# 從科學指標的爭議到臨床判斷的責任：麻醉科在永續醫療中的角色

文、表 / 洪明輝

臺大醫院麻醉部

## 前言：從一場尺度錯置的討論開始

近年來，永續醫療逐漸進入主流議題，而麻醉科因揮發性麻醉氣體本身即為一種高碳排放溫室氣體，被視為手術室中最能直接參與醫療減碳的專科之一[1]。然而，在臨床現場的討論裡，臺灣麻醉界卻形成兩股截然不同的聲音。一方面，臨床實務者與醫院永續推動者呼籲減少地氟醚(desflurane)的使用，主張其高碳排放與高耗量使其成為不必要的環境負擔[2,3]。另一方面，部分同儕則引用Slingo等氣候學者的一系列文章，強調揮發性麻醉氣體對全球暖化的「絕對影響」微乎其微，甚至遠遠小於自然氣候變異[4,5]。他們的論述核心在於：揮發性麻醉氣體在大氣中的存留時間約為10年，目前評估碳排放當量使用標準的百年全球暖化潛勢(global warming potential, $GWP_{100}$)並不是精準反映麻醉氣體真實暖化效應的工具；再者，麻醉氣體本身對全球地表輻射強迫的整體貢獻亦被認為極小，那麼麻醉科似乎沒有必要在這個議題上背負任何責任。

表面上，這種論點似乎建立在「科學事實」之上；然而，實際上它忽略了一個更重要的問題：氣候物理與臨床決策並不在同一個尺度上運作。氣候科學所關注的，是大氣層能量平衡與百年尺度的自然變異；臨床麻醉則面對完全不同的問題—如何在安全、有效的前提下，做出更節省資源與更負責任的醫療選擇。這是兩種不同層級的問題，若將其混為一談，便容易在臨床討論中產生誤解，也模糊了原本可行的永續麻醉方向[6]。

## GWP的限制並未抹除麻醉藥的差異

GWP的確不是完美的指標。它最初設計的目的，在於協助國際間的碳排放量換算，而非用來精準描述短生命期、低濃度氣體(如揮發性麻醉氣體)的實際氣候行為[4]。因此，若單純以百年尺度的$GWP_{100}$來評估麻醉氣體對全球暖化的「絕對影響」，從氣候物理的角度確實不夠嚴謹。

然而，這並不表示揮發性麻醉藥「彼此之間沒有重要差異」，也不表示「臨床使用上不需要在意選擇」。事實上，即使完全不使用GWP作為比較工具，目前臨床上主要使用的兩種揮發性麻醉氣體desflurane與七氟醚(sevoflurane)，其在多項與臨床操作無關的物理參數與麻醉基本效價上的差異，已彙整於表1[7]。例如，desflurane的大氣生命期長達14年，而sevoflurane約為1.4年；其輻射強迫(radiative forcing)顯著較高，表示在相同濃度下具有更強的熱吸收能力；此外，在達到相同麻醉深度時，desflurane所需的吸入濃度亦明顯高於sevoflurane。這些差異與GWP無關，純粹反映分子結構、環境影響與臨床使用行為。因此，否定GWP的適用性，並不等於否定揮發性麻醉藥之間的差異；真正重要的，是必須以正確的尺度來理解這些差異。

## 氣候學家的全球尺度vs麻醉醫師的臨床尺度

然而，即使承認這些差異，有些人仍會問：「既然影響全球暖化的程度極小，為什麼要特別避免desflurane？」這正是尺度問題的另一個面向。氣候學者所關注的是整體地球輻射平衡的變

表1 本表呈現desflurane與sevoflurane在多項與臨床操作無關之關鍵物理參數，以及其基本麻醉效價上的差異。可以看出，desflurane在達到相同麻醉深度時，所需的吸入濃度明顯高於sevoflurane，同時在大氣生命期、輻射強迫與目前大氣中實測濃度等指標上亦顯著較高。這些差異源自分子物理特性與藥理效價本身，並不隨臨床操作條件而改變。這些穩定且可預期的差異，支持在療效與安全性相當的前提下，優先選擇環境累積性較低的麻醉藥物

| 比較面向 | Desflurane (地氟醚) | Sevoflurane (七氟醚) |
|---|---|---|
| 大氣生命期 (Atmospheric lifetime, year) | 14.1 | 1.4 |
| 輻射強迫 (Radiative forcing, $W/m^2$) | 0.00017 | 0.00003 |
| 目前大氣中濃度 (Atmospheric concentration, ppt) | 0.37 | 0.16 |
| 臨床效價(成人) (Minimum alveolar concentration, vol%) | 6.0 | 2.0 |

化，而其背後的變異量遠高於任何麻醉氣體排放所造成的細微影響。這也是Slingo在文章中所強調的觀點[4]。

但臨床醫師面對的問題，並不是「這是否改變地球的命運」，而是「在兩種同樣安全且有效的麻醉藥中，哪一種更符合醫療資源的合理使用與永續價值？」換言之，麻醉醫師在永續議題上的決策重點，並非著眼於全球尺度的氣候模型，而是落在個人臨床實踐與醫院層級的選擇，亦即在臨床條件允許的前提下，優先採取那些較容易實現、且能帶來實際改善的做法。

事實上，在一個典型的大型醫療體系內，若能將desflurane的使用量從原本的常規使用降低，甚至逐步淘汰，對手術室碳排放的減量效果在院內層級往往相對明確[8]。相較之下，雖然減少揮發性麻醉氣體desflurane的使用對全球氣候變遷的影響有限，卻是臨床麻醉中最容易著手改善的面向，並能實質改變醫院內部的碳排放結構。

## 臨床可行性與醫院永續一兩者從未衝突

若永續麻醉只是抽象理念，它自然會在臨床場域遭遇阻力；但現況並非如此。「逐步淘汰desflurane」的行動計畫之所以能在英國、歐洲、北美的大型醫療系統推行，其關鍵主要來自於臨床可行性[9-11]。

過去，desflurane的優勢在於快速清醒。然而，隨著sevoflurane在低流量麻醉中的應用成熟，加上密閉迴圈技術與新一代麻醉機的進步，清醒速度的差距在現代麻醉流程中已大幅縮小。同時隨著整體麻醉策略的演進，兩者之間的臨床差異亦變得不易察覺[10]。

換言之，若有一項麻醉選擇：臨床效果差異極小、碳排放顯著較高、製造能耗更大、成本也較高，那麼在臨床判斷上，選擇更永續的方案，也自然成為一項合理的醫療選擇。這並非單純的環保口號，而是綜合考量成本效益、醫療品質與專業責任後的臨床決策。

需要補充說明的是，揮發性麻醉氣體的選擇，並非麻醉科在永續醫療中唯一可著力之處。近年來，多模麻醉的應用、低流量甚至極低流量氣體麻醉、精準麻醉深度監測，以及全靜脈麻醉的適當使用，皆已被證實有助於減少藥物消耗、促進術後恢復，並降低整體環境負擔[12,13]。這些作為並非相互排斥，而是可同時並行、彼此加成的永續麻醉策略。

本文之所以聚焦於desflurane與sevoflurane的選擇，並非低估上述作為的重要性，而是希望指出：在眾多永續措施之中，麻醉氣體的選擇是一項在不影響病人安全與麻醉品質的前提下，即可立即實踐、且差異穩定存在的決策點。當這類低門檻且具高可行性的行動能被普遍接受，反而更有助於擴展麻醉科在永續醫療中可扮演的整體角色。

## 永續麻醉不是象徵性行動，而是「專業的精準判斷」

當全球衛生組織逐漸認知到醫療部門碳排佔比已超過4%，麻醉科做出的每一個選擇都不再只是個人的喜好，而是醫療系統的一環[12]。在這

樣的情境下，永續麻醉並非額外負擔，而是專業判斷的自然延伸。

正如同感染控制不只是管制措施，而是良好醫療的一部分；麻醉的永續決策亦應被視為麻醉品質的一部分。我們不需要誇大揮發性麻醉藥對全球暖化的貢獻，也無須將desflurane的使用簡化為道德判斷。我們只需要承認醫療部門在氣候議題中的角色，並採取那些對病人沒有負面影響、對醫院有立即效益、對環境具正面影響的行動。

## 結語：用對尺度，看清本質，才能做出真正合宜的麻醉選擇

揮發性麻醉藥在全球暖化中的角色微小，這是氣候科學的共識[4]；但sevoflurane與desflurane在臨床與院內永續層面的差異巨大，這同樣是無可忽視的事實[13]。

因此，永續麻醉的本質不是誇大麻醉氣體的暖化能力，而是理解：在安全、有效的前提下，醫師可以選擇更節省資源、更具效益、同時對病人與環境皆最有利的麻醉選擇。這並非政治姿態，也不是道德綁架，而是一種科學態度下的臨床選擇。

我們或許無法靠麻醉選擇扭轉全球暖化，但我們能在自己的工作中做出具體而不痛苦的改善。這種「小而確實」的行動，正是永續醫療得以落實的力量所在。

## 參考資料

1. McGain F, Muret J, Lawson C, et al.: Environmental sustainability in anaesthesia and critical care. Br J Anaesth 2020; 125: 680-692.
2. Schwiethal A, Treskatsch S, Michael J, et al.: The power of education to reduce the carbon footprint of volatile anesthetics in clinical practice. Anesth Analg 2025; 141: 868-875.
3. Devlin-Hegedus JA, McGain F, Harris RD, et al.: Action guidance for addressing pollution from inhalational anaesthetics. Anaesthesia 2022; 77: 1023-1029.
4. Slingo JM, Slingo ME: The science of climate change and the effect of anaesthetic gas emissions. Anaesthesia 2024; 79: 252-260.
5. Marin L, Kleinberg RL: Climate change, emissions of volatile anesthetics, and policy making: The case of desflurane. Anesth Analg 2025; 141: 123-127.
6. Hung PY, Ren SH, Cheng SY, et al.: Beyond negligible impact: The case against desflurane in modern anesthesia practice. Anesth Analg 2025; 141: e26-e27.
7. Vollmer MK, Rhee TS, Rigby M, et al.: Modern inhalation anesthetics: Potent greenhouse gases in the global atmosphere. Geophys Res Lett 2015; 42: 1606-1611.
8. Seibold EL, Wachtendorf LJ, Needham MJ, et al.: Impact of desflurane removal from the operating room on carbon dioxide emissions at a tertiary academic medical centre: A retrospective cohort study. Br J Anaesth 2025; 135: 1635-1644.
9. Bracco D, Bozzer C: The effects of desflurane withdrawal from the hospital: A call for a national ban of desflurane. Can J Anaesth 2024; 71: 1778-1779.
10. Hendrickx JFA, Nielsen OJ, De Hert S, et al.: The science behind banning desflurane: A narrative review. Eur J Anaesthesiol 2022; 39: 818-824.
11. Rubsam ML, Kruse P, Dietzler Y, et al.: A call for immediate climate action in anesthesiology: Routine use of minimal or metabolic fresh gas flow reduces our ecological footprint. Can J Anaesth 2023; 70: 301-312.
12. White SM, Shelton CL, Gelb AW, et al.: Principles of environmentally-sustainable anaesthesia: A global consensus statement from the world federation of societies of anaesthesiologists. Anaesthesia 2022; 77: 201-212.
13. Chan KC, Cheng SY, Chang WJ, et al.: Trends in volatile anesthetic sevoflurane and desflurane usage and its impact on carbon emissions: A six-year audit at National Taiwan University Hospital (2018-2023). J Formos Med Assoc 2025; 124: 381-383.