents indiqués en conduite pour chacun des 4 agents inhalés. Des DGF plus élevés augmentent ces chiffres de façon proportionnelle. L'utilisation de desflurane à un DGF de 2 L·min<sup>-1</sup> pendant 7 heures par jour en salle d'opération produit par exemple l'équivalent d'une conduite sur 10 216 km, une distance supérieure à celle séparant St. John's (T.-N.-L.) d'Inuvik (NT) (9 304 km en voiture).

Les pratiques varient en fonction des anesthésiologistes et des établissements. Cependant, il est de plus en plus admis que l'anesthésie joue un rôle significatif dans le poids des GES créés dans le cadre périopératoire. Un exemple typique a été fourni dans l'évaluation du cycle de vie des hystérectomies.<sup>7</sup> Les anesthésiques inhalés ont contribué pour un tiers aux GES émis pendant des hystérectomies robotisées et laparoscopiques et pour deux tiers des GES émis pendant les hystérectomies par voies abdominale et vaginale. Dans le dernier cas, l'utilisation d'anesthésique inhalé a contribué pour 98 % au potentiel de déplétion ozonique (PDO).

Ce qui est utilisé et la façon dont c'est utilisé ont finalement une grande répercussion sur le fardeau créé pour l'environnement, comme l'a montré un rapport récent comparant l'impact des GES créés par un hôpital canadien, un hôpital américain et un hôpital britannique.<sup>8</sup> Dans ce rapport, le desflurane n'était pas utilisé par l'hôpital

britannique, ce qui a eu pour conséquence que l'impact attribué aux anesthésiques volatils n'était que d'environ 10 % de celui des deux autres hôpitaux (Canada et États-Unis). Il est bon de noter que l'utilisation de N<sub>2</sub>O fût négligeable dans chacun de ces trois hôpitaux.

### Le gaz hilarant n'est pas un sujet risible

Dans la discussion sur l'impact des agents inhalés, le N<sub>2</sub>O doit être vu comme une quantité non négligeable. Le N<sub>2</sub>O a dépassé les chlorofluorocarbones pour devenir la troisième plus grande source de GES produite par l'homme dans l'AR-5 du GIEC<sup>5</sup> et la plus importante substance destructrice d'ozone (SDO) depuis l'interdiction mondiale des chlorofluorocarbones.<sup>9</sup> Dans la mesure où le N<sub>2</sub>O est relativement peu coûteux, on comprend aisément que dans des pays - en particulier ceux ayant le moins de ressources — l'utilisation d'un agent anesthésique et d'un gaz porteur pour l'oxygène et les anesthésiques volatils soit prévalente et susceptible de se développer. En examinant des chiffres du National Health Service (NHS) britannique, on estime que le fardeau total en CO<sub>2</sub>e de l'anesthésie inhalée représente 0,56 million de tonnes; 0,48 million de tonnes (soit environ 85 %) proviennent du seul N<sub>2</sub>O.<sup>10</sup> Le NHS estime que le N<sub>2</sub>O n'est utilisé que dans 27 % des cas nécessitant une anesthésie générale,<sup>11</sup> ce qui est vraisemblablement inférieur à la moyenne mondiale. Donc, les chiffres réels concernant l'émission de N<sub>2</sub>O à l'échelon mondial pourraient être encore beaucoup plus élevés. On doit porter une grande attention au N<sub>2</sub>O comme source majeure d'empreinte environnementale de l'anesthésie en raison de sa double nature de gaz à effet de serre et de dépléteur de la couche d'ozone, et aussi parce que sa durée de vie dans l'atmosphère est de 121 ans.

### Redéfinir les 3R du développement durable

Le mantra du développement durable est Réduire, Réutiliser, et Recycler. Nous proposons une approche 3R modifiée, adaptée aux anesthésiques inhalés : Réduire, Raffiner et Remplacer.

La réduction est une première étape. Au Canada, les anesthésiologistes disposent de stations de travail d'anesthésie capables d'assurer une ventilation en circuit fermé à des débits métaboliques et la majorité des circuits semi-fermés peuvent fonctionner de manière fiable et sécuritaire avec un DGF minimum. En réduisant le DGF et donc l'utilisation des gaz anesthésiques, le fardeau environnemental est allégé et des économies significatives sont obtenues simultanément.<sup>12</sup> La problématique du Composé A et des DGF plus élevés

recommandés avec l'utilisation du sévoflurane ne seront pas explorés en détail. Le sévoflurane a été et est utilisé quotidiennement dans le monde entier à tous les débits et sans signalement de morbidité pour l'homme; la majorité des pays ont abandonné les recommandations de débits dans les années 1990. Les adsorbants modernes ne produisant plus de quantités mesurables de Composé A,<sup>1</sup> on peut donc recommander des taux de DGF minimums avec ces adsorbants de CO<sub>2</sub>.

Raffiner les pratiques de libération des anesthésiques inhalés dans l'atmosphère en les recaptant peut être l'étape suivante. L'évaluation du cycle de vie des anesthésiques inhalés montre que leur fabrication et transport ne représentent que 5 % de leur impact comme GES.<sup>14</sup> Bien que la technologie permettant la récupération des agents anesthésiques n'en soit qu'à ses débuts et ne soit pas encore beaucoup utilisée, elle présente une chance unique de réduire le poids environnemental des anesthésiques volatils de près de 95 %. Le choix de l'agent inhalé peut également jouer un rôle très important. Un rapport venant de Vancouver a montré comment l'éducation dans le département a entraîné un mouvement substantiel en faveur du sévoflurane aux dépens du desflurane, ce qui sur une période de 5 ans s'est traduit par une réduction de 66 % des émissions de GES.<sup>15</sup>

Le remplacement des anesthésiques inhalés par d'autres modes d'anesthésie doit être activement envisagé quand il est faisable. L'anesthésie régionale est une modalité élégante de réduction ou d'évitement des anesthésies générales et peut avoir une place importante pour rendre l'anesthésie « plus verte ». Le NHS indique avoir compté 10 119 millions d'interventions chirurgicales pendant l'exercice budgétaire 2015–2016.<sup>16</sup> Le 5<sup>e</sup> Projet d'audit national estime que 77 % de tous les patients reçoivent une anesthésie générale et qu'il s'agit d'anesthésiques inhalés dans 92 % des cas.<sup>11</sup> Si on estime avec prudence que le CO<sub>2</sub>e moyen par cas est de 100 kg, alors avec un taux de conversion de 10 % d'anesthésies générales en anesthésies régionales, on réduirait déjà d'environ 0,07 million de tonnes la masse de CO<sub>2</sub>e pour le seul NHS. Il semblerait que l'anesthésie régionale est actuellement la modalité anesthésique ayant la plus faible répercussion environnementale, encore que des études supplémentaires soient requises pour le confirmer. Le xénon est le seul gaz anesthésique ou seule vapeur dénuée d'effet de GES, mais son achat et son utilisation sont extrêmement coûteux, en faisant une option moins abordable actuellement. Il n'existe pas non plus de moyen de produire à ce jour les quantités de xénon nécessaires pour en faire un agent anesthésique comme les autres.<sup>17</sup>

Le volume global des chirurgies a augmenté rapidement et l'augmentation la plus forte provient de pays disposant de faibles ressources.<sup>18</sup> Si l'accès aux soins de santé dans le

monde est un droit humain fondamental, comme le réclame l'OMS, le développement durable doit alors être sa pièce maîtresse. L'expression du résultat final, triple, — les gens, la planète, le bénéfice — forgée par John Elkington en 1994 devrait remplacer le simple résultat net des profits des dispositifs comptables traditionnels. L'OMS a exhorté le système de soins de santé à adopter le développement durable et à promouvoir une conscience environnementale dans la population générale. En tant que prestataires de soins de santé aujourd'hui, nous sommes confrontés à une sensibilisation croissante de notre impact sur l'environnement au sens le plus large. En modifiant notre mode de réflexion et les pratiques correspondantes, nous pouvons combler positivement notre désir de « ne pas nuire » à l'échelle planétaire. Comme l'ont résumé Ryan et Sherman, « notre patient est toute l'humanité. En acceptant la responsabilité de la gérance de l'environnement, nous plaçons les patients en premier. »<sup>19</sup>

**Conflict of interest** None declared.

**Editorial responsibility** This submission was handled by Dr. Gregory L. Bryson, Deputy Editor-in-Chief, *Canadian Journal of Anesthesia*.

**Funding source** None.

**Conflit d'intérêts** Aucun déclaré.

**Responsabilité éditoriale** Cet article a été traité par le Dr Gregory L. Bryson, Rédacteur en chef adjoint, *Journal canadien d'anesthésie*.

**Source de financement** Aucune.

## References

1. Eckelman MJ, Sherman J, MacNeill AJ. Life cycle environmental emissions and health damages from the Canadian healthcare system: an economic-environmental-epidemiological analysis. *PLoS Med* 2018; 15: e1002623.
2. Eckelman MJ, Sherman J. Environmental impacts of the U.S. health care system and effects on public health. *PLoS One* 2016; 11: e0157014.
3. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press; 2014. Available from URL: <http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9781107415324> (accessed September 2018).
4. Shine KP. Climate effect of inhaled anaesthetics. *Br J Anaesth* 2010; 105: 731-3.
5. Stocker TF, Dahe Q, Plattner GK. Technical summary. In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, et al. (eds). *Climate Change 2013 - Physical Science Basis*. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental panel on climate change. NY: Cambridge University Press; 2013: 33-115.
6. Fahrni L, Rydin Y, Tunesi S, Maslin M. 'Travel Related Carbon Footprint: A Case Study Using the UCL Environment Institute' (UCL Environment Institute, London, 2009). UCL Environ Institute, London, 2009. Available from URL: <http://www.heritagescience.ac.uk/research/domains/environment/research/past-research-reports/travel-carbon-footprint> (accessed September 2018).
7. Thiel CL, Eckelman M, Guido R, et al. Environmental impacts of surgical procedures: life cycle assessment of hysterectomy in the United States. *Environ Sci Technol* 2015; 49: 1779-86.
8. MacNeill AJ, Lillywhite R, Brown CJ. The impact of surgery on global climate: a carbon footprinting study of operating theatres in three health systems. *Lancet Planet Health* 2017; 1: e381-8.
9. Ravishankara AR, Daniel JS, Portmann RW. Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *Science* 2009; 326: 123-5.
10. *Sustainable Development unit (NHS)*. Carbon Footprint from Anaesthetic gas use. Available from URL: [https://www.sduhealth.org.uk/documents/publications/Anaesthetic\\_gases\\_research\\_v1.pdf](https://www.sduhealth.org.uk/documents/publications/Anaesthetic_gases_research_v1.pdf) (accessed September 2018).
11. Sury MR, Palmer JH, Cook TM, Pandit JJ. The state of UK anaesthesia: a survey of National Health Service activity in 2013. *Br J Anaesth* 2014; 113: 575-84.
12. Özelsel T, Kim SH, Rashedi S, Tsui BC. A closed-circuit anesthesia ventilator facilitates significant reduction in sevoflurane consumption in clinical practice. *Can J Anesth* 2015; 62: 1348-9.
13. Yamakage M, Takahashi K, Takahashi M, Satoh JI, Namiki A. Performance of four carbon dioxide absorbents in experimental and clinical settings. *Anaesthesia* 2009; 64: 287-92.
14. Sherman J, Le C, Lamers V, Eckelman M. Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. *Anesth Analg* 2012; 114: 1086-90.
15. Alexander R, Poznikoff A, Malherbe S. Greenhouse gases: the choice of volatile anesthetic does matter. *Can J Anesth* 2018; 65: 221-2.
16. *NHS Confederation*. NHS statistics, facts and figures. Available from URL: <http://www.nhsconfed.org/resources/key-statistics-on-the-nhs> (accessed September 2018).
17. Rossaint R, Reyle-Hahn M, Schulte Am Esch J, et al. Multicenter randomized comparison of the efficacy and safety of xenon and isoflurane in patients undergoing elective surgery. *Anesthesiology* 2003; 98: 6-13.
18. Weiser TG, Haynes AB, Molina G, et al. Estimate of the global volume of surgery in 2012: an assessment supporting improved health outcomes. *Lancet* 2015; 385(Suppl 2): S11.
19. Ryan S, Sherman J. Sustainable anesthesia. *Anesth Analg* 2012; 114: 921-3.

**Publisher's Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.