

Inhalační celková anestetika a jejich použití

Tomáš Vymazal

Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny 2. LF UK a FN Motol, Praha

Inhalační anestetika jsou nedílnou součástí technik celkové anestezie. Nejstarším a stále používaným inhalačním anestetikem je oxid dusný. Ostatní inhalační anestetika jsou halogenované deriváty aromatických uhlovodíků, které jsou do vdechované směsi dodávány pomocí odpařovačů. V současnosti používaná volatilní anestetika zahrnují izofluran, sevofluran a desfluran. Velmi zřídka je používán xenon. V přehledném článku je diskutována farmakokinetika a farmakodynamika jednotlivých volatilních anestetik, popsán je jejich efekt na jednotlivé orgánové systémy, především kardiovaskulární a respirační. Jsou zde rozebrány klinické indikace jednotlivých volatilních anestetik, jejich limitace a potenciální komplikace.

Klíčová slova: inhalační anestetika, N_2O , izofluran, sevofluran, desfluran, xenon.

Volatile anesthetics and their clinical use

Volatile anesthetics are an integral part of total anesthesia techniques. These are halogenated aromatic hydrocarbon derivatives which are supplied to the inhaled mixture by means of vaporizers. The oldest and still used inhalation anesthetic is nitrous oxide – laughing gas. The currently used volatile anesthetics include isoflurane, sevoflurane and desflurane. Very rarely xenon is used. This review article brings information about pharmacokinetics, pharmacodynamics of the currently used anesthetics, their physical and chemical properties, and mainly depicts their clinical use.

Key words: volatile anesthetics, N_2O , isoflurane, sevoflurane, desflurane, xenon.

Úvod

Éra inhalačních anestetik odstartovala objevením „rajských“ účinků oxidu dusného. Jeho výrobce Humphry Davy pořádal od roku 1799 v Bristolu pro bohaté večírky spojené s jeho neřízenou inhalací. Všiml si jeho analgetických účinků – přestože jeho konzumenti hojně padali a působili si zranění, nic je nebolelo. Jako anestetikum byl poprvé využit až o 45 let později. První publikovaná inhalační anestezie, éterová, byla pacientovi podána v Massachusetts General Hospital dentistou Thomasem G. Mortonem v říjnu roku 1846. Tím byl položen základní kámen inhalační anestezii. Syntéza éteru (éter – řecky „navozující štěstí“) byla popsána již v roce 1540 německým chemikem Valeriem Cordem (1515–1544), který přidal kyselinu sírovou do etylalkoholu a vzniklou látku nazval: „oleum dulci vitrioli“ – sladký olej kyseliny sírové (vitriolu). První éterová narkóza v českých zemích byla o pouhé 3 měsíce později podána v úno-

ru roku 1847 mnichem řádu milosrdných bratří Celestýnem Opitzem v nemocnici Na Františku v Praze. Celestýn Opitz v té době měl pouze diplom ranhojičský a nemohl proto své prvenství publikovat, to mu umožnilo až získání diplomu magistra chirurgie.

Přes počáteční rozpaky spolupodmíněné častými úmrtími v důsledku předávkování a hypoxie se vyčlenila skupina nadšenců, kteří se začali anestezii věnovat. Říkalo se jim „chlápci s lahví a hadrem“ podle vybavení, které si nosili s sebou. Na konci 19. století německý lékař a patolog Curt Theodor Schimmelbusch zkonstruoval speciální masku na přesnější dávkování éteru. Jednotlivé fáze éterové narkózy ale definoval americký lékař Arthur Ernest Guedel až v roce 1937 (amnézie a analgezie, excitace, tolerance výkonu, paralýza). O téměř 20 let později byl představen první halogenovaný uhlovodík – halotan. Ten ovládl operační sály na dlouhá léta. Až po několika dalších desetiletích

přišly na trh inhalační halogenované étery – anestetika druhé generace – metoxyfluran, enfluran a izofluran. Masového využití se dočkal jen izofluran, který byl pro své příznivé účinky a přijatelnou cenu využíván do dnešních dnů. Třetí, a doposud poslední generace inhalačních halogenovaných anestetik, byla představena na počátku 90. let minulého století. Jejich klinicky užívanými zástupci jsou sevofluran a desfluran (1). Obliba inhalačních anestetik pro úvod (N_2O , sevofluran) a vedení celkové anestezie spočívá především v jednoduchosti podávání a snadnému monitorování jejich účinku; i přes jejich úzkou terapeutickou šíři (již 2–4násobek anestetické dávky může způsobit zástavu oběhu). Ideální anestetikum by mělo mít rychlý nástup účinku, nízkou rozpustnost v krvi a tkáních bez fyzikální a biologické degradace v organismu, snadnou a bezpečnou řiditelnost, rychlé odeznění účinků bez ovlivnění orgánových systémů a nízkou cenu (2).

Základní fyzikálně chemické vlastnosti inhalačních anestetik

Výjimečnými vlastnostmi inhalačních anestetik mezi anestetiky obecně, je především plynné skupenství a inhalační cesta podání do organismu. Patří mezi nejrychlejší účinkující látky vůbec. Kromě rajského plynu a xenonu, tedy skutečných plynů, jsou inhalační anestetika páry snadno se odpařujících tekutin. Základní fyzikálně chemické vlastnosti inhalačních anestetik jsou uvedeny v tabulce 1. Vzhledem k nízké teplotě varu desfluranu (24 °C) je nutné, aby odpařovače pro toto anestetikum byly termostabilní (speciální konstrukce odpařovače zajistí konstantní teplotu odpařovací komůrky 39 °C). Nejdůležitější vlastností, která rozhoduje o účinku volatilního anestetika je jeho rozpustnost v krvi (určuje rychlost equilibria vzduch/krev) a v tukách (určuje rychlost průniku do mozkové tkáně).

Farmakokinetika inhalačních anestetik

Cílem podání inhalačních anestetik je reverzibilně navodit ztrátu vnímání okolních podnětů dosažením minimální alveolární koncentrace (MAC při 1 atm a 37 °C). MAC95 je takové množství inhalačního anestetika, které u 95 % pacientů zabrání reakci na chirurgický podnět. Klinická zkušenost ukazuje, že pro klidnou celkovou anestezii zpravidla stačí koncentrace 1,2–1,3 MAC. S věkem pacienta MAC klesá. Srovnání MAC jednotlivých volatilních anestetik ukazuje tabulka 2. Po vdechování inhalačních anestetik dojde k rovnovážnému stavu parciálních tlaků v plicích a CNS a tedy i v krvi (ekvilibrium) (2). Teorii, jak inhalační anestetika v CNS působí, je celá řada, stejně tak jako důkazů, které tyto teorie částečně nebo úplně vyvrací. Klasickým pojetím účinku inhalačních anestetik je Meyer-Overtonova teorie, která říká, že anestetikum je tím účinnější, čím více je rozpustné v tucích. Tato, dnes již překonaná teorie, však nedokázala bezesbytku vysvětlit účinky inhalačních anestetik „in vivo“. Výzkumy prokázaly, že účinek na lidský mozek je závislý také na vazbě anestetik na proteiny a ovlivnění iontových kanálů (Ueda, Franks and Lieb Theory). V různém poměru působí na GABA, NMDA, 5-HT₃ a nACh receptory, což vysvětluje jejich individuální snášenlivost. V současné době je nejvíce přijímána teorie, která, velmi zjednodušeně, kopíruje procesy funkčního zrání CNS – tedy tvorbu synapsí mezi neurony a vzájemné ovlivnění center spánku a bdění. Podle této teorie by tak lipofilní inhalační anestetika způsobovala

Tab. 1. Základní fyzikální a chemické vlastnosti inhalačních anestetik

	N ₂ O	izofluran	sevofluran	desfluran
Molekulová hmotnost	44	185	200	168
Bod varu ve °C	-89	49	59	23
Tlak par při 20 °C v mmHg	44	238	157	664

Tab. 2. Srovnání minimální alveolární koncentrace (MAC)

	N ₂ O	izofluran	sevofluran	desfluran
MAC při 100 O ₂	104	1,2	1,8	6,6
MAC při 100 O ₂ u seniorů	NA	1,0	1,4	5,2
MAC při 60 % N ₂ O	NA	0,6	0,7	2,4

Tab. 3. Koeficienty rozpustnosti inhalačních anestetik

	N ₂ O	izofluran	sevofluran	desfluran
krev	0,46	1,5	0,65	0,42
mozek	1,1	2,1	1,7	1,3
sval	1,2	2,9	3,1	2,0
tuk	2,3	45,0	48,0	27,0

přechodně funkční rozpojení synaptických sítí určitých oblastí CNS. Velkým anesteziologickým paradoxem i přes to stále zůstává, že ani po více než 170 letech po podání první éterové narkózy, stále nevíme, jak inhalační anestetika vlastně fungují (3). Čím nižší koeficient rozpustnosti krev/plyn anestetikum má, tím rychlejší je jeho nástup účinku i jeho odeznění. Čím nižší minutový srdeční výdej, tím rychlejší dosažení MAC, jinými slovy při nízkém minutovém srdečním výdeji je úvod do anestezie rychlejší. Čím nižší je minutová ventilace, tím pomaleji je dosaženo požadované MAC, úvod do anestezie je tedy delší. Čím méně rozpustná jsou anestetika, tím rychlejší je jejich eliminace z organismu. Srovnání rozpustnosti inhalačních anestetik je souhrnně uvedeno v tabulce 3. Alveolární koncentraci inhalačního anestetika je možné rychle změnit úpravou minutové ventilace nebo změnou inspirační koncentrace anestetika. Čím vyšší je inspirační koncentrace anestetika, tím vyšší je jeho alveolární koncentrace (3, 4).

Účinek volatilních anestetik na orgánové systémy

Všechna v současnosti užívaná volatilní anestetika mají na dávce závislý podobný vliv na CNS. Zpomalují mozkový metabolismus i jeho elektrickou aktivitu, naopak zvyšují průtok krve mozkem a mírně zvyšují nitrolební tlak. Všechna také ovlivňují senzorické a motorické evokované potenciály, proto se při jejich měření musíme volatilních anestetik důsledně vyvarovat (3). Diskutován je vliv na rozvoj pooperačního deliria (POD) a pooperační kognitivní dysfunkce (POCD), především u pacientů starších 65 let. Studie ukázaly, že čas potřebný k návratu plně kognitivní funkce je u sevofluranu

a desfluranu přibližně stejný. U výkonů, které trvaly déle než dvě hodiny, se po sevofluranu návrat kognitivních funkcí významně zpomalil, u desfluranu zůstal stejný. Na rozvoji POD i POCT se však spolupodílí více faktorů – komorbidita pacienta, povaha operačního výkonu, kvalita anestezie a analgezie a celý perioperační průběh (1). Tématem výzkumu je také ovlivnění vývoje nezralého CNS současnými inhalačními anestetiky. Ukazuje se, že inhalační anestetika zasahují do metabolismu mozkových buněk a synapsí a ovlivňují tak jeho zrání. Důsledkem mohou být mírné osobnostní změny (pozorováno u jednovaječných dvojčat), poruchy koncentrace a učení v pozdějších letech. Z tohoto důvodu je důrazně doporučováno vyvarovat se podání celkové anestezie dětem mladším 3–4 let (5).

Všechna volatilní anestetika snižují regionální i systémovou vaskulární rezistenci, proto snižují krevní tlak. Nemají zásadní vliv na kontraktilitu myokardu, přestože všechna působí kardiodepresivně. Neovlivňují převodní systém, ani nezvyšují pohotovost karytmiím (ani po podání adrenalinu). Volatilní anestetika působí podobně jako ischemický preconditioning, čímž zmírňují eventuální dopady kaskády ischemie/reperfuze. Rychlé zvýšení podávané koncentrace desfluranu přechodně zvyšuje krevní tlak i tepovou frekvenci aktivací sympatiku (2, 3). Bylo prokázáno, že u pacientů, kteří podstupují kardiokirurgický výkon, je podání volatilních anestetik spojeno s lepší prognózou a nižším výskytem perioperačních komplikací ve srovnání s anestetiky intravenózními (6).

Všechna volatilní anestetika snižují dechový objem, ale díky vyšší spontánní dechové frekvenci neovlivňují významně minutovou ventilaci. Celkově však způsobují na dávce závislý útlum

dýchání. Snížená je i funkční reziduální kapacita z důvodu nižšího tonu dýchacích svalů i bránice. Všechna volatilní anestetika snižují senzitivitu dechového centra k hyperkapnii a citlivost chemoreceptorů k hypoxii. Zvyšují pohotovost k bronchokonstrikci (cave u spontánně dýchajících a u astmatiků) a nepatrně zvyšují odpor v dýchacích cestách. Ve vyšších dávkách působí bronchodilatačně (halotan dříve využíván v léčbě torpidního status astmaticus). Téměř neovlivňují hypoxickou plicní vazokonstrikci a plicní vaskulární rezistenci (2, 3).

Volatilní anestetika relaxují příčně pruhované svalstvo inhibicí postsynaptické membrány nervosvalové ploténky a potencují tak účinek periferálních i centrálních svalových relaxancií, udává se, že v porovnání s propofolem až o 40 %. Tím, že ovlivňují metabolismus nervosvalové ploténky, mohou spustit maligní hypertermii. Na hladkou svalovinu cév a dělohy mají jen minimální relaxační účinek. Mohou však ve vyšších koncentracích ≥ 1 MAC spolupodmínit postpartální krvácení (2, 3).

Volatilní anestetika komplexně inhibují imunitní systém pacientů, snižují produkci cytokinů i schopnost fagocytózy, omezují komunikaci mezi buňkami bílé krevní řady i tvorbu imunoglobulinů. V klinické praxi jsou tak rozvojem infekce nejvíce ohroženi pacienti imunokompromitovaní nebo imunosuprimovaní (7, 8).

Dříve popisovaná halotanová hepatopatie je dnes již minulostí, protože současná volatilní anestetika jsou metabolizována játry jen minimálně (tabulka 4) a nezpůsobují významnější redistribuci orgánové perfuze. Nebylo prokázáno, že by současná volatilní anestetika byla pro člověka karcinogenní, teratogenní nebo mutagenní. Oxid dusný však může inhibicí aktivity enzymů dependentních na vitamín B₁₂ negativně ovlivnit myelinizaci a replikaci DNA vyvíjejícího se embrya (2–4).

Způsoby podání inhalačních anestetik

Vstupní branou inhalačních anestetik do organismu jsou plicce. K nim je anestetika možno přivést dvěma základními systémy – otevřeným nebo uzavřeným. Otevřený systém se dnes již téměř nepoužívá z důvodu vydechování inhalačního anestetika do okolí a nutnosti vysokého průtoku čerstvé směsi plynů (u dospělého cca 6 l/minutu). V současnosti tedy využíváme především systém uzavřený, který je tvořen uzavřeným okruhem anesteziologický přístroj-odpařovač-

-pacient-absorbér CO₂-anesteziologický přístroj. Díky absorbéru CO₂, který jeho množství v okruhu eliminuje, je možné do okruhu dodávat i podstatně nižší množství čerstvých plynů než je minutová ventilace. Moderní anesteziologické přístroje dokáží pracovat v režimu „low-flow“, při kterém je dodáváno pouze 1000–500 ml čerstvé směsi plynů (pro prevenci hypoxické směsi vždy bez N₂O) za minutu, extrémem je „minimal (metabolic)-flow“, při kterém si uzavřený systém vystačí pouze s dodávkou tzv. metabolického kyslíku (k pokrytí minimálních metabolických nároků organismu 2,5–3 ml/O₂/kg/min.), přibližně tedy 200–250 ml/min. Samozřejmostí je odvod vydechované směsi mimo operační sál/kg/min.). Výhodami tohoto moderního způsobu dodávky inhalačních anestetik do organismu je minimální spotřeba inhalačního anestetika bez rizika zamoření operačního sálu jeho výpary.

V současnosti používaná inhalační anestetika

Oxid dusný (N₂O, rajský plyn)

Historicky nejstarší a spolu s xenonem jediný opravdový plyn, který byl a je využíván při podávání celkové inhalační anestezie. Je nasládlé vonící, nehořlavý a termostabilní. Má významný analgetický, ale minimální anestetický potenciál, působí anxiolyticky a sedativně. Ovlivňuje, identicky s xenonem, nACH, 5-HT₃, NMDA receptory a působí na propustnost draslíkových kanálů. Tvoří součást nosné směsi vdechovaných plynů. Zesiluje účinek volatilních anestetik, a tím snižuje jejich spotřebu. Tělesné systémy a orgány ovlivňuje jen minimálně (3). U dětí se používá ve směsi s kyslíkem 1 : 1, u dospělých 1 : 2, velmi výjimečně 1 : 3 (maximálně 70 %) za předpokladu důsledné monitorace kyslíkového metabolismu. Z důvodu prevence podání hypoxické směsi jsou všechny anesteziologické přístroje vybavené mechanickou nebo elektronickou pojistkou, která brání podat směs s vyšším poměrem N₂O (9). S dostupností moderních, dobře říditelných intravenózních opioidů a neopioidních analgetik jeho spotřeba klesá (10). Důvodem jsou i jeho nežádoucí účinky na organismus. Tím hlavním je jeho difuze a následná expanze ve vzduchem vyplněných uzavřených tělesných dutinách. Způsobuje nafouknutí střev, pneumoperitoneum, pneumocefalus, po operaci středouší zvyšuje tlak uvnitř, dramaticky zhoršuje rozsah pneumotoraxu a průnikem přes stěnu těsnící manžety endotra-

Tab. 4. Metabolismus inhalačních anestetik

anestetikum	metabolizováno
N ₂ O	0 %
izofluran	0,17 %
sevofluran	2–5 %
desfluran	0,02 %

cheální kanyly zvyšuje tlak uvnitř manžety. Je mu připisován i podíl na pooperační nauze a zvracení. Zásahem do metabolismu vitamínu B₁₂ negativně ovlivňuje krvetvorbu a časný embryonální vývoj (2, 3, 9). Ve formě Entonoxu v poměru s kyslíkem 1 : 1 je stále používán jako bezpečné inhalační analgetikum především v porodnictví.

Izofluran

Tento halogenovaný éter byl uveden do klinické praxe v roce 1984 a nahradil do té doby výhradně používaný halotan. Distribuován je ve formě čiré bezbarvé nehořlavé tekutiny. Pro svůj éterický zápach a dráždivost dýchacích cest se nehodí pro inhalační úvod. Navíc reflexně způsobuje zadržování dechu, kašel a útlum dýchání (4). Ze všech v tomto článku zmiňovaných volatilních anestetik má největší koeficient rozpustnosti v krvi a tkáních, proto také čas do dosažení MAC a následná eliminace z organismu trvá nejdéle. Má kardiodepresivní účinky. Byl u něj popisován tzv. „steal fenomén“ na koronární arterie při ICHS (ve vyšších dávkách dilatoval neaterosklerotické arterie, a tím zvyšoval průtok zdravou částí myokardu na úkor té ischemické). Tlumí dechové centrum nejvíce ze všech zde popisovaných volatilních anestetik. I přes deklarovaný bronchodilatační efekt je třeba dbát opatrnosti při podávání pacientům s bronchiálním astmatem. V játrech a ledvinách je metabolizován málo, přímá hepato- ani nefrotoxicita u něj popsána nebyla. V době svého uvedení na trh byly jeho výhody nezpochybnitelné. V dnešní době však již neexistuje žádný klinický důvod k jeho dalšímu používání (3, 9).

Sevofluran

Tento halogenovaný éter se sedmi atomy fluoru byl uveden na trh v roce 1994. Díky nízké rozpustnosti a kumulaci ve tkáních je úvod i vyvedení z anestezie rychlý, proto je vhodný pro ambulantní anestezii. V dýchacích cestách je minimálně dráždivý a pro svůj bronchodilatační efekt je vhodný pro inhalační úvod, kterého se využívá především v pediatrické anestezii. Kardiovaskulární systém ovlivňuje málo, působí lehce vazodilatačně. Dýchání tlumí v závislosti na dávce. Potencuje

účinek periferních svalových relaxancií. Jeho biotransformace je minimální, nezatěžuje játra tvorbou toxických metabolitů ani protilátek. Vzniklé fluoridy nejsou nebezpečné. Metabolizuje se na tzv. sloučeninu A, která u člověka nepoškozuje ledviny ani při low nebo minimal-flow ventilaci. I přes to, že je považován za zlatý standard volby volatilního anestetika v pediatrické anestezii, bylo prokázáno, že může dětem, kterým byl podán opakovaně do 3–4 let věku, způsobit v dospívání příznaky pooperační kognitivní dysfunkce (9, 11).

Desfluran

Desfluran, který byl uveden na trh v roce 1992 má ze všech používaných volatilních anestetik současnosti nejnižší koeficient rozpustnosti v krvi a tkáních, což podmiňuje jeho nejrychlejší nástup účinku i eliminace v závěru celkové inhalační anestezie (12). Tato jeho jedinečná vlastnost je významná především u obézních pacientů a u dlouhých operačních výkonů, kdy umožňuje časnou extubaci a převoz bdělého pacienta na pooperační oddělení (13). Synergické působení opioidů a oxidu dusného je u něj vyjádřeno nejvíce ze všech halogenovaných inhalačních anestetik (14). Jeho MAC výrazně klesá s přibývajícím věkem pacienta. Nevýhodou desfluranu je, že stejně jako ostatní halogenovaná inhalační anestetika, může zpustit u vnímavých jedinců maligní hypertermii (15). Při rychlém zvyšování koncentrace ve vdechované směsi může vyvolat transientní sympatomimetickou stimulaci a zvýšení aktivity systému renin-angiotenzin. Obě tyto situace jsou snadno zvládnutelné podáním betablokátoru. Působí mírnou cerebrální vazodilataci, čímž může, stejně jako sevofluran, zhoršit nitrolební hypertenzi (11, 12).

LITERATURA

- Vymazal T. Desfluran – neprávem Popelkou. Anest. Intenz. Med. 2013, 24(3): 151–153.
- Paul G, Barash, et al. Handbook of Clinical Anesthesia. 6th edition. Lippincott Williams & Wilkins 2009. 157–175.
- David E, Longnecker, et al. Anesthesiology. Mc Graw Hill 2008. 718–767.
- Reinhard Larsen, et al. Anestezie. Grada 1998. 167–197.
- Jiang J, Tang C, Ren J, et al. Effect of multiple neonatal sevoflurane exposures on hippocampal apolipoprotein E levels and learning and memory abilities. Pediatr Neonatol. 2018 Apr; 59(2): 154–160.
- Uhlig C, Bluth T, Schwarz K, et al. Effects of Volatile Anesthetics on Mortality and Postoperative Pulmonary and Other Complications in Patients Undergoing Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. Anesthesiology. 2016 Jun; 124(6): 1230–1245.
- Yuki K, Eckenhoff RG. Mechanisms of the Immunological

Úvod do anestezie desfluranem je v porovnání s izofluranem, sevofluranem i propofolem rychlejší. Ve srovnání se sevofluranem u operací delších než 3 hodiny pacienti, kterým byl podáván desfluran, významně dříve vyhověli slovní výzvě a bezpečně spolkli 20 ml vody (13, 16). Mezi pacienty nebyl rozdíl v četnosti pooperační nauzey a zvracení a času do transportu na pooperační oddělení. U pacientů, kterým byl podáván desfluran, byl čas do extubace kratší o 36 %, resp. 13 % než po izofluranu, resp. sevofluranu. Pacienti po něm neočekávaně „nepřespávali“. Ve srovnání s propofolem a izofluranem byli pacienti s BMI ≥ 30 , kterým byl podáván během operace desfluran, významně dříve extubováni a na pooperačním oddělení měli významně vyšší hodnotu SpO_2 (13). Rovněž vědomí a motorická spolupráce u nich byly významně lepší. U seniorů a výkonů, které trvaly déle než dvě hodiny, se po sevofluranu návrat kognitivních funkcí významně zpomalil, u desfluranu zůstal stejný. Návrat kognitivních funkcí u seniorů po propofolu a izofluranu je významně pomalejší než po desfluranu. Po desfluranu nebyla u seniorů pozorována kognitivní dysfunkce, po propofolu naopak velmi často (17). Na rozdíl od ostatních halogenovaných inhalačních anestetik se v organismu prakticky nemetabolizuje, a proto je, stejně jako sevofluran, vhodný pro pacienty s dysfunkcí jater a ledvin. Bylo opakovaně prokázáno, že doplňovaná anestezie desfluranem je levnější než s použitím sevofluranu i propofolu – a to i v podmínkách našeho zdravotnictví.

Xenon

Xenon patří od počátku 90. let minulého století k experimentálním inhalačním anestetikům.

Patří mezi vzácné inertní plyny a spolu s oxidem dusným je jediným opravdovým plynem. Je nedráždivý, bez barvy a zápachu. Podává se ve směsi s kyslíkem v poměru 70 : 30. Mezi jeho velké výhody patří nejnižší rozpustnost v krvi a ostatních tkáních, neovlivňuje kardiovaskulární aparát, má analgetický potenciál, není mutagenní ani teratogenní a nespouští maligní hypertermii (11). Mezi nevýhody a limity klinického rozšíření patří obrovská hodnota MAC přesahující 70 %, velmi vysoká cena a špatná dostupnost (2).

Metoxyfluran

Pro úplnost je třeba zmínit ještě tento halogenovaný éter, který se jako inhalační anestetikum používal především v 60. a 70. letech minulého století. Měl řadu nežádoucích účinků a projevů orgánové toxicity, pro které byl na přelomu tisíciletí stažen z trhu. Jeho velkou výhodou je však významný analgetický potenciál, pro který je jako analgetikum využíván doposud především ve Velké Británii, Irsku a Austrálii.

Závěr

O všech v současnosti používaných volatilních anestetikách lze s jistotou říci, že jsou bezpečná a mají minimum nežádoucích účinků. Podmínkou je jejich správné používání. Ne každé je vhodné pro každou konkrétní klinickou situaci. Jsou mezi nimi rozdíly, které jsou pro bezpečnou a účelnou anestezii důležité; a erudovaný anesteziolog by je měl dobře znát.

Ze strany autora nedošlo při psaní tohoto článku ke konfliktu zájmů.

- Effects of Volatile Anesthetics: A Review. Anesth Analg. 2016 Aug; 123(2): 326–335.
- Zha H, Matsunami E, Blazon-Brown N, et al. Volatile anesthetics affect macrophage phagocytosis. PLoS One. 2019 May 9; 14(5): e0216163.
- Vymazal T a kol. Doporučené postupy pro podávání anestezie dětem a dospělým, 2. doplněné a rozšířené vydání. Mladá fronta 2017.
- Vymazal T, Urbánek K. Léčba bolesti fixní kombinací orfenadrinu a diklofenaku. Klin Farmakol Farm. 2018; 32(3): 26–31.
- Nickalls RW, et al. Age-related iso-MAC charts for isoflurane, sevoflurane and desflurane in man. Br J Anaesth 2003, 91: 170–174.
- Agoliat A, et al. Meta-analysis of average and variability of time to extubation comparing isoflurane with desflurane or isoflurane with sevoflurane. Anaesth Analg 2010, 110: 1433–1439.

- McKay RE, et al. Effect of increased body mass index and anesthesia duration on recovery of protective airway reflexes after sevoflurane vs desflurane. Br J Anaesth 2010, 104: 175–182.
- Jakobsson J. Desflurane: A clinical update of a third-generation inhaled anaesthetic. Acta Anaesthesiol Scand 2012, 56: 420–432.
- Vymazal T. Maligní hypertermie. Anest. intenziv. Med. 2016; 27(2): 71–74.
- Bilotta F, et al. Early postoperative cognitive recovery and gas exchange patterns after balanced anesthesia with sevoflurane or desflurane in overweight and obese patients undergoing craniotomy: a prospective randomized trial. J Neurosurg Anesthesiol 2009, 21: 207–213.
- Rortgen G, et al. Comparison of early cognitive function and recovery after desflurane or sevoflurane anesthesia in the elderly: a double-blinded randomized controlled trial. Br J Anaesth 2010; 104: 167–174.