



Expertní stanovisko výboru ČSARIM č. 3/2020

ENVIRONMENTÁLNÍ DOPADY INHALAČNÍCH ANESTETIK

Na základě požadavku firmy AbbVie s.r.o. (dále jen AbbVie) a souvisejícího smluvního ujednání mezi ČSARIM a AbbVie o provedení práce vypracovala pracovní skupina (PS) ČSARIM expertní stanovisko (dále jen stanovisko) k environmentálním dopadům používání inhalačních anestetik.

1. Úvod do problematiky

V České republice (ČR) jsou v současné době registrována inhalační anestetika sevofluran, desfluran a medicínalní zkapalněný plyn oxid dusný (N_2O). Používají se pro svůj anestetický, resp. analgetický účinek. Současně však v různé míře ovlivňují životní prostředí, jako skleníkové plyny přispívají ke změně klimatu, ohřevu atmosféry, extrémnímu počasí a proměnlivosti srážek.¹ Zdravotnictví je zdrojem 3 % (Švédsko) – 10 % (USA) emisí skleníkových plynů, přičemž největší podíl pochází z hospitalizační a zejména z perioperační péče.² Světová zdravotnická organizace (WHO) považuje změnu klimatu za největší hrozbu globálnímu zdraví v 21. století.³ Cílem expertního stanoviska je shrnutí současného stavu odborného poznání o vlivu inhalačních anestetik na životní prostředí a stav globálního klimatu.

2. Současný stav odborného poznání

Moderní inhalační anestetika jako sevofluran a desfluran jsou v tkáních velmi málo metabolizována, N_2O se nemetabolizuje vůbec. Po vyloučení plícemi pacientů se tyto látky odvádějí mimo operační sál do atmosféry Země jako „odpadní medicínské plyny“.

Sevofluran, desfluran i N_2O patří mezi tzv. skleníkové plyny.^{2,4} To jsou plyny schopné pohlcovat a vyzařovat infračervené (tepelné) záření.⁴ Patří k nim většina dvoumolekulových plynů se dvěma různými atomy (např. oxidy uhelnatý a uhličitý) a všechny plyny se třemi nebo více atomy (tj. inhalační anestetika).⁵ Skleníkové plyny vyvolávají skleníkový efekt či jev, při němž záření z atmosféry ohřívá povrch planety na teplotu vyšší, než by planeta měla bez atmosféry.⁵ Skleníkové plyny v atmosféře brání úniku tepla z povrchu Země do vesmíru.⁴ Jejich koncentrace v atmosféře Země stoupají.⁵ Existuje shoda, že změna klimatu je způsobena převážně zvyšující se koncentrací skleníkových plynů.^{2,7} Hlavní skleníkové plyny jsou vodní pára, CO_2 , metan, N_2O , ozón a freony (halogenované deriváty nižších uhlovodíků, které obsahují minimálně dva vázané halogeny, z nich alespoň jeden musí být fluor).



Jednotlivé skleníkové plyny pohlcují tepelné záření různě intenzivně v různých vlnových délkách, každý má své unikátní absorpční spektrum. Největší skleníkový efekt vyvolávají plyny, které absorbují v „okně“ vlnových délek, v němž je atmosféra prozatím poměrně průhledná (8-14 μm). V něm se bohužel uplatňují právě halogenovaná inhalační anestetika, která se tím liší od přirozeně se vyskytujících skleníkových plynů, jako jsou CO_2 , vodní pára, ozón a metan, které absorbují nejvíce v kratších, nebo naopak v delších vlnových délkách.⁴

Velikost účinku jednotlivých skleníkových plynů na klima závisí kromě absorpčního spektra také na době jejich setrvání v atmosféře a na jejich množství. Příspěvek plynu ke skleníkovému efektu se vyjadřuje ukazateli, jako jsou radiační působení, radiační účinnost, potenciál globálního oteplování a ekvivalent CO_2 (CDE). Nejpoužívanějším z nich je potenciál globálního oteplování.

Radiační působení (radiation forcing) vyjadřuje změnu radiační bilance planety působením nějakého dodatečného faktoru, např. změny koncentrace skleníkového plynu, na klimatický systém.⁸ Kvůli stoupajícím koncentracím skleníkových plynů se zvyšuje neprůsvitnost atmosféry v infračervené oblasti spektra, takže do vesmíru odchází záření až z větší výšky s nižší teplotou, zatímco záření z ovzduší na zem pochází z nižších, tj. teplejších vrstev atmosféry. Mění se tím bilance zářivých toků, tj. rozdíl dopadajícího a odcházejícího záření, hodnota se vyjadřuje ve wattech na m^2 . Je-li kladná, teplota se zvyšuje, skleníkový jev zesiluje. *Radiační účinnost* (radiation efficiency, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) ukazuje, o kolik více energie ze Slunce se kvůli jednotlivým plynům zadrží v atmosféře ve srovnání se stavem na začátku průmyslové revoluce, tj. v roce 1750.⁹

Potenciál globálního oteplování (PGO čili Global Warming Potential, GWP) závisí na velikosti radiačního působení a na době setrvání plynů v atmosféře. Je tím větší, čím je radiační působení vyšší a doba setrvání delší. Vyjadřuje, kolikrát více tepla zachytí v určitém časovém horizontu v atmosféře jednotlivý skleníkový plyn ve srovnání s referenčním CO_2 , čili jednoduše řečeno 1 molekula plynu zadrží stejně tepla jako tolik molekul CO_2 , kolik činí hodnota PGO plynu.¹⁰ Hodnoty PGO se uvádějí za 20, 100 a 500 let, u inhalačních anestetik se doporučuje používat hodnoty PGO_{20} , pouze u N_2O s poločasem 114 let je třeba počítat s hodnotou PGO_{100} (je dokonce vyšší než PGO_{20}).

Ukazatele užívané k posouzení klimatického dopadu inhalačních anestetik jsou uvedeny v tabulce 1.⁴ Různé literární zdroje uvádějí poněkud odlišné hodnoty v závislosti na metodice použité k jejich stanovení.



Tabulka 1

Ukazatele užívané k posouzení klimatického dopadu inhalačních anestetik a jejich uváděné hodnoty

Látka	Doba setrvání v atmosféře [rok]	Radiační účinnost [W.m ⁻² .ppb ⁻¹]	PGO ₂₀	PGO ₁₀₀	PGO ₅₀₀	ODP
N ₂ O	114	0,00303	289	298	153	0,017
Isofluran	3,2	0,453	1401 ¹⁰ /1800 ⁴	510	160	0,01
Sevofluran	1,1	0,351	349 ¹⁰ /440 ⁴	130	40	0
Desfluran	14	0,469	3714 ¹⁰ /6810 ⁴	2540	130	0

PGO = potenciál globálního oteplování za dobu 20, 100 a 500 let

Radiační účinnost uvedena v Wm⁻² na ppb (partes per billion, tj. 10⁻⁹)

ODP = potenciál deplece ozónu (ozone depletion potential)

Isofluran ničí ozónovou vrstvu kvůli atomu chlóru ve své molekule, kterou ostatní moderní inhalační anestetika nemají.

Ekvivalent CO₂ (carbon dioxide equivalent, CDE) je čtvrtým používaným ukazatelem. Oproti PGO zohledňuje nejen účinnost ve srovnání s CO₂, ale navíc i vypuštěné množství škodlivé látky, považuje se za tzv. „uhlíkovou stopu“ anestezie. Je součinem GWP_t (kde t je délka časového období) a vypuštěného množství anestetika (g.hod⁻¹, resp. za jinou časovou jednotku). CDE_t odpovídá množství CO₂, které by v období t ohřálo Zemi stejně. Množství vypuštěného anestetika určuje příkon čerstvých plynů a míra zpětného vdechování, koncentrace anestetika v nosné směsi (záleží na hodnotě MAC anestetika) a trvání anestezie, resp. počty anestezí. CDE_t lze vypočítat podle Özelsela¹¹ takto:

1. spotřeba anestetika [l.hod⁻¹] = příkon čerstvých plynů [l.min⁻¹] x 60 [min.h⁻¹] x MAC [%]
2. spotřeba anestetika [g.hod⁻¹] = spotřeba anestetika [l.hod⁻¹] / 22,4 [l.mol⁻¹] x molekulová hmotnost anestetika [g.mol⁻¹]
3. CDE_t [g.hod⁻¹] = spotřeba anestetika [g.hod⁻¹] x GWP_t

Klimatické dopady inhalační anestezie podle hodnoty CDE₂₀ uvádí tabulka 2



Tabulka 2

Srovnání dopadu 1 MAC-hodiny anestezie sevofluranem (MAC 2 %) a desfluranem (MAC 6 %) podávané různými příkony čerstvých plynů

Příkon čerstvých plynů [l.min ⁻¹]	Spotřeba [g.hod ⁻¹]	PGO ₂₀	CDE ₂₀ [g.hod ⁻¹]	Poměr CDE ₂₀ vůči referenční hodnotě CDE ₂₀ (sevo, 2 l.min ⁻¹)
2% sevofluran				
2	20,0	349 ¹⁰	6980	1
1	10,0		3490	0,5
0,5	5,0		1745	0,25
6% desfluran				
2	50,4	3714 ¹⁰	187186	26,8
1	25,2		93593	13,4
0,5	12,6		46796	6,7

MAC = minimální alveolární koncentrace, PGO₂₀ = potenciál globálního oteplování za 20 let (GWP anglicky) použity ze zdroje 10. Hodnota CDE₂₀ pro sevofluran podávaný příkonem čerstvých plynů 2 l.min⁻¹ byla zvolena proto, že sevofluran je nejčastěji používaným inhalačním anestetikem a příkon 2 l.min⁻¹ je v některých zemích (např. USA) považován za minimální povolený příkon.

Inhalační anestetika se sice podávají u velkého počtu anestezí v ČR i na celém světě, ale jejich celkový klimatický dopad se přesto odhaduje jen na 0,01 % dopadu z globálního spalování fosilních paliv,⁴ resp. považuje se za srovnatelný s emisemi jedné uhelné elektrárny.^{4,12}

Oxid dusný přispívá k negativnímu vlivu na životní prostředí mnohem více, protože je vypouštěn z operačních sálů do atmosféry ve velkém množství. V USA se odhaduje, že se zdravotnictví podílí na celkových emisích N₂O sice jen 3 % (nejvíce zemědělství a spalování fosilních paliv)⁴ a tím přispívá ke změně klimatu 0,1 %.¹³ Tento příspěvek je 10x vyšší než příspěvek ostatních inhalačních anestetik, dokonce i vyšší než u desfluranu,¹⁴ který má nejvyšší hodnotu PGO z inhalačních anestetik. Navíc, N₂O jako jediný z inhalačních anestetik poškozuje ozónovou vrstvu Země. K porovnání tohoto účinku se používá ODP (potenciál deplece ozónu, tj. ozone depletion potential, viz tabulka 1). Tento ukazatel srovnává účinnost ničení ozónu určitou látkou vůči účinnosti téhož množství freonu CFC-11 (CCl₃F).⁴ Hodnota ODP N₂O je sice nízká, ale N₂O se i tak považuje za nejvýznamnější látku ničící ozón¹⁵ a jeho koncentrace v atmosféře postupně stoupá. Xenon je z klimatického hlediska nejšetrnější anestetikum, při zahrnutí elektrické energie spotřebované při jeho výrobě, je jeho dopad na životní prostředí negativní.



3. Stanovisko

Stanovisko bylo formulováno na základě existující literatury k následujícím otázkám:

- Existují rozdíly mezi inhalačními anestetiky z pohledu jejich dopadu na životní prostředí?
- Lze formulovat rámcová doporučení ke snižování dopadů inhalační anestezie na životní prostředí?

3.1 Existují rozdíly mezi inhalačními anestetiky z pohledu jejich dopadu na životní prostředí?

Mezi sevofluranem, desfluranem, isofluranem a oxidem dusným existují zásadní rozdíly z pohledu jejich dopadů na životní prostředí. Nejnižší hodnotu GWP₁₀₀ vykazuje oxid dusný (298), nejvyšší pak desfluran (2540). Nejnižší hodnotu GWP₂₀ vykazuje sevofluran (349), nejvyšší desfluran (3714). Nejkratší poločas v atmosféře vykazuje sevofluran (1,2 roky), nejdelší oxid dusný (114 let).

3.2 Lze formulovat rámcová doporučení ke snižování dopadů inhalační anestezie na životní prostředí?

Obecným východiskem postoje k předmětné problematice by měl být princip etické povinností a společenské odpovědnosti anesteziologů minimalizovat škodlivé dopady své praxe na životní prostředí¹⁶. Výběr inhalačního anestetika má být determinován v první řadě posouzením poměru klinické prospěšnosti a rizika použití dané látky pro individuálního pacienta, nikoliv existencí environmentálního rizika. Pokud máme možnost volby mezi anesteziologickými technikami s identickým poměrem přínos/riziko pro konkrétního pacienta, pak při jejich výběru zvažujeme rovněž související environmentální dopad.

Pro snižování poluce ovzduší v souvislosti s použitím inhalačních anestetik lze formulovat následující principy:

- a) jsou-li dostupné, doporučujeme preferovat uzavřené systémy se zpětným vdechováním a s nízkým nebo minimálním příkonem čerstvých plynů,
- b) jsou-li dostupná, doporučujeme preferovat inhalační anestetika s nejnižší hodnotou GWP/CDE^{10,17},
- c) jako nosnou směs doporučujeme preferovat kombinaci kyslíku se vzduchem bez použití oxidu dusného.



4. Literatura

- 1) Watts N, Adger WN, Agnolucci P et al.: Health and climate change: policy responses to protect public health. *Lancet*. 2015 Nov 7;386(10006):1861-914.
- 2) Lindén-Søndersø A, Nielsen N, Bentzer P: Klimateffekterna från anestesin kan minska [Climate footprint of halogenated inhalation anesthetics]. *Lakartidningen*. 2019 Oct 10;116:FR9L.
- 3) Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s. Geneva: World Health Organization; 2014.
- 4) Sulbaek Andersen MP, Nielsen OJ, Wallington TJ, Karpichev B, Sander SP: Medical intelligence article: assessing the impact on global climate from general anesthetic gases. *Anesth Analg*. 2012 May;114(5):1081-5.
- 5) Skleníkový efekt. https://cs.wikipedia.org/wiki/Sklen%C3%ADkov%C3%BD_efekt (poslední přístup 20. 11. 2020)
- 6) Skleníkové plyny https://cs.wikipedia.org/wiki/Sklen%C3%ADkov%C3%A9_plyny (poslední přístup 20. 11. 2020)
- 7) Cook J, Oreskes N, Doran PT et al.: Consensus on consensus: A synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environmental Research Letters*, 2016;11(4): 048002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/048002> (poslední přístup 20. 11. 2020)
- 8) Radiační působení https://cs.wikipedia.org/wiki/Radia%C4%8Dn%C3%AD_p%C5%AFsoben%C3%AD
- 9) Skleníkový efekt. <https://www.meteocentrum.cz/globalni-oteplivani/sklenikovy-efekt>
- 10) Ryan S, Nielsen CJ: Global Warming Potential of Inhaled Anesthetics Application to Clinical Use. *Anesth Analg*. 2010(7);111(1):92-98.
- 11) Özelsel TJ, Sondekoppam RV, Buro K.: The future is now-it's time to rethink the application of the Global Warming Potential to anesthesia. *Can J Anaesth*. 2019 Nov;66(11):1291-1295.
- 12) Sulbaek Andersen MP, Sander SP et al.: Inhalation anesthetics and climate change. *Br J Anaesth* 2010;105(): 760–6.
- 13) Gadani H, Vyas A: Anesthetic gases and global warming: Potentials, prevention and future of anesthesia. *Anesth Essays Res*. 2011 Jan-Jun; 5(1): 5–10.
- 14) Muret J, Fernandes TD, Gerlach H et al.: Environmental impacts of nitrous oxide: no laughing matter! Comment on *Br J Anaesth* 2019; 122: 587–604.
- 15) Ravishankara AR, Daniel JS, Portmann RW. Nitrous oxide (N₂O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *Science* 2009;326:123–5.
- 16) Van Norman GA, Jackson S: The anesthesiologist and global climate change: an ethical obligation to act. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2020 Aug;33(4):577-583.
- 17) Sherman J, Le C, Lamers V, et al. Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. *Anesth Analg* 2012; 114(5):1086–90.



5. Pracovní skupina (abecedně):

- MUDr. Astapenko David, Ph.D. (AD)
- prof. MUDr. Černý Vladimír, Ph.D., FCCM (ČV)
- MUDr. Horáček Michal, DESA (HM)

AD, ČV a HM se podíleli na přípravě a finální verzi dokumentu, ČV provedl finální editaci textu. V případě potřeby identifikace prvního autora stanoviska jsou členové PS považováni rovnoměrným dílem za prvního autora.

6. Informace o konfliktu zájmů

AD neuvádí konflikt zájmů ve vztahu k problematice stanoviska. ČV a HM obdrželi v minulosti honoráře za přednáškovou činnost na vzdělávacích akcích organizované firmou Abbvie. Za práci při tvorbě stanoviska nebyl žádný člen PS od firmy AbbVie honorován.

7. Schválení stanoviska

Pracovní skupina stanoviska předložila 6. 12. 2020 svůj návrh členům výboru. K návrhu stanoviska proběhla elektronická diskuze mezi členy výboru. Návrh stanoviska předložený PS byl odsouhlasen za podmínky zohlednění připomínek členů výboru. Za datum schválení stanoviska výborem je považován den, kdy byla vytvořena finální verze, zohledňující připomínky členů výboru.

Stanovisko schváleno výborem ČSARIM dne: 12. 12. 2020

prof. MUDr. Černý Vladimír, Ph.D., FCCM
předseda výboru ČSARIM