ATESTAČNÍ PŘÍPRAVA

Anesteziologický přístroj, dýchací systémy

Šindelář Jan, Cvachovec Karel, Adamus Milan, Černý Vladimír

KARIM UK v Praze, LF v Hradci Králové a FN Hradec Králové

Anest. intenziv. Med., 24, 2013, č. 3, s. 199–202

1. Vymezení otázky a struktura problému
2. Důležité body
3. Volné užitečné webové odkazy

1. Vymezení otázky a základní struktura problému

Anesteziologický přístroj

- Definice: Přístroj umožňuje bezpečnou aplikaci inhalačních anestetik a zajišťující ventilaci a oxygenaci pacienta.
- Základní součásti přístroje:

a) vysokotlaký systém (umožňuje napojení na vysokotlaké zdroje plynů):
   – zdroj plynů – kyslík, oxid dusný, vzduch (centrální rozvod nebo z tlakových lahví)
   – rychlospojky s nezaměnitelným průměrem určeným pouze pro jeden plyn
   – chlopně jednocestné

b) nízkotlaký systém (umožňuje směšování kyslíku/vzduchu s anestetickými plyny)
   – výstup čerstvé směsi plynů
   – obkročný ventil (bypass) – po stisknutí dodá do systému rychle 100% kyslík (35–75 l/min) CAVE barotrauma!
   – dávkovací zařízení
      – alarmové systémy upozorňující na kritický
      – pokles tlaku plynů
      – chlopně
      – průtokoměry
      – dávkovací zařízení (odpařovače, které jsou tzv. agent-specific)
   – dýchací systém (umožňuje dodávku čerstvé dýchací směsi do pacienta)
   – odsávací systém (odstraňuje nadbytek plynů)
      – aktivní (podtlak, vakuum) = aktivní odvádění přebytečného množství plynů
      – pasivní

Dýchací systémy

- Definice: Anesteziologický dýchací systém je měnlivý soubor, umožňující podání definovaného složení anestetické dýchací směsi spontánně dýchajícímu i uměle ventilovanému pacientovi.
- Složení = systém se může podle konstrukčního řešení skládat z hadic, zásobníku plynů, jednocestných ventilů (či ventilu proti zpětnému vdechování), přetlakového ventilu a pohlcovače CO_2, obsahujícího absorpční směs.
- Dýchací systémy lze dělit:
   – **podle míry zpětného vdechování** podle Pokorného na systémy:
      – bez zpětného vdechování
      – s částečným zpětným vdechováním
      – s úplným zpětným vdechováním.
   – **podle směru proudění plynů a konstrukčního** řešení lze rozdělit systémy do dvou základních skupin:
      – jednocestné systémy
      – okruhy.
- Jakákoliv klasifikace dýchacích systémů je v zásadě založena na způsobu odstraňování CO_2. Možnosti **eliminace CO_2** jsou:
   – rozředění CO_2 do atmosféry (výjimečně – otevřené kapací systémy)
   – dostatečným průtokem čerstvých plynů
   – použitím ventilu oddělujícího vdech a výdech (ventil proti zpětnému vdechování)
   – absorpce CO_2 pomocí pohlcovače.
- Základní charakteristiky dýchacích systémů jsou v tabulkách 1 a 2.

2. Důležité body

Charakteristika a popis jednotlivých systémů

a) **Otevřený systém** – pacient vdechuje páry anestetika, jehož nosnou směsí je okolní vzduch nebo plyny a páry z anesteziologického přístroje bez vřa-

Obr. 1
Schimmelbuschova maska

zení dýchacího vaku jako zásobníku plynné směsi. Reinhalace vydechovaných plynů není možná. Dýchací odpor a vylučování CO_2 nejsou systémem ovlivněny. Příkladem může být již nepoužívaná *Schimmelbuschova maska* (obr. 1). Tvořil jí kovový rám, který se přikládal na obličej a mřížka, do které se zakládala gáza. Na ni se kapalo prchavé anestetikum (éter). Odpařující se anestetikum pacient přes masku vdechoval spolu se vzduchem operačního sálu. Inspirační koncentrace anestetika nebyla kontrolovatelná a umělá ventilace nebyla možná. Dalšími variantami otevřeného systému je Ayreovo T a insuflační systém (tabulka 1).

b) **Polootevřený systém** – páry inhalačního anestetika jsou v tomto systému obsaženy ve směsi čerstvých plynů. Inspirium a exspirium je odděleno, nemůže tudíž docházet ke zpětnému vdechování. Vdech se děje ze zásobníku. Pacient vydechuje do okolní atmosféry, respektive do zařízení odsávajícího anesteziologické plyny. V takovém systému není potřeba pohlcovače CO_2, protože dochází k jeho selektivní eliminaci díky **ventilu proti zpětnému vdechování** či dvěma jednocestným chlopním (okruh). Průtok čerstvých plynů se musí minimálně rovnat minutovému dechovému objemu pacienta.

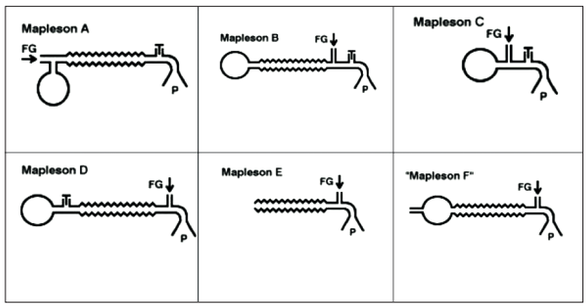
Výhody polootevřeného systému s ventilem proti zpětnému vdechování:
- zpětné vdechování CO_2 je vyloučeno
- známé složení vdechovaných plynů
- možnost rychlé změny koncentrace složek dýchacích plynů
- dýchací vak umožňuje prohlubovanou i řízenou ventilaci a posouzení spontánní dechové aktivity.

Nevýhody:
- ztráty tepla a vody

Tab. 1 Dělení dýchacích systémů**

Systém	Vak	Zpětné vdechování	Absorbér	Kontakt s atmosférou inspirium/exspirium		Ventily	Průtok čerstvých plynů
Otevřený							
Kapací (gravitační)	ne	ne	ne	ano	ano		
Insuflační systém	ne	ne	ne	ano	ano		
Ayreovo T	ne	ne	ne	ano	ano		>2,5 dechový MV
Polootevřený bez zpětného vdechování							
Ventilový (Frumin, Leight, Fink, Stephen)	ano	ne	ne	ne	ano	ano	≥ dechový MV
Ayreovo T	ne	ne	ne	ne	ano	ne	>2,5 dechový MV
Okruh	ano	ne	uzavřen	ne	ano	ano	≥ dechový MV
Polozavřený							
Mapleson A, B, C, D,	ano	částečné*	ne	ne	ano	přetlakový	< dechový MV
Jackson Rees	ano	částečné*	ne	ne	ano	přetlakový	< dechový MV
Koaxiální – Bain	ano	částečné*	ne	ne	ano	přetlakový	< dechový MV
To-and-fro	ano	částečné*	ano	ne	ano	přetlakový	< dechový MV
Okruh	ano	částečné*	ano	ne	ano	2 jednocestné + přetlakový	< dechový MV
Zavřený							
Okruh	ano	ano	ano	ne	ne	2 jednocestné + přetlakový	nízký°°
To-and-fro	ano	ano	ano	ne	ne	přetlakový	nízký°°

***Míra zpětné vdechování je dána poměrem průtoku čerstvých plynů k dechovému MV pacienta.**
****Teoreticky by při vyrovnané hloubce anestezie mohl postačit pouze příkon kyslíku rovnající se jeho bazální spotřebě.**
Tradiční dělení anestetických dýchacích systémů podle technicko-patofyziologického hlediska umožňuje, aby jeden systém byl podle příkonu čerstvých plynů zařazen do více kategorií.



Obr. 2 Systém podle Maplesona

– možná porucha funkce ventilu proti zpětnému vdechování.

Poznámka: Pro pediatrické účely se v anestezii používají polootevřené systémy bez ventilu (Ayreovo T). U Ayreova T brání zpětnému vdechování příkon čerstvých plynů (nejméně 2,5krát vyšší než dechový minutový objem pacienta – zjištěno empiricky). Splňuje následující požadavky:

- minimální mrtvý prostor
- možnost spontánního i řízeného dýchání
- nepřítomnost zpětného vdechování
- minimální průdyšný odpor.

Ayreovo T je nejjednodušší anesteziologický systém. Mezi přívodem čerstvého plynu a tracheální rourkou, respektive maskou je vřazena T spojka, jejíž boční rameno zůstává otevřené a volně spojené s okolní atmosférou. Výdech se uskutečňuje volným ramenem. Objem bočního ramene musí být větší než dechový objem pacienta. Původní T spojka byla rozličně modifikována přidáním vaku, hadic a výdechového ventilu. Základní klasifikaci těchto systémů sestavil Mapleson (Maplesonův systém A–F) – obrázek 2.

c) **Polozavřené systémy** – v polozavřeném systému dochází k částečnému zpětnému vdechování. Vdech a výdech se částečně mísí. Část vydechovaných plynů uniká do atmosféry přetlakovým ventilem, jehož odpor proti výdechu lze nastavit. Přívod plynů musí být stejný nebo vyšší než jejich spotřeba. Polozavřené systémy mají 2 hlavní modifikace:

– bez pohlcování CO_2
– s pohlcováním CO_2 (okruhy a systém *to-and-fro*)

Faktory určující složení vdechované směsi jsou u těchto systémů složitější než u systémů polootevřených. Stupeň zpětného vdechování je určován:

– umístěním výdechového (přetlakového) ventilu systému
– objemem přiváděných plynů
– minutovým dechovým objemem pacienta.

Čím více čerstvé plynné směsi do systému přivádíme, případně čím je menší minutový dechový objem pacienta v poměru k objemu přiváděné plynné směsi, tím menší je míra zpětného vdechování.

Klasifikace jednocestných polozavřených systémů (viz obr. 2)

Mapleson A (Magillův systém)

Nejčastěji se užívá k anestezii se spontánním dýcháním. Při spontánním dýchání lze přetlakový ventil zcela otevřít, tím pádem má možnost přebytečný plyn unikat do okolí. Při zvolení správného příkonu čerstvých plynů (většího než je minutová alveolární ventilace) k zpětnému vdechování CO_2 nedochází. Při prohlubované nebo řízené ventilaci, kdy je pojistný ventil více uzavřen, by docházelo k reinhalaci CO_2.

Mapleson B a C

Tyto dýchací systémy jsou si velmi podobné svojí konstrukcí, se vstupem pro přítok čerstvých plynů a výdechovým ventilem umístěných v pacientské části okruhu. Aby nedocházelo k reinhalaci CO_2 je zapotřebí vysoký průtok čerstvých plynů. V praxi nejsou v tuzemsku běžně používány.

Mapleson D

Tento systém představuje další modifikaci s vstupem pro čerstvé plyny na pacientském konci a přidruženým dýchacím vakem a přetlakovým ventilem na konci druhém. Pro reinhalaci CO_2 není vhodný pro spontánní dýchání, naopak je velmi účinný při řízené ventilaci. Bainův systém je koaxiální verze Maplesonova D systému, kde příkon čerstvých plynů proudí vnitřní trubicí. Ta je obklopena zevním pláštěm, který odvádí plyny a páry z pacienta. Výhodou je kompaktnost systému.

Do Maplesonova systému D lze vložit pohlcovač CO_2 (modifikace podle Waterse: *to-and-fro*), což snižuje nároky na příkon čerstvých plynů.

Mapleson E

Tento systém není vybaven přetlakovým ventilem ani dýchacím vakem. Zajišťuje minimální dýchací odpor. Ayreovo T – polootevřený systém bez zpětného vdechování (viz výše).

Mapleson F (Jackson-Reesův systém)

Je to modifikovaný systém Ayreova T s možností řízené ventilace vakem, umístěným na konci volného raménka a obsahujícím otvor. Pro řízený vdech stačí otvor uzavřít. Při spontánní ventilaci vak slouží pro kontrolu dýchání (pohyby vaku). Požadavky na příkon čerstvých plynů jsou jako u Ayreova T.

Poznámka: Maplesonův A systém je nejúčinější pro spontání ventilaci a nejméně účinný pro řízenou ventilaci. Naopak Mapleson D systém (či Bainův) je nejúčinější pro řízenou ventilaci.

Tab. 2 Klasifikace anesteziologických systémů podle konstrukce

Systém	Dýchací vak	Zpětné vdechování
otevřený	ne	ne
polootevřený	ano	ne
polozavřený	ano	částečné
zavřený	ano	úplné

Okruh (obr. 3)

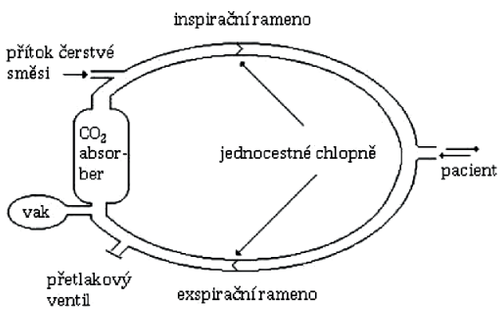
Základními konstrukčními částmi jsou:

- Inspirační a exspirační větev, připojené k pacientovi pomocí Y spojky (obr 3.).
- Dva jednocestné ventily zajišťují jednosměrný průtok plynů okruhem (při spontánní i řízené ventilaci).
- Pohlcovač oxidu uhličitého, s nátronovým vápnem, jako náplň pohlcovače CO_2 se zpravidla používá vlhký hydroxid vápenatý a hydroxid sodný. Procházející oxid uhličitý se rozpouští ve vodě za vzniku kyseliny uhličité, která reaguje s vápennou směsí. Reakce je exotermická a vzniká další voda:

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$$
$$2NaOH + H_2CO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + 2H_2O$$
$$+$$
$$Ca(OH)_2 \rightarrow 2\,NaOH + CaCO_3$$

Náplň pohlcovače je schopná regenerace a obsahuje barevný indikátor, který signalizuje její funkčnost. V současnosti užívané pohlcovače CO_2 mají objem náplně nejméně 1,5 l a jsou do dýchacího systému umístěny tak, aby průtok plynů byl vertikální. Přetlakový ventil umístěný v exspiračním rameni okruhu, slouží k regulaci nadbytečného tlaku v dýchacím systému a umožňuje únik nadbytečného plynu v okruhu. Čerstvé plyny jsou do okruhu přiváděny až po průchodu vydechovaných plynů pohlcovačem a brání vysušení náplně pohlcovače.

- Zásobní vak – plní se mezi jednotlivými vdechy. Kompresí vaku lze prohlubovat spontánní ventilaci. Vak je možno v místě spojení s okruhem nahradit výstupem ventilátoru anesteziologického přístroje.
- Manometr (mechanický nebo elektronický) – registruje tlakové změny v dýchacím okruhu v průběhu ventilace (spontánní či řízené).



Obr. 3 Schéma okruhu

Výhody okruhu:

- stálá koncentrace plynů v inspiriu
- udržení tepla a vlhkosti
- lze použít u všech věkových a hmotnostních kategorií
- možnost nízkého příkonu tzv. čerstvých plynů „low flow“ a „minimal flow“
- nízký průtokový odpor

Nevýhody okruhu:

- zvýšený mrtvý prostor
- možnost malfunkce chlopní

Konstrukční řešení anesteziologických dýchacích systémů musí brání možnosti jejich nefunkčního sestavení a je v souladu s normami TC 121 ISO. Průměr hadic je 22 mm, u dětí 15 mm. Základním modulem sestavování je souosý kužel 15/22 mm, u dětí nejútlejšího věku 8,5/15 mm.

3. Volné užitečné webové odkazy

- http://vam.anest.ufl.edu/anesthesiamachine/index.html
- http://instruction.cvhs.okstate.edu/vmed5412/Lecture09.htm
- http://www.udmercy.edu/crna/agm/06.htm

Adresa pro korespondenci:

Prof. MUDr. Vladimír Černý, Ph.D., FCCM
Fakultní nemocnice Hradec Králové
Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny

Dalhousie University, Dept. of Anesthesia, Pain Management and Perioperative Medicine, Halifax, Canada
e-mail: cernyvla1960@gmail.com

Inzerce A131008979 ▶