

# Odparovače

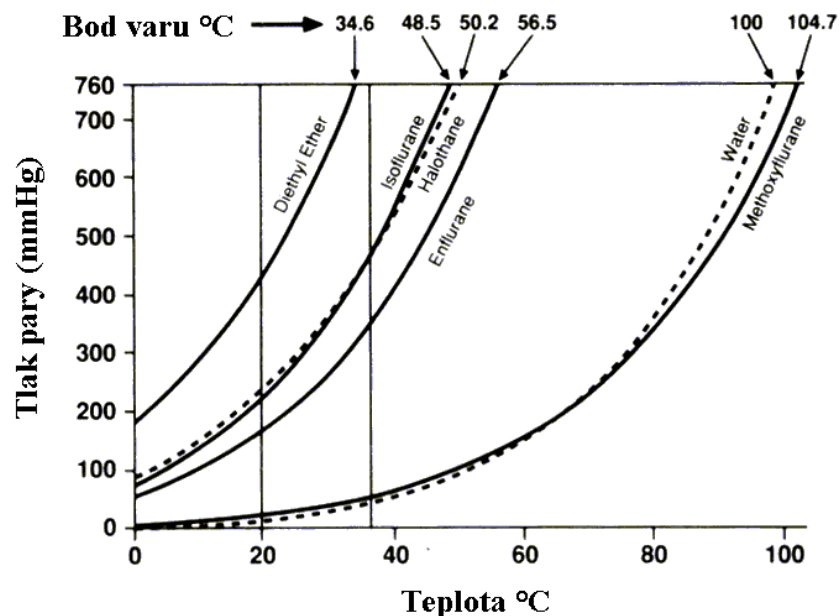
Štefan Trenkler

**1. Definícia:** Odparovač je zariadenie, ktoré transformuje tekuté anestetikum na paru a pridáva ho ku zmesi plynov, ktorá ním prechádza, alebo priamo do anestéziologického systému. V priebehu času sa odparovače vyvinuli z jednoduchých inhalérov éteru cez knôtové odparovače a medené kotle až po súčasné presné odparovače pre všetky moderné inhalačné anestetiká. Vrcholom konštrukcie je odparovač pre desfluran, ktorý už vyžaduje elektrické napájanie.

**2. Požiadavky na odparovač:** Od súčasného odparovača sa očakáva, že bude pridávať k zmesi plynov presnú zvolenú koncentráciu inhalačného anestetika a to bez ohľadu na prietok a zloženie nosných plynov, teplotu a tlak prostredia, ako aj kolísanie teploty v súvislosti s odparovaním a kolísania tlaku pri umelej ventilácii.

### 3. Fyzikálne základy odparovačov

*Tlak pary:* Ak sa kvapalina nachádza v uzatvorenom priestore molekuly unikajú z kvapalnej fázy do plynnej fázy dovtedy, kým nevznikne rovnováha medzi kvapalnou a plynou fázou. Molekuly plynu/pary pôsobia na stenu tlakom, ktorý sa označuje ako *tlak nasýtenej pary*. Tento tlak závisí od teploty kvapaliny, so stúpajúcou teplotou vstupuje viac molekúl do plynnej fázy a naopak. Je to maximálny tlak, aký môže para dosiahnuť pri danej teplote. Tlak pary nezávisí od atmosférického tlaku, ale iba od teploty a fyzikálnej charakteristiky kvapaliny (obrázok 1). *Bod varu* kvapaliny je tá teplota, pri ktorej sa tlak pary rovná atmosférickému tlaku a para vzniká nielen na povrchu ale aj vo vnútri kvapaliny. Bod varu a tlak nasýtenej pary určujú potom stupeň odparovania kvapaliny (volatilitu).



Obrázok 1 Vzťah medzi teplotou a tlakom nasýtenej pary

*Latentné teplo odparovania:* Na uvoľnenie molekúl z kvapalnej do plynnej fázy je potrebná energia. Latentné teplo odparovania je definované ako energia (kcal, kJ), ktorá je potrebná na odparenie 1 ml kvapaliny bez zmeny teploty. Potrebnú energiu (teplo) musí dodať samotná kvapalina alebo okolité prostredie. V opačnom prípade dochádza k ochladzovaniu kvapaliny, čo znižuje veľkosť odparovania.

*Špecifické teplo:* Je to energia (kcal, kJ), ktorá je potrebná na zvýšenie teploty látky o 1 °C. Od špecifického tepla anestetika závisí, koľko tepla je potrebné priviesť, aby nedochádzalo k jeho obhadzovaniu počas odparovania. Odparovač musí byť zhotovený z materiálu s vysokým špecifickým teplom, ak má kompenzovať straty tepla odparovaním anestetika a tým udržiavať jeho stálu hodnotu.

*Tepelná vodivosť:* Tepelná vodivosť je miera rýchlosti prechodu tepla látkou. Ak má odparovač dobre privádzať teplotu z okolia, musí byť zhotovený z materiálu s dobrou tepelnou vodivosťou.

*Výpočet spotreby anestetika*

Množstvo pary anestetika, ktorá dodáva odparovač, sa vyjadruje v objemových percentách, čo je objem pary anestetika v pomere k 100 objemom zmesi nosný plyn + para anestetika. Z nastavenia odparovača v obj. % nie je možné priamo odvodiť spotrebu anestetika v ml/h. Množstvo anestetika v plynnej fáze závisí od teploty (pri konštantnom tlaku) a od vlastností anestetika.

Maximálna koncentrácia anestetiká v percentách je daná vzťahom:

$$\text{objem \%}/100 = \text{tlak nasýtenej pary}/\text{atmosférický tlak}$$

$$\text{obj \%} = \text{tlak nasýtenej pary} \times 100/\text{atmosférický tlak}$$

Za predpokladu, že tlak nasýtenej pary halotanu je 244 mmHg pri 20 °C, maximálna koncentrácia plynu, ktorú odparovač môže dodať pri danej teplote, sa rovná

$$244 \times 100/760 = 32,1 \text{ obj \%}.$$

To je množstvo, ktoré je vysoko nad klinicky užitočnou koncentráciou a musí sa preto vhodným spôsobom znížiť.

**Tabuľka 1 Objem pary pri odparovaní anestetika**

|                          | <b>Halotan</b> | <b>Enfluran</b> | <b>Isofluran</b> |
|--------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| ml pary z 1 ml kvapaliny |                |                 |                  |
| pri 20 °C                | 224            | 197             | 197              |
| pri 25 °C                | 228            | 200             | 200              |

Spotreba kvapalného anestetika v ml sa vypočíta podľa vzorca:

$$\text{prietok (ml/min)} \times \frac{\text{koncentrácia anestetika} \times \text{trvanie (min)}}{\text{množstvo pary z 1 ml anestetika}}$$

Pri minimal-flow anestézii isofluranom je to: 500 ml/min x 0,01 x 60 min / 200 = 1,5 ml/h. Základné charakteristiky inhalačných anestetik sú v tabuľke 3.

#### 4. Kategórie odparovačov

Odparovače je možné klasifikovať podľa viacerých kritérií.

##### I. Podľa konštrukcie

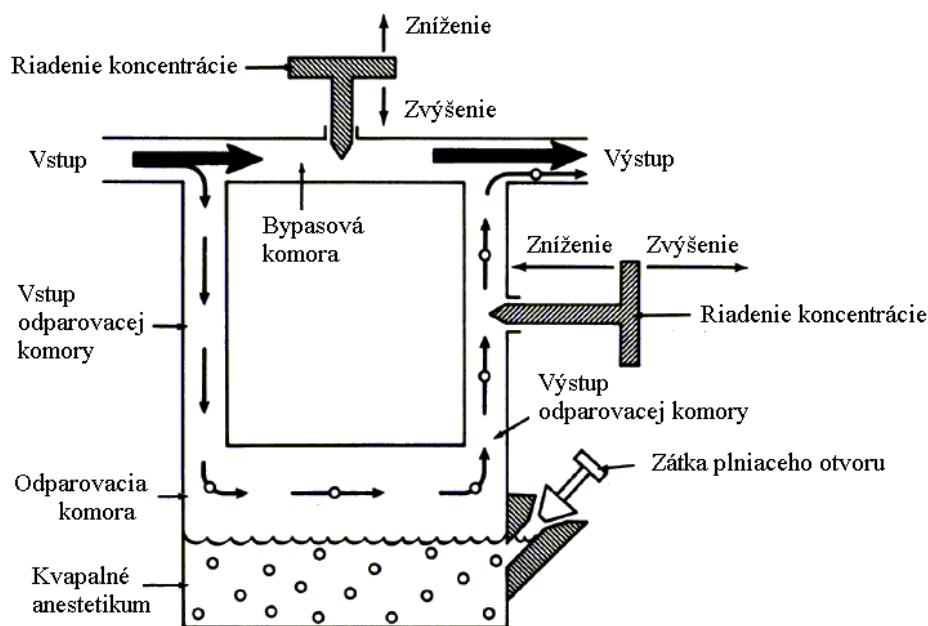
a) Jednokomorové - všetok nosný plyn prechádza cez odparovaciu komoru..

b) Dvojkomorové - v odparovacej komore sa anestetikum odparuje a nasycuje prúd prechádzajúcich plynov parami anestetika. V zmiešavacej komore sa tieto plyny nasýtené anestetikom miešajú s plynmi, ktoré sú privádzané priamo zo vstupu zariadenia.

Anestetiká s veľkou terapeutickou šírkou (éter, chloroform) je možné odparovať v jednoduchom jednokomorovom odparovači, ktorý je univerzálny pre viacero anestetík; koncentrácia sa nastavuje iba v relatívnych číslach

Potentné inhalačné anestetiká nasycujú prechádzajúce plyny na koncentráciu, ktorá je vyššia ako je potrebné na anestéziu. Tlak pary halotanu je pri teplote 20 °C 240 mmHg, čo zodpovedá koncentrácii  $760/240 = 32 \%$ , pre isofluran je to 30 %. Preto iba časť nosného plynu z rotametrov prechádza odparovacou komorou, väčšia časť prechádza tzv. bypasovou komorou a pri miešaní s tou časťou plynu, ktorá prešla odparovacou komorou, znižuje koncentráciu odpareného anestetika na klinicky vhodnú výšku.

Regulácia koncentrácie pary anestetika sa robí voľbou množstva nosného plynu vedené cez bypasovú a odparovaciu komoru. Preto sa tieto odparovače označujú aj ako odparovače s *variabilným bypasom* (obrázok 2).



Obrázok 2 Schéma odparovača s variabilným bypasom

##### II. Podľa umiestnenia:

a) *Mimo okruh* - za rotametrami pred výstupom z prístroja

b) *V okruhu* - v inspiračnom alebo expiračnom ramene

Ak je odparovač umiestnený medzi blokom prietokomerov a výstupom z anestéziologického prístroja odparuje nepretržite, pretože plyny pretekajú odparovačom trvale. Ak je odparovač

zaradený v okruhu odparuje prerušovane a množstvo odpareného anestetika závisí od veľkosti dychového objemu a frekvencie dýchania.

### III. Podľa konštrukcie:

a) *Prebublávajúce odparovače* (bubble-through odparovače). Nosný plyn vyúsťuje pod hladinou anestetika, pri prebublávaní plyn strhuje so sebou pary anestetika. Príkladom je Cooper Kettle, Halox a EO-1 ktorým boli vybavené prístroje Chirana N-5

Najznámejším typom prebublávacieho odparovača je tzv. *cooper kettle* vaporizer. Vyvinul ho v USA L.Moris na žiadosť Ralpa Watersa, ktorý chcel podávať kontrolovaným spôsobom chloroform. Kyslík prechádzal v odparovacej komore cez porózny kotúč ponorený do anestetika, v ktorom sa vytvárali drobné bublinky. Pri prechode na hladinu sa plne nasýtili anestetikom. Na udržanie teploty bol kotol umiestnený vo vodnom kúpeli, neskôr bol pridaný aj teplomer. Tento odparovač bol univerzálny, pri znalosti tlaku pary a teploty bolo možné pomerne presne dávkovať vtedajšie anestetiká. Tento odparovač bol použitý aj pri zavádzaní halotanu v roku 1956.

b) *Povrchové odparovače* (flow over alebo plenum odparovače) - plyny prechádzajúce odparovačom sa nasycujú parami anestetika z priestoru nad jeho hladinou

*Draw-over* odparovače (simple plenum vaporizers) sa charakterizujú tým, že nosný plyn je „ťahávaný spredu“ cez povrch anestetika vplyvom inšpiria pacienta alebo aspiráciou samorozpínacieho vaku. Prietok je diskontinuálny v rytme respirácie, vstupný tlak je nulový (atmosférický), na výstupe je tlak negatívny.

Konštrukcia je jednoduchá, vnútorný odpor nízky. Tento dvojkomorový odparovač je možné použiť pri spontánnom dýchaní a umiestniť do okruhu, koncentrácia anestetika potom závisí od minútovej ventilácie a vzhľadom na recirkuláciu anestetika môže nadobudnúť nebezpečnú výšku. Odparovače nie sú presne kalibrované, koncentrácia sa nastavuje v relatívnych číslach a je možné ich použiť pre rôzne inhalačné anestetiká. Sú vhodné pre primitívne pomery, kde chýba elektrický rozvod a stlačené plyny (existujú aj vojenské verzie). Do tejto skupiny patria odparovače EMO (Epstein-Macintosh-Oxford), OMV (Oxford Miniature Vaporizer, Penlon), PAC Ohmeda.

*Push-over* odparovače (improved plenum vaporizers) sa charakterizujú tým, že plyn je „tlačný spredu“ cez odparovač, ktorý môže mať veľký odpor. Ide o odparovače, ktoré sú zaradené mimo okruh.

c) *Knôtové* - Pri čiastočnom ponorení knôtu alebo niti v odparovacej komore pod hladinu anestetika zvýši sa odparovacia plocha a tým účinnosť odparovača. Množstvo vytvorenej pary závisí od prietoku plynu, veľkosti povrchu a času kontaktu s kvapalinou, čiže aj od kapacitu a konfigurácie komory. Príkladom je odparovač EO-5.

d) *Vstrekovacie odparovače* - do prúdu plynov je v odparovacej komore vstrekované anestetikum zo zásobníka presnou pumpou. Vstrekuje sa buď kvapalina alebo para anestetika. Prvý typ odparovača sa používa u anestéziologického prístroja Physioflex-Dräger, ktorý je určený na kvantitatívnu anestéziu (prívod čerstvých plynov sa rovná ich momentálnej spotrebe). Druhý typ sa používa predovšetkým u odparovača na desfluran; typ Elsa (Datex-Engström) je určený aj pre ďalšie halogénované anestetiká.

### IV. Podľa stabilizácie teploty a prietoku

a) *Teplne kompenzované* odparovače: majú zabudované zariadenie (najčastejšie bimetalový pásik), ktoré zabezpečuje nastavenú koncentráciu anestetika bez ohľadu na meniacu sa teplotu.

b) *Teplne stabilizované* odparovače majú vstavaný teplomer, ktorý meria teplotu kvapalného anestetika a koncentrácia sa nastavuje so zohľadnením teploty. Aby sa korekcia nemusela robiť príliš často sú zhotovené z medi, ktorá dobre kumuluje teplo (MEDI)

c) *Prietokovo stabilizované* odparovače zabezpečujú koncentráciu anestetika bez ohľadu na veľkosť prietoku plynov cez odparovač.

Prvým teplotne kompenzovaným odparovačom „tec“ pre halotan bol Fluotec, ktorý vyrobila pre tento účel založená firma Cyprane. Bol použitý bimetalový pásik.

**V. Podľa špecificity:**

a) Univerzálne pre všetky anestetiká (staršie typy)

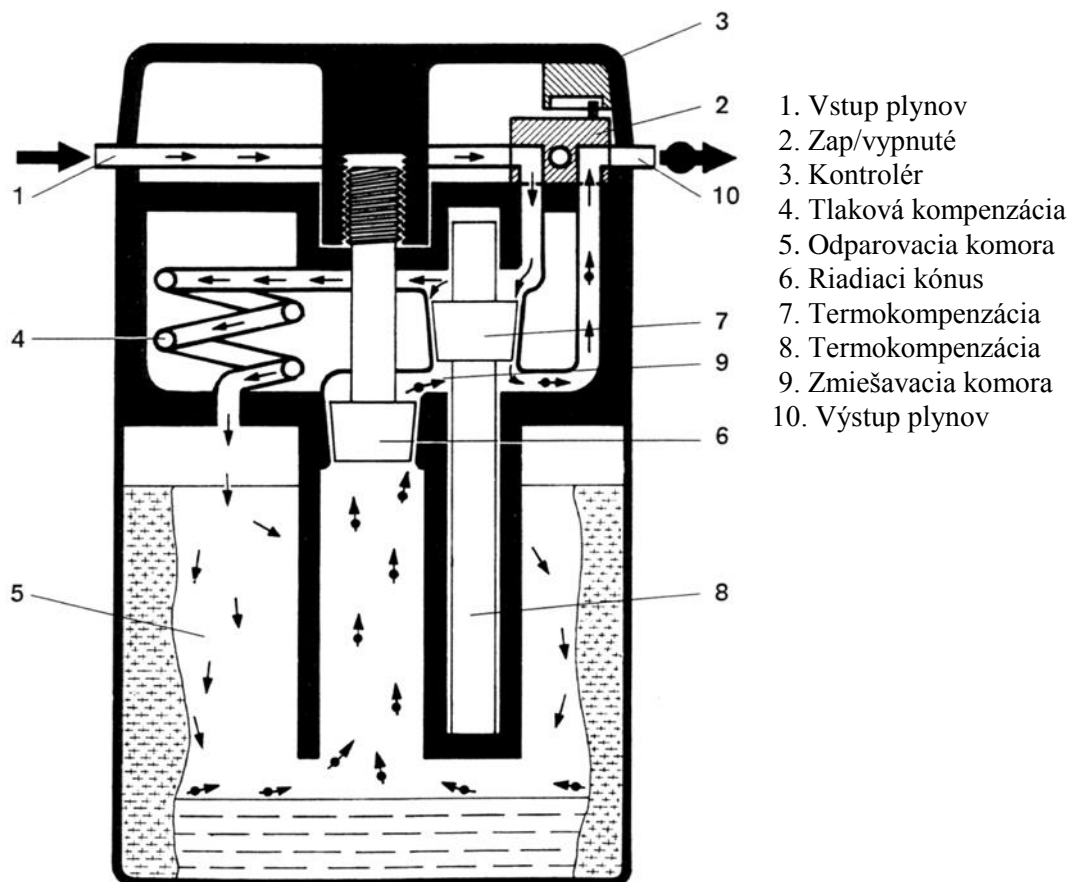
b) Určené pre jedno konkrétne anestetikum (súčasný typ)

Väčšinu súčasných odparovačov je možné charakterizovať ako flow-over/push-over, s variabilným bypasom, teplotne kompenzované, agent-špecifické, zaradené mimo okruh.

Konštrukciu je možné demonštrovať na príklade odparovača Dräger (obrázok 3):

Odparovač obsahuje kontrolér, bypasovú komoru, odparovaciu komoru, plniaci otvor. Cez plniaci otvor sa naplní odparovacia komora kvapalným anestetikom. Plniaci otvor je umiestnený tak, aby nemohlo dôjsť k preplneniu komory. Pri preplnení alebo nakláňaní odparovača sa anestetikum môže dostať do bypasovej komory s možnosťou predávkovania. Kontrolér je variabilný restriktor, ktorý sa môže nachádzať v bypasovej komore alebo na výstupe z odparovacej komory. Úlohou kontroléra je rozdeľovať prietok medzi odparovaciu a bypasovú komoru.

Plyn dávkaný rotametrami sa dostáva na vstup odparovača. Až 90 % zmesi plynu prechádza cez odparovač priamo cez bypasovú komoru, iba okolo 10 % cez odparovaciu komoru. V závislosti od teploty a tlaku pary sa plyn prechádzajúci odparovacou komorou nasycuje parou anestetika. Na výstupe odparovača sa oba prietoky spájajú a konečná koncentrácia anestetika závisí od pomeru oboch prietokov.



- 1. Vstup plynov
- 2. Zap/vypnuté
- 3. Kontrolér
- 4. Tlaková kompenzácia
- 5. Odparovacia komora
- 6. Riadiaci kónus
- 7. Termokompenzácia
- 8. Termokompenzácia
- 9. Zmiešavacia komora
- 10. Výstup plynov

Obrázok 3. Schéma odparovača Dräger

Tento typ odparovača sa používa pre halotan, enfluran, isofluran i sevofluran. Odparovače sa ciachujú u výrobcu v percentách pri teplote  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  a tlaku 101,3 kPa (štandardný atmosférický tlak).

#### **Desfluran**

Desfluran, posledné z rady inhalačných anestetík, sa v niektorých vlastnostiach odlišuje od ostatných anestetík. Má vysokú volatilitu, vysoký tlak pary, bod varu  $22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , stredne silný účinok (MAC je 4 - 7 x vyššia ako u ostatných anestetík), preto ho nie je možné podávať pomocou klasického odparovača. Pri prechode plynu odparovacou komorou sa odparuje enormné množstvo anestetika. Vysoká koncentrácia a vysoké teplo odparovania desfluranu ale vedie k rýchlemu ochladzovaniu. Tento odparovač je preto konštruovaný ako odparovač so vstrekaním pary anestetika.

Odparovač je ohrievaný na teplotu  $39\text{ }^{\circ}\text{C}$  a v odparovacej komore je vytvorený tlak 1550 mmHg, čo eliminuje možnosť varu pri bežnej teplote, ale vytvára podmienky za ktorých ma anestetikum relatívne nízku volatilitu. Pomocou ventilu sa para vstrekuje do prúdu nosného plynu, ktorý v tomto prípade neprechádza odparovacou komorou. V tlakovom systéme majú zmeny teploty iba malý vplyv na koncentráciu anestetika.

Výsledný odparovač, napr. TEC 6 Ohmeda, váži 9,5 kg s koncentráciou 1 - 18 obj %.

#### **4. Faktory, ktoré majú vplyv na výstup odparovača, presnosť odparovačov**

*Presnosť* sa vyjadruje ako pomer medzi nastavenou a nameranou koncentráciou anestetika. V ideálnom prípade sú obe koncentrácie rovnaké a pomer je jedna. Za prijateľnú presnosť sa považuje  $\pm 20\%$  alebo  $\pm 0,2$  obj %. Nepresnosť sa prejavuje v nižšej alebo vyššej koncentrácii ako nastavenej, častejšie je koncentrácia nižšia.

Ako už bolo spomenuté, výstup z odparovača by mal byť konštantný bez ohľadu na zmeny v prietoku a zložení nosných plynov, teploty a tlaku prostredia, kolísania teploty v súvislosti s odparovaním a kolísania tlaku pri umelej ventilácii.

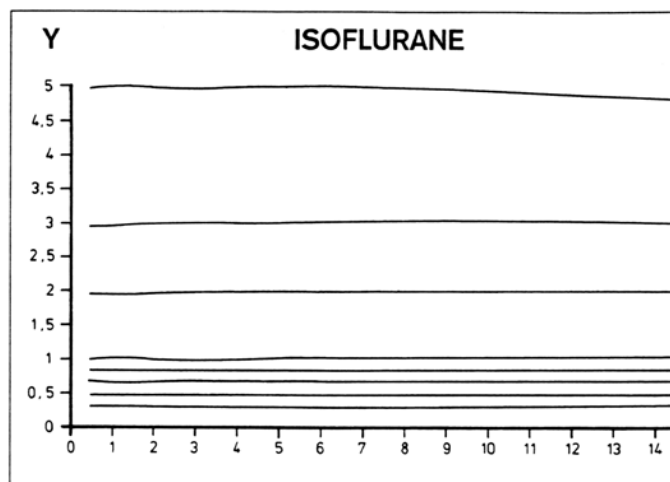
Dosiahnuť absolútnu konštantnosť a presnosť v praxi je ale ťažké, pretože so zmenou podmienok prostredia sa menia fyzikálne vlastnosti anestetika a odparovača. Súčasne odparovače preto nie sú ideálne. Vplyv má aj konštrukcia odparovača, podmienky používania a stupeň používania.

#### **Prietok**

Pri konštantnom nastavení koncentrácie sa táto mení v závislosti od prietoku nosných plynov. To je zjavné hlavne pri extrémnych hodnotách prietoku. Pri prietoku pod 250 ml je koncentrácia nižšia ako zvolená, pretože nie je dostatočná turbulencia na dobré odparovanie anestetika. Pri prietokoch nad 15 l je koncentrácia tiež nižšia a to pre nedostatočné miešanie a saturáciu anestetikom. Aj zmeny v odpore oboch komôr pri prietoku majú vplyv na nižšiu koncentráciu anestetika. Súčasne odparovače ale majú konštantný výstup v širokom rozmedzí prietoku 250 ml - 15 litrov (obrázok 4).

#### **Zloženie nosného plynu**

Koncentrácia anestetika sa mení v závislosti od nosného plynu, napr. pri rýchlom prepnutí z kyslíka na rajský plyn koncentrácia poklesne a naopak. Dôležitá je rozpustnosť plynu v anestetiku a jeho viskozita, prídanie  $\text{N}_2\text{O}$  prechodne znižuje koncentráciu inhalačného anestetika vzhľadom na svoju nízku rozpustnosť. Efekt je väčší pri nižšej hladine anestetika v komore, vyššej nastavenej koncentrácii a prudkej zmena zloženia nosného plynu. Celkove ale tento dej nie je klinicky významný a odparovače sú spravidla kalibrované na kyslík alebo na vzduch.



Obrázok 4 Vzťah medzi koncent. isofluranu na výstupe (Y) a prietokom plynov (X)

#### Vplyv teploty

Ako už bolo spomenuté, pri nižšej teplote sa koncentrácia anestetika znižuje, pri vyššej zvyšuje. Pri prekročení teploty varu je odparovanie nekontrolované. Súčasné odparovače zabezpečujú konštantnú koncentráciu anestetika pri širokom kolísaní teploty v rozsahu 15 °C až 36 °C. Kompenzačný mechanizmus udržiava konštantnú koncentráciu doplnkovou reguláciou pomeru prietoku cez bypasovú a odparovaciu komoru v závislosti od teploty. Okrem toho sa na konštrukciu odparovačov používajú kovy s relatívne vysokým špecifickým teplom a teplotnou konduktivitou, čo minimalizuje straty tepla pri odparovaní. Teplotná kompenzácia má ale určitú zotrvačnosť (6 min/°C), čo sa ale prakticky prejaví iba pri náhlejšej veľkej teplotnej zmene.

#### Atmosférický tlak

Tlak nemá vplyv na odparovanie anestetika (iba teplota), ale na jeho koncentráciu vo výstupnej zmesi. Napr. pri nastavení odparovača na 1 % je skutočná koncentrácia pri tlaku 760 mmHg 1 obj %, pri tlaku 380 mmHg až 3,6 obj %, pri tlaku 1520 mmHg iba 0,4 obj %. Bežné kolísanie atmosférického tlaku ale nemá klinický význam. S výškou sa znižuje bod varu anestetika, napr. vo výške 3000 m je u halotanu 35 °C proti 50,2 °C na úrovni mora.

#### Intermitentný spätný tlak

Vyšší spätný tlak pri použití bypasu kyslíka alebo pri umelej ventilácii zvyšuje koncentráciu anestetika. Ide o tzv. pumpový efekt, ktorý spočíva v tom, že počas inšpiria sa stlačia molekuly v oboch komorách, pri uvoľnení tlaku potom dochádza k spätnému toku plynu s molekulami s odparovacej do bypasovej komory so zvýšením koncentrácie anestetika. Efekt je výraznejší pri nízkom prietoku, nízkej nastavenej koncentrácii a nízkej hladine anestetika v komore. Vplyv má aj vysoká frekvencia ventilácie, vysoké inspiračné tlaky a hlavne rýchly pokles tlaku na začiatku expíria. Výrobcovia sa snažia konštrukčnými opatreniami (napr. menšia odparovacia komora, rezistor) tento efekt minimalizovať a udržať presnosť na hodnote +/- 0,2 obj %. Pri používaní nižších koncentrácií a prietoku plynov sa odporúča udržiavať plnú náplň odparovača.

#### 5. Nebezpečia pri používaní odparovačov

Medzi nebezpečia patrí zámena anestetika, súčasné používanie viac ako jedného anestetika, zaradenie odparovača v opačnom smere, naklonenie a preplnenie odparovača, netesnosť.

#### Bezpečnostné opatrenia

a) Súčasné odparovače sú vzhľadom na potrebu vysokej presnosti dávkovania konštruované iba pre jedno anestetikum. Pri naliatí volatilnejšieho anestetika je koncentrácia vyššia a

naopak. V záujme prevencie záměny anestetika bola prijatá norma ISO/DP 5358 sa farebné označenie odparovačov - tabuľka 2.

**Tabuľka 2 Farebné označenie odparovačov**

| Anestetikum | Farba     |
|-------------|-----------|
| Halotan     | červená   |
| Isofluran   | purpurová |
| Enfluran    | oranžová  |
| Sevofluran  | žltá      |
| Desfluran   | modrá     |

Okrem toho, nalievacie otvory a násadce fliaš s anestetikom sú vybavované nezámennými koncovkami, podobne ako je tomu u koncoviek so stlačenými plynmi (pin safety filler system). Tento spôsob zároveň znižuje riziko rozliatia anestetika.

b) Ak sa v anestéziologickom prístroji nachádza viac odparovačov pre kvapalné anestetiká hrozí riziko súčasného otvorenia viacerých odparovačov a predávkovanie pacienta. Výrobcovia vybavujú svoje prístroje tzv. interlock systémom, ktorý pri otvorení jedného odparovača blokuje ostatné odparovače.

c) Pri zaradení odparovača v opačnom smere sa koncentrácia anestetika zvyšuje. Niektorí výrobcovia tomu bránia zaradením jednocestného ventilu, ktorý zabráni prevádzke v opačnom smere.

d) Pri naklonení odparovača sa môže kvapalné anestetikum dostať z odparovacej do bypasovej komory, čo má za následok až 10 x vyššiu ako nastavenú koncentráciu anestetika na výstupe. To je možné hlavne u voľne stojacich odparovačov. V prípade nahnúť o viac ako 45 stupňov treba plyn vypustiť a odparovač prepláchnuť prietokom 10 litrov počas 5 - 20 minút. Pred ďalším použitím treba prekontrolovať koncentráciu.

Podobné riziko hrozí pri preplnení odparovača. Množstvo anestetika treba kontrolovať v priehľadnom okienku.

e) Pri nedostatočnom uzavretí nalievacieho otvoru alebo v miestach tesnení, vstupu a výstupu z odparovača môžu vzniknúť netesnosti. Netesnosť v odparovači sa prejaví iba v polohe ON. Ak má odparovač spätný ventil, netesnosť sa neprejaví pri konvenčnom teste s pretlakom v systéme. V tomto prípade treba použiť špeciálnu testovaciu pomôcku a negatívny tlak.



**Tabuľka 3 Charakteristiky inhalačných anestetík**

|   | <b>Oxid dusný</b>                  | <b>Halotan</b>                       | <b>Enfluran</b>                                   | <b>Isofluran</b>                                  | <b>Sevofluran</b>                              | <b>Desfluran</b>                               |
|---|------------------------------------|--------------------------------------|---|---|--|--|
| Vzorec  | N <sub>2</sub> O                   | C <sub>2</sub> HCl Br F <sub>3</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O Cl F <sub>5</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O Cl F <sub>5</sub> | C <sub>4</sub> H <sub>3</sub> O F <sub>7</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O F <sub>6</sub> |
| Mol. Hmotnosť (Dalton)                            | 44,0                               | 197,4                                | 184,5   | 184,5   | 200,0  | 168,0  |
| Forma   | kvapalina + plyn<br>tlaková nádoba | kvapalina<br>fľaša                   | kvapalina<br>fľaša                                | kvapalina<br>fľaša                                | kvapalina<br>fľaša                             | kvapalina + para<br>špeciálna fľaša            |
| Hustota pary<br>(g/l, 20 °C, 760 mmHg)            | 1,99                               | 8,2                                  | 7,67  | 7,67  | 8,2  | 7,0  |
| Hustota kvapaliny (g/ml,<br>20 °C)                | 1,26                               | 1,86                                 | 1,52  | 1,50  | 1,51   | 1,45   |
| Latentné teplo odparovania<br>(kJ/mol)            | 18,2                               | 28,2                                 | 32,3  | 28,9  |  | 29,6   |
| Bod varu (°C, 760 mmHg)                           | -88,45                             | 50,2                                 | 56,5  | 48,5  | 58,5   | 22,8   |
| Tlak pary (mmHg, 20 °C)                           | 39 000                             | 244                                  | 172   | 240   | 160  | 671  |
| Max. koncentrácia pary<br>(vol%, 20 °C, 760 mmHg) | 100,0                              | 32,1                                 | 22,6  | 31,4  | 21,0   | 88,3   |
| ml pary/ml kvapaliny (20 °C)                      | 650                                | 227                                  | 198   | 196   | 181  | 208  |

**Literatúra**

1. Chakravarti S, Basul S.: Modern Anaesthesia Vapourisers. Indian J Anaesth 2013;57:464-471.
2. Simpson S.: Vaporisers. Update in Anaesthesia 2008;24:135-140.
3. BoumphreaS, Marshal N.: Understanding vaporisers. Continuing Education in Anaesthesia 2011;11:199-203.