

Anestéziologické okruhy – low flow a minimal flow anestézia aj anestézia xenómom – princípy

Pavol Török

Anesteziologické dýchacie systémy “okruhy” - kategorizácia a princípy

V modernej anesteziológii sa používa principiálne viacero odlišných dýchacích systémov, ktoré majú svoju funkčnú charakteristiku.

Základnými podmienkami pre ich aplikáciu sú:

1. presná dodávka anestetického média, médií
2. presná dodávka koncentrácie O₂
3. prevencia akumulácie CO₂
4. malý prietochý odpor a malý mŕtvy priestor

Iné funkčné vlastnosti , ktoré by mal okruh spĺňať sú:

1. jednoduchý odvod odpadových plynov
2. adekvátne zvlhčovanie
3. jednoduchá konštrukcia
4. nízka hmotnosť
5. nízka cena - ekonomičnosť prevádzky

Klasifikácia dýchacích systémov a okruhov

Principiálne je klasifikácia založená na spôsobe odstraňovania CO₂ z okruhu. Existujú v podstate 4 základné spôsoby eliminácie CO₂.

1. úplná absorpcia CO₂ pomocou pohlčovača
2. čiastočná absorpcia CO₂ so zvýšeným FGF (fresh gas flow)
3. použitie ventilov na oddelenie inspiria a expira - systémy bez spätného vdychovania
4. rozriedenie CO₂ do atmosféry

Základné charakteristiky sú v tabuľke 1.

Dýchacie systémy s okruhom a spätným vdychovaním.

Okruh ako taký bol do anesteziologickej praxe zavedený Swordom (1928).

Základnými časťami okruhu sú inspiračná a expiračná vetva pripojená k pacientovi pomocou Y spojky a cez dva jednocestné ventily sú vetvy pripojené na vak, ktorý pracuje ako “kontrapľúca”. (ak sa vak vyprázdňuje, plnia sa pľúca a naopak).

Vyššie znázornené základné usporiadanie je vyslovene funkčnou schémou, pretože pre reálnu aplikáciu musí byť zaradený prítok čerstvých plynov FGF, pohlčovač a poistný pretlakový ventil, alebo riadený ventil na vypúšťanie prebytku plynov.

V podstate je jedno, kde umiestnime prívod čerstvých plynov, ale je logické umiestniť ho do inspiračnej časti okruhu, podobne ako pohlčovač. Na druhej strane je logické poistný ventil pripojiť do expiračnej časti okruhu.

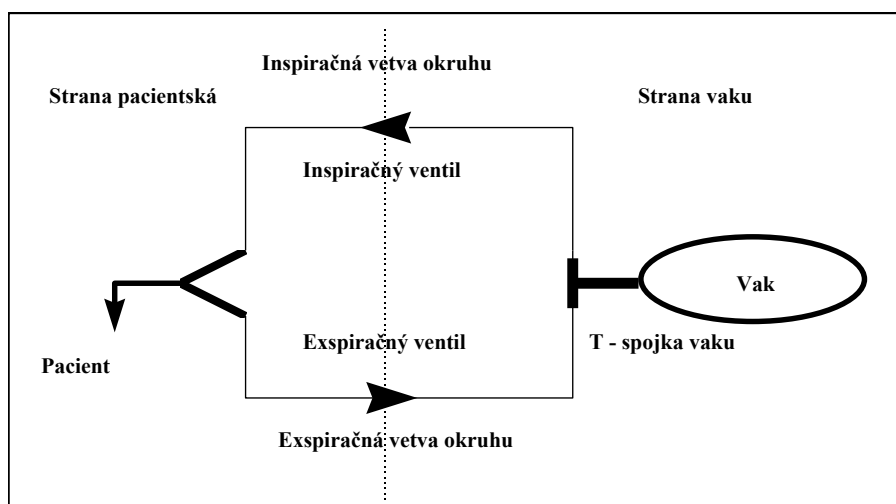
Jednocestné ventily pracujú zvyčajne na gravitačnom princípe a to preto, aby ich odpor bol čo najmenší, pretože s odporom rastie dychová práca spontánne dýchajúceho pacienta.

Základné usporiadanie klasického okruhu je na obrázku.

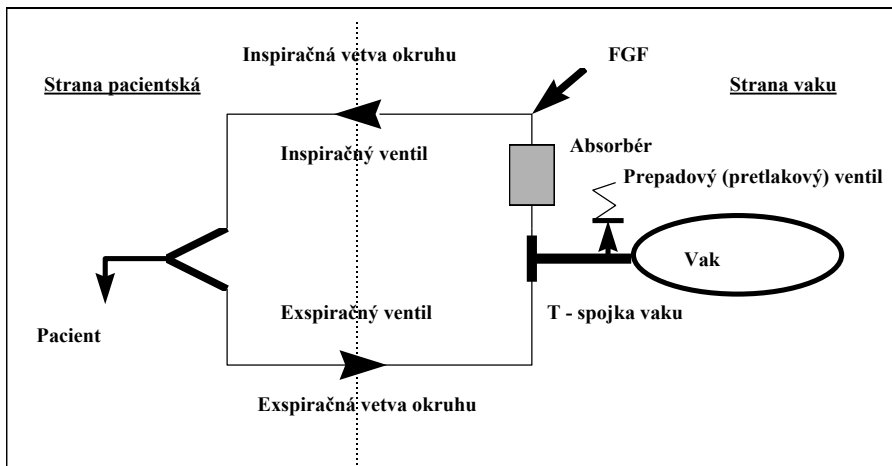
Tabuľka 1. Klasifikácia dýchacích systémov a okruhov

System	Vak	Spätne vdychovanie	Absorbér	Kontakt s atmosférou Inspirím Exspírím		Ventily	FGF
Otvorený							
Kvapkací (gravitačný)	nie	nie	nie	áno	áno	žiadne	neznáme
Insuflačný systém	nie	nie	nie	áno	áno	žiadne	neznáme
Ayreovo T	nie	nie	nie	áno	áno	žiadne	neznáme
Polootvorený bez spätého vdychovania							
<i>Ventilový</i> (Frumin, Leight, Fink, Stephen)	áno	nie	nie	nie	áno	áno	vysoký
Ayreovo T - <i>bezventilový</i>	nie	nie	nie	nie	áno	nie	vysoký
Polozatvorený							
Mapleson A,B,C,D,	áno	čiasoč.*	nie	nie	áno	jeden	stredný
Jackson Rees,	áno	čiasoč.*	nie	nie	áno	jeden	stredný
<i>Koaxiálny</i> -Bain	áno	čiasoč.*	nie	nie	áno	jeden	stredný
<i>Okruh-dvojcestný</i>	áno	čiasoč.*	áno	nie	áno	tri	stredný
Zatvorený							
Okruhový dvojcestný	áno	áno	áno	nie	nie	tri	nízky
To-and-fro	áno	áno	áno	nie	nie	jeden	nízky

* - spätne vdychovanie nie je, ak je FGF adekvátne
 nízky FGF - od 0,3 - 0,5 l/min, stredný FGF = 3 - 6 l/min, vysoký GFG - > 6 l/min.



Obrázok 1



Obrázok 2

Prietoky a koncentrácie plynov v okruhu.

Koncentrácia jednotlivých zložiek plynu v dýchacom okruhu závisí od niekoľkých faktorov. Základným je prítok čerstvých plynov (FGF). ďalšími faktormi sú metabolická aktivita pacienta, vychytávanie anestetických plynov, ako aj čas trvania anestézie.

V prípade, že FGF je nad 7 l/min, koncentrácia plynov v okruhu sa bude blížiť koncentrácii nastavenej na rotametroch a odparovači kvapalného anestetika. Čím viac bude klesať FGF pod 7 l/min, tým väčšie rozdiely budú v koncentrácii plynov v okruhu v porovnaní s nastavenými.

Pri nastavení FGF nad 7 l/min sa okruh bude podobáť na polootevorený systém bez spätného vdychovania a naopak, pri nízkom FGF na polozatvorený systém so spätným vdychovaním.

Mŕtvy priestor (V_{DM})

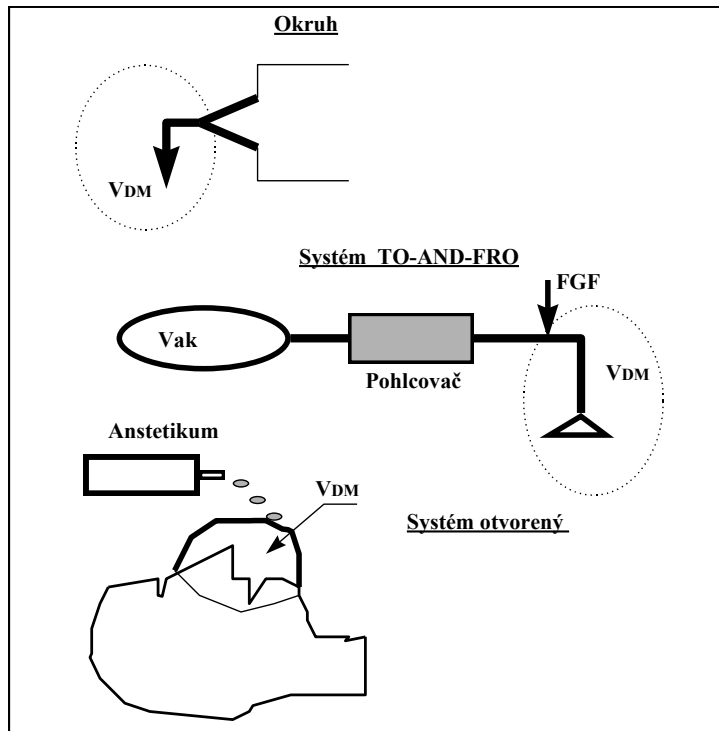
Môžeme definovať ako ten priestor, kde nedochádza k výmene plynov medzi krvou a alveolárnym kompartmentom. Tzv. anatomický mŕtvy priestor (V_{DA}) je tvorený bronchiálnym stromom, hypofaryngom a ústnou, či nosovou dutinou.

Mŕtvy priestor prístroja (V_{DM}), ktorý sa pripočíta k V_{DA} sú maska, prípojka masky či ET kanyly a časť Y spojky. Sú to teda tie časti, kde plyn preteká jedným kanálom počas inšpiria i expíria.

V prípade, že inšpiračný a expiračný ventil dokonale netesní vzniká v okruhu funkčný mŕtvy priestor, ktorý sa pripočítava k dvom predošlým.

Pri aplikácii anestézie ET kanylou V_{DA} klesá.

Základné miesta mŕtvych priestorov sú na obrázku.



Obrázok 3

Zväčšený V_D sa pri anestézii prejaví vzostupom $ETCO_2$ oproti kontrolnej skupine a vyžaduje zvyčajne zvýšiť VT , resp. MV . Spätne vdychovanie pri nedostatočnej eliminácii CO_2 sa prejaví zvýšením $FinCO_2$ nad nulové hodnoty.

Systémy so zatvoreným okruhom

Definícia. Zatvorený systém s okruhom môžeme charakterizovať úplnou izoláciou od atmosféry, bez úniku anestetickkej zmesi plynov, s úplným spätným vdychovaním a pohlcovaním CO_2 . Prívod kyslíka musí byť totožný s rýchlosťou spotreby. Prívod anestetických plynov musí byť taký, aká je aktuálna spotreba. Väčšie objemy anestetík sa zvyčajne privádzajú na začiatku anestézie, potom sú potrebné objemy podstatne nižšie.

Požiadavky. Perfektná absorpcia CO_2 , minimálny mŕtvy priestor, dokonale tesný systém vrátane tesnenej ET kanyly, minimálny prietochý odpor, ktorý sa dá zabezpečiť dostatočne hrubými hadicami a konektormi (u dospelých ISO M/F 22 mm), monitoring O_2 , N_2O , CO_2 a anestetík v okruhu.

Výhody. Veľmi dobré zvlhčovanie, relatívne vyhovujúce ohrievanie dýchacej zmesi, minimálne úniky, zníženie nákladov.

Odpor systému. Prietochý odpor systémom závisí od hustoty plynov, dĺžky a priemeru hadíc a spojovacích elementov, odporu ventilov, ako aj od počtu náhle sa meniaceho smeru prietoku (kolená) a elasticity vaku.

Je potrebné si uvedomiť, že zvýšenie odporu sa prejaví zvýšenou ventilačnou prácou a dosahovanie MV u spontánne ventilujúceho pacienta si vyžaduje väčšie dychové úsilie. V niektorých prípadoch môžu koncové pretlaky a podtlaky v dýchacích cestách prevýšiť hodnotu 5 - 12 cm H_2O .

Zvlhčenie a ohriatie plynov. Zatvorený systém má výhodu v relatívne dobrom zvlhčení a ohriatí plynov. Exspirované vodné pary kondenzujú v okruhu, pričom teplo vznikajúce pri

pohlčovani CO_2 chemicky ohrieva dýchaciu zmes. Pri použití okruhu je teplota inšpirovaných plynov zvyčajne okolo 28 - 33 °C a 100% R.V.

U systému TO-AND-FRO môže teplota inšpirovaných plynov stúpnuť až na 40 °C, pretože vzdialenosť od pohlčovača k maske je veľmi malá. RV je okolo 100 % .

Únik anestetických plynov. V zatvorenom okruhu plyny unikajú dvomi spôsobmi.

Je to difúziou cez povrch tela pacienta a cez hadice .

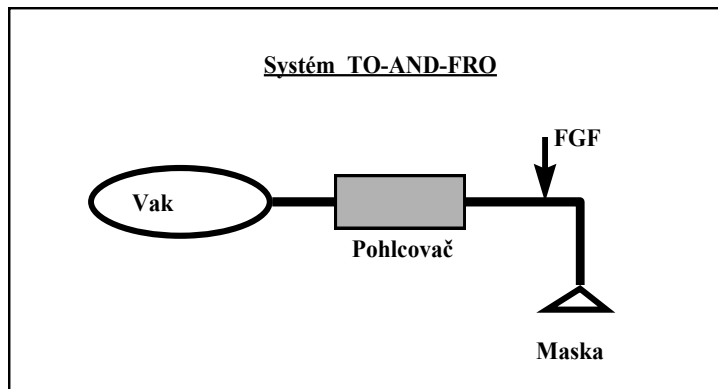
Úniky netesnosťami okruhu (dobrý systém dovoľuje maximálny únik podľa normy ISO 200 ml/min pri prtlaku 3 kPa.). Úniky cez poistný ventil.

TO-AND-FRO systém.

Tento zatvorený systém bol aplikovaný Watersom a Jacksonom v r. 1924. Je to prvý úplne uzatvorený systém, ktorý sa líši od okruhu tým, že pre inšpirium i expirium je len jeden kanál (jedna cesta).

V podstate ide o systém Mapleson C s interpozíciou pohlčovača CO_2 .

Principiálne zapojenie je na obrázku 4.



Obrázok 4. TO-and-FRO systém

Komentár

Systém vyžaduje minimum dielcov. Odpor systému je rádovo nižší, než u dýchacích systémov s okruhom. Zmeny tlakov počas inšpiria a expiria u spontánnej ventilácie sa zvyčajne pohybujú v rozmedzí 0,25 - 0,8 cm H_2O .

V súčasnosti je tento systém využívaný zriedkavo, pretože je pomerne ťažko ovládateľný (mechanicky) a celý je uložený pri hlave pacienta. Pri použití UVP počas anestézie sa jeho výhody strácajú. Má niekoľko nectností a to, že s vyčerpávaním pohlčovacej kapacity natrónového vápna stúpa jeho mŕtvy priestor. Pri pohlčovaní CO_2 je produkované teplo, ktoré môže ohriať dýchacie plyny na hodnoty až 41°C.

Polozatvorené okruhy s čiastočným spätným vdychovaním

Definícia: V okruhu s čiastočným spätným vdychovaním časť plynov v expiriu uniká poistným ventilom do atmosféry, časť sa vracia do vaku. Počas inšpiria nie je kontakt s atmosférou.

V prípade, že použijeme okruh bez pohlčovača je nutné privádzať kontinuálny prítok FGF minimálne 2-2,5 x vyšší, než je minútová ventilácia pacienta, aby nedošlo ku kritickému spätnému vdychovaniu CO_2 .

Pri ventilácii dohádza k vyplavovaniu dusíka z pľúc, čo má za následok pokles koncentrácie O_2 v zmesi plynov (N_2 sa nepohlčuje). Preto je nutné aplikovať vysoký FGF a koncentrácia O_2 v čerstvom plyne by nemala poklesnúť pod 35 - 40 %.

V prípade, že použijeme pohlcovač CO₂ v inspiračnej vetve dýchacieho systému, môže FGF klesnúť na hodnoty rovné MV pacienta

Odpor expiračného, (poistného) ventilu musí byť minimálny.

Všeobecne sa odporúča použitie systému s pohlcovačom CO₂.

Globálnou nevýhodou je veľmi vysoká, neekonomická spotreba plynov a pokiaľ nie je odsávací systém odpadových anestetík, tak veľmi veľká polúcia plynov na operačnú sálu.

Ventilové systémy bez spätného vdychovania.

Anestézia ventilovými jednocestnými systémami sa aplikovala v 50-tych rokoch.

Principiálne ide o systémy typu Mapleson A s tým rozdielom, že druhý ventil bol vložený medzi vak a pacienta. Teda jedným ventilom prebieha inšpirium a druhým expirium do atmosféry.

U týchto systémov nie je žiadne spätné vdychovanie. FGF plní vak a musí sa rovnať minimálne MV pacienta.

Výhody:

Výborná eliminácia CO₂.

Žiadna tvorba tepla, prevencia hypertermie.

Minimálna kondenzácia vody

Možnosť aplikácie inspiračnej asistencie manuálnym uzatvorením expiračného ventilu počas inšpiria.

Veľmi malé prietochné odpory

Vhodné pre aplikáciu pri transporte pacienta

Nevýhody:

Problémy pri poruche ventilov (spätné vdychovanie - zvýšený odpor), ktoré sa ihneď nemusia prejaviť,

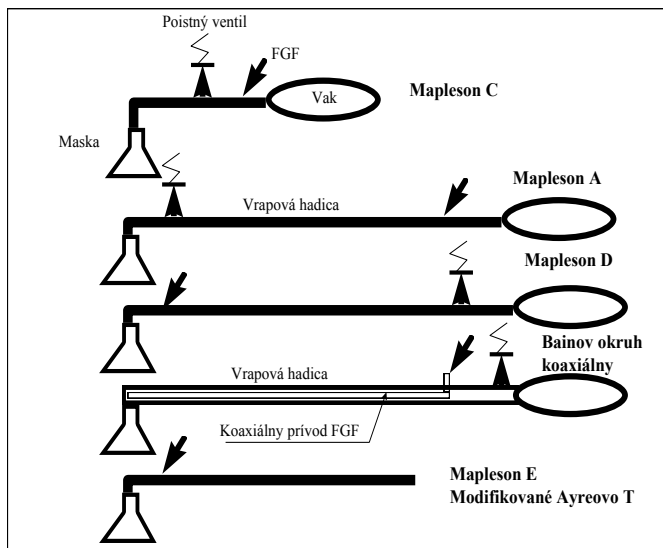
Extrémna polúcia plynov na operačné sály, neekonomičnosť systému

Problémy s pripojením ventilátora pre UVP.

Nedostatočné zvlhčovanie, ba vysušanie slizníc, nedostatočné ohrievanie plynov.

Polozatvorené jednocestné systémy podľa Maplesona

Mapleson skonfiguroval jednocestné systémy s čiastočným spätným vdychovaním s vysokým prívodom FGF vymývajúcimi expirované plyny zo systému.



Obrázok 5. Systémy podľa Maplesona

Systémy sú konštruované rôzne a to v závislosti na mieste vstupu FGF, umiernení expiračného ventilu a vaku.

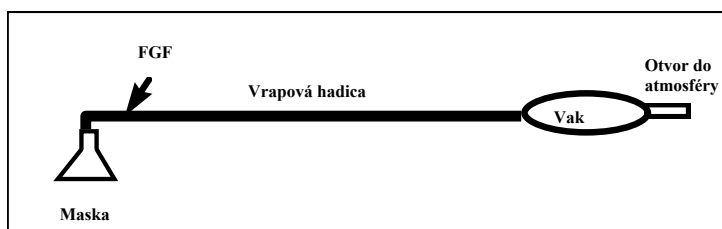
Ani jeden z nich neobsahuje pohlcovač CO₂.

Majú niekoľko výhod ako jednoduchosť, nepotrebnosť pohlcovača, dobrú sterilizovateľnosť a pod.

Nevýhodou všetkých vyššie opísaných systémov je nutnosť vysokého FGF so všetkými negatívnymi následkami na životné prostredie a ekonomiku prevádzky.

Modifikácia dýchacieho systému podľa Jackson - Reesa

Tento systém je modifikáciou Mapleson D systému s tým, že bol vypustený poistný ventil, ktorého funkciu prebral otvor na distálnom konci vaku, ktorý je definovane uzatvárateľný. Expirované plyny tečú a sú vymývané práve cez distálny otvor na vaku. Schéma je na obrázku.



Obrázok 6. Systém Jackson-Rees

Takéto usporiadanie anesteziologického systému umožňuje ako spontánnu ventiláciu, tak riadenú ventiláciu.

Pre nutný príkon FGF bol stanovený vzorec $FGF = 7 \times \text{hmotnosť} \times \text{dychová frekvencia}$, pričom minimálna hodnota FGF >3 l/min a maximálna 8 l/min.

Nevýhody systému sú tie isté, ako bolo opísané.

Koaxiálny Bainov systém.

Je principiálne Mapleson D systém s tým rozdielom, že FGF je vedené koaxiálne vo vnútri vrapovej hadice.

Pre správnu funkciu je nutné, aby vnútorný objem vrapovej hadice bol minimálne 500 ml a preto sa používajú hadice o celkovej dĺžke 1,5 - 1,8 m.

Výhodou systému je malá hmotnosť, dobrá ovládateľnosť na relatívne veľkú vzdialenosť od pacienta. Veľmi dobré využitie v krčnej a tvárovej chirurgii.

Umožňuje spontánnu aj riadenú ventiláciu.

Pre dospelých pacientov je však nutný relatívne vysoký príkon FGF a to minimálne 70 ml/kg/min u dospelých minimálny FGF je 7 l/min.

Nevýhody, ako je opísané vyššie.

Ďalšie systémy ako napr. Lack - ov, Kuhnov a podobne sú modifikáciami niektorého z Maplesonových systémov s ich výhodami i nevýhodami.

Polootvorené systémy.

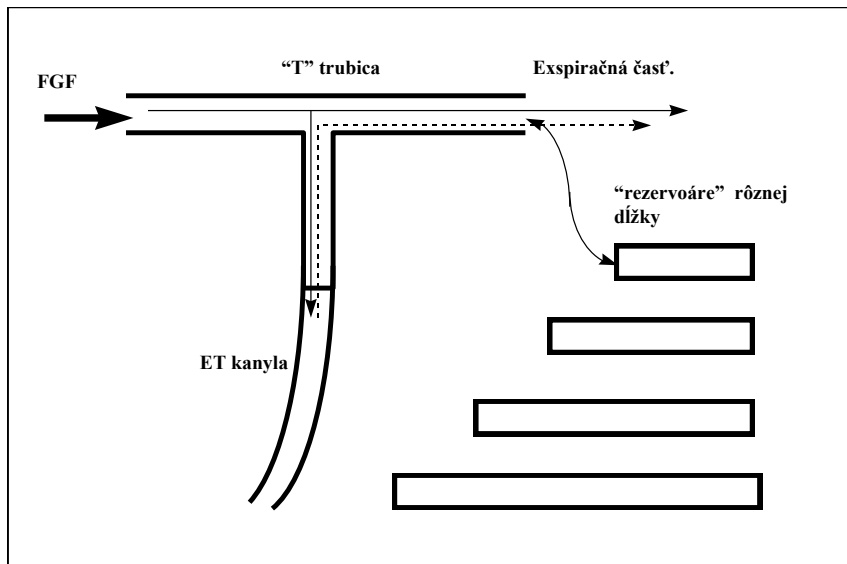
Definícia: Polootvorený systém sa dá charakterizovať ako taký, pri ktorom je pacientov dýchací systém otvorený (v kontakte) do atmosféry v inspiriu i expiriu. Prípadný rezervoár je otvorený do atmosféry a je perfundovaný vysokým FGF za účelom vymývania CO₂. Spätne vdychovanie z okolitej atmosféry je fyzikálne nemožné, pretože plyny sa v atmosfére rozriedia.

Ayreho “T” systém.

Pozostáva zvyčajne z tenkostennej trubky tvaru “T”, (sú modifikácie tvaru “Y”) na ktorej dolné rameno sa pripája maska alebo ET kanyla, na jednu časť horného ramena sa pripája FGF a druhá je otvorená do atmosféry, pričom jej predĺžovanie (rezervoár) sa realizuje rôznymi dlhými gumovými alebo plastovými hadičkami.

Vnútorňý priemer “T” kusu by nemal byť menší ako 10 mm, podobne predĺžovacie hadičky expiračného ramena (rezervoár) by mali mať identický vnútorňý priemer ako “T” kus.

Schéma je na obrázku 7.



Obrázok 7. Ayreho T

Princíp funkcie.

Ayreho T je možné použiť ako poloopený alebo otvorený systém. V prípade, že expiračné rameno “T” kusa je krátke, bez “rezervoáru”, môže nastať situácia, že v inspiriu dôjde k strhnutiu vzduchu z atmosféry a riedeniu definovanej inspiračnej zmesi plynov. V tomto prípade je **funkčne systém definovaný ako otvorený.**

Ak nedochádza k strhávaniu plynov z atmosféry je **funkčne systém poloopený.**

Z hľadiska praktického je systém veľmi výhodný z pohľadu prietochného odporu, ktorý je takmer zanedbateľný.

Pre efektívnu a bezpečnú aplikáciu systému musia byť zodpovedané dve zásadné otázky:

1. Aký musí byť prikon čerstvých plynov (FGF)

Vysoký FGF hrozí zvyšovaním tlaku v dýchacích cestách, nízky “ otvorením systému”.

2. Aká dlhá má byť hadička (rezervoár) na expiračnom ramene, aby na jednej strane nedošlo k spätnému vdychovaniu CO₂ a na druhej strane aby nedošlo k nasávaniu atmosferického vzduchu počas inspiria.

Praktické prevedenie systému a odporúčané hodnoty FGF sú v tabuľke 2.

Tabuľka 2. Parametre Ayreho T

Vek	Hmotnosť (kg)	frekv. ventilácie (d/min)	Vt (ml)	Dĺžka hadičky (rezervoár) (cm)	FGF (l/min)
Novorodenec	3	50	20	3,5	1800
1 mesiac	6	45	30	5	2700
6 mesiacov	8	45	40	7,5	3200
1 rok	10	40	50	10	4000
2 roky	15	35	65	12	4500
3 roky	18	30	80	15	4800
4 roky	20	25	100	17	5500
5 rokov	22	25	125	21	6300

Otvorené systémy (systémy s vyplavovaním CO₂- zvyčajne do atmosféry).

Definícia : Tieto systémy sa dajú charakterizovať ako anestetické systémy, pri ktorých nie je použitý žiaden vak, ani ventily, pričom kontakt s okolitou atmosférou je počas inšpiria i expíria. Vydychované CO₂ je vymývané (rozriedené) do okolitej atmosféry.

Ako otvorený systém môže fungovať aj Ayreovo T s krátkym expiračným ramenom, kedy ako počas inšpiria, tak počas expíria je dosávanie atmosferického plynu, teda je kontakt s atmosférou.

Kvapková inhalačná metóda.

Táto technika spočíva v tom, že kvapalné anestetikum kvapkáme na masku, ktorej povrch je tvorený niekoľkými vrstvami gázy na povrchu ktorej sa anestetikum odparuje počas inšpiria i expíria. Táto technika bola populárna pri aplikácii Éteru, Vinydanu, Chloroformu a pod. Pre iné moderné anestetiká nie je vhodná.

V našich podmienkach sa zvyčajne používala Schimmelbuschova maska potiahnutá 6 - 12 vrstvami gázy (podľa hustoty gázy aj menej)

Pre aplikáciu Éteru je vhodné postupovať podľa tabuľky 3.

Tabuľka 3. Podávanie éteru

Čas	Počet kvapiek/min	Približná koncentrácia %
Prvá minúta	12	1
Druhá minúta	25	3
Tretia minúta	50	6
Štvrtá minúta	100	10-12

Ďalšie vedenie anestézie sa musí riadiť podľa kontroly hĺbky a vyžaduje si 4-6 % koncentráciu éteru, pričom udržiavanie môže vyžadovať varírovanie v kvapkách od 20 do 100 kv/min.

Odparovaním anestetika z gázy dochádza k ochladzovaniu vodnej pary a vzniku námrazy na gáze, čo zhoršuje jej priedyšnosť i samotné odparovanie. Je preto nutné mať dve masky, aby sa dali včas vymeniť.

Je samozrejmé, že klesá parciálny tlak kyslíka pod maskou a preto je vhodné zvážiť aplikáciu kyslíka pod masku.

Kyslík s éterom tvorí vysoko výbušnú zmes, čo je nutné zohľadniť.

Snáď jedinou výhodou je jednoduchý systém a relatívna bezpečnosť.

Insuflačná metóda

Definícia: Tento spôsob je možné charakterizovať ako priamu aplikáciu anestetika v plynnej zmesi (zvyčajne O₂) priamo do úst, alebo nazofaryngu spontánne dýchajúceho pacienta pomocou katétra.

Zvyčajne sa aplikuje nazofaryngeálnym katétrom. Zmes plynov je pripravovaná v prístroji (je definované % anestetika) a môže byť podávaná rôznymi prietokmi.

Za nízkoprietochý systém považujeme dávkovanie anestetikovej zmesi prietokom 2 - 4 l/min. Stredné prietoky sú rátané do 10 l/min. Dávkovanie nad 10 l/min je pre podávanie nazofaryngeálnym katétrom nevhodné.

U detí je možné aplikovať katétromi o priemere 1 - 3 mm u väčších detí 3 - 4 mm a u dospelých 4 - 6 mm.

Počas inšpiria je anestetická zmes riedená inšpirovaným vzduchom. Počas expíria sa exspirovaný plyn exhaluje do atmosféry.

Ide o jednoduchú metódu ku ktorej je potrebné minimálne vybavenie. Odpor je minimálny.

Na druhej strane je presnosť dávkovania anestetika veľmi nízka, skôr ide o neznáme a len hrubo odhadované koncentrácie.

Polúcia okolia anestetikami je veľmi veľká.

Na identickom princípe je možné privádzať anestetiká do tenkej nehermetickej ET kanyly umiestnenej v trachei alebo ventilačným bronchoskopom.

Problémy bakteriálnej kontaminácie anesteziologických okruhov a systémov.

Jedným z veľmi závažných problémov je bakteriálna kontaminácia anesteziologických ventilačných systémov, čo prináša rad komplikácií, ktoré v krajnom prípade vedú k ťažkému, niekedy aj letálnemu poškodeniu pacienta.

Možností prevencie je niekoľko.

- sterilizácia systémov po každom pacientovi
- aplikácia bakteriálneho filtra na koniec ET kanyly
- oddelenie vetiev okruhu bakteriálnymi filterami a jednorázový okruh

V poslednom období sa presadzuje aplikácia filtrov oddeľujúcich vetvy dýchacieho okruhu od prístroja a aplikácia sterilného okruhu (môže byť resterilizovateľný) pre každého pacienta.

Problematika vlhkosti a výmeny (odvodu) tepla u anesteziologických systémov.

Vydychovaný alveolárny plyn je saturovaný na 100 % R.V pri teplote 37 st.C. a parciálny tlak vodných pár je 6,25 kPa (47 torr). Inšpirovaný plyn pri teplote 22-23 st.C má parciálny tlak 2,7 kPa (20 torr) voda z exspirovaného plynu kondenzuje v okruhu. Pri každom ventilačnom cykle sa voda zo sliznice odparuje a kondenzuje v okruhu. Odparovanie ako fyzikálny jav spotrebúva určitú energiu a na odparenie vody napríklad v jednocestnom systéme bez spätného vdychovania je potrebných 5 kCal/hod. energie, čo je cca 7-10% bazálneho metabolizmu. U systémov s uzavretým okruhom je to menej okolo 1-2 kCal/hod.

Tieto straty tepla a čistej vody nie sú zanedbateľné ani u dospelých, tobôž u malých detí, prípadne novorodencov a nedonosencov, hlavne u anestézií trvajúcich niekedy hodiny.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že je nevyhnutné , hlavne u dlhotrvajúcich anestézií ohrievať a zvlhčovať inšpirované plyny.

Anestézia minimálnym prívodom čerstvých plynov s použitím inhalačných anestetík a xenónu

Úvod

Zotrúvanie na vysoko príkonovej anestézii (anestézia s vysokým prívodom čerstvých plynov - fresh gas flow = Q_{fgf}), (high flow anestézia - ďalej HFA) je v súčasnosti prejavom určitej zotrúvanosti z minulosti. Rozvoj a dostupnosť moderných anesteziologických prístrojov, ventilátorov, monitorovacej techniky, rozšírenie škály monitorovaných veličín, ale **hlavne ekonomika**

prevádzky a ekológia nás nútia pristúpiť k využívaniu inhalačnej anestézie s veľmi nízkym prívodom čerstvých plynov (ďalej – low a minimal flow anestézia = LFA a MFA).

Základnými podmienkami na naplnenie pojmu „anestézia s nízkym prívodom čerstvých plynov“ sú:

- ochotný anestéziológ (nadpriemerne vzdelaný)
- vhodný anestéziologický prístroj a ventilátor
- primeraný monitoring

Definície

Low flow anestéziu môžeme definovať ako inhalačnú anestéziu podávanú polozatvoreným systémom, pričom po stabilizácii koncentrácie aplikovaných plynných (volatilných) anestetík (AA – anesthetic agents), N₂O, resp. xenónu (Xe) a kyslíka v okruhu znížime prívod čerstvých plynov (Q_{fgf}) na hodnotu zvyčajne pod 1000 ml/min a pri aplikácii tzv. **minimal flow anestézie** na cca 500 - 150 ml/min v úplne, alebo takmer úplne zatvorenom okruhu.

V prípade že na anestéziu využívame xenón ako anestetikum, je v dýchacej zmesi plynov, zvyčajne 60 – 70 % xenónu a 40 - 30 % O₂. Aplikácia takejto anestézie spôsobom „minimal flow“ je nevyhnutnosťou už aj z hľadiska vysokej ceny xenónu. (7 – 20 Eur/liter)

Prečo xenón?

Inhalačné anestetiká sú látky vstupujúce do organizmu pľúcami, odkiaľ sú krvou (obehom) transportované do tkanív. Cieľovým miestom je mozog, v ktorom svojím účinkom vyvolávajú celkovú anestéziu.

Ideálne inhalačné anestetikum by malo mať tieto vlastnosti:

- rýchly úvod a rýchle vyvedenie z anestézie
- dobrú korigovateľnosť hĺbky anestézie
- dostatočnú analgetickú potentnosť
- dostatočnú schopnosť svalovej relaxácie
- veľkú terapeutickú šírku (bezpečnosť)
- minimálne nežiaduce a toxické účinky
- minimálny metabolizmus v organizme
- environmentálne neškodný

V súčasnosti však neexistuje ideálne inhalačné anestetikum a preto sa inhalačná anestézia podľa potreby kombinuje s venóznou, kedy sa do organizmu privádzajú anestetiká, kurarimimetiká, analgetiká I.V. formou. **Ideálnemu inhalačnému anestetiku sa najviac blíži (Xe) xenón.**

Okrem minimálnych nežiaducich účinkov na ľudský organizmus je xenón v porovnaní s fluór-chlórovanými uhl'ovodíkmi (Halotan, Sevoran, Desfluran a pod.) predstaviteľom environmentálne úplne neškodného anestetika.

Samotné zavedenie LFA a MFA znižuje odpad fluór-chlórových uhl'ovodíkov- anestetík a N₂O do atmosféry 4 - 8 násobne.

Xenón ako inhalačné anestetikum

Xenón (Xenos) je grécky výraz (neznámy, cudzí). Bol objavený v roku 1898 ako vzácny plyn, ktorý má anestetické účinky v normobarických podmienkach. xenón je veľmi vzácny a v objeme cca jednej stredne veľkej miestnosti je ho len 4 ml. Vyrába sa frakčnou destiláciou zo vzduchu a jeho cena je cca 2000 x vyššia ako N₂O. Komerčné využitie nachádza v osvetľovacích telesách, bleskoch, avionike, RTG lampách a medicíne.

Fyzikálne vlastnosti

- Bez chute vône a farby
- Monoatomický plyn at. číslo = 54, mol. hmotnosť 131,3
- Deväť stabilných izotopov

- Bod skvapalnenia je 111,9 °C; bod varu je 108,1 °C
- 4 x hustejší ako vzduch
- Nehorľavý a horenie nepodporujúci
- Difuzibilný cez gumu a silikón

Anestetické vlastnosti.

- Prvýkrát použitý Cullenom (1951) u 81 ročného pacienta pri orchidektómii
 - Blízky tzv. „ideálnemu anestetiku“
 - xenón inhibuje Ca^{++} pumpu membrán a znižuje prenos vzruchov. Inhibuje nociceptívnu citlivosť neurónov aj v mieche
 - MAC = 71 %, podľa ruských autorov okolo 60 – 70 %
 - Má minimálne hemodynamické účinky
 - Má nízky koeficient rozpustnosti krv/plyn = 0,115, ktorý je najnižší zo všetkých v súčasnosti používaných anestetík
 - Rýchly nástup a ukončenie účinku, bez ohľadu na trvanie anestézie
- Počas anestézie Xe sú zrejme 4 štádiá anestézie (Xe -70 %, O₂ - 30 %)
1. Celkový pocit parestézií a hypoalgézia
 2. Eufória, zvýšená psychomotorická aktivita
 3. Analgézia a amnézia (po 3-4 min)
 4. Chirurgická anestézia s dobrou svalovou relaxáciou
- Analgézia je porovnateľná s N₂O a nie je reverzibilná po aplikácii naloxonu
 - Nemá nežiaduce účinky na životné a pracovné prostredie

Účinky na ľudský organizmus

Respiračné

- Centrálna depresia dýchania so znížením frekvencie a kompenzátnym zvýšením VT, ktorá môže progredovať až do apnoe

Kardiovaskulárne

- Nemá inhibičný efekt na kardiálne ionové kanály (Ca^{++} , K^{+})
- Nemá vplyv na kontraktilitu, TK a SVR (TPR)
- Niektoré práce opisujú pokles frekvencie kontrakcií
- Nesenzibilizuje myokard na adrenálny
- V animálnych experimentoch zvyšuje prietok krvi mozgom, pečeňou, obličkami a GIT v porovnaní s anestéziou Halotan, N₂O, O₂. a Thiopental + Fentanyl

CNS

- Xe zvyšuje prietok krvi mozgom, zvyšuje ICP (intrakraniálny tlak) a znižuje perfúziu mozgu u pacientov s akútnou traumou mozgu. Nie je však žiadny dôkaz o spôsobe ischémie mozgu
- Zvýšenie ICP je však odstrániteľné miernou hyperventiláciou

Obličky

- Nemá žiaden dokázateľný vplyv (nie sú údaje)

Endokrinný systém/neurohumorálna regulácia.

- Nemá dlhodobý kortikosupresívny účinok
- Tlmí chirurgický stres počas výkonu

Toxicita

- Zvyšuje agregáciu trombocytov pri pretlaku 200k Pa (potápači)
- Nemá dokázateľné účinky na krvné bunky (Ery, Le, Ly)

Maligná hypertermia

- Nebola dokázaná, aby Xe priamo či nepriamo participoval na MH

Metabolizmus a eliminácia

- Nevstupuje do nijakých biochemických pochodov v organizme
- Eliminuje sa pľúcami

Možné cesty k aplikácii xenónovej anestézie, ktorá by bola ekonomicky akceptovateľná
Zníženie výrobných nákladov

- Možné pri veľkých separačných jednotkách
- Recyklácia Xe
- Použitie hermetického anestetického okruhu s plne zatvoreným dýchacím systémom
- Veľmi tesný okruh
- Možné použiť servosystém dopĺňania Xe do okruhu
- Analýza plynov v okruhu
- Súčasná cena je cca 7 Euro/liter (10 USD)

Súhrn

- Plyn bez farby, chuti a zápachu, nedráždi dýchacie cesty, dobre tolerovaný pri inhalačnom úvode
- Nízky koeficient rozpustnosti krv/plyn, tuk/voda s rýchlym nástupom účinku a rýchlym odznením
- Robí dobrú analgéziu, bezvedomie - anestéziu a svalovú relaxáciu
- MAC = 60 - 70 %
- Môže spôsobiť depresiu dýchania až apnoe, hlavne pri koncentráciách nad 70 %
- KVS - stabilný, kardioprotektivita pri ECC
- CNS – zvyšuje prietok krvi mozgom, ale má zároveň neuroprotektívny účinok
- Nemetabolizuje sa a kompletne sa rýchlo vylučuje pľúcami
- V tlakovej nádobe je stabilný a v okruhu nereaguje s jeho komponentmi, ani s nátronovým vápnom
- Nemôže sa používať s gumovými hadicami okruhu, pretože nimi uniká
- Nehorľavý
- Nemá nežiaduce environmentálne pôsobenie
- Je veľmi nákladný, a preto je vhodné ho aplikovať výhradne v úplne uzavretom okruhu a zabezpečiť jeho absorpciu a následnú recykláciu.

Xenón predstavuje vo svetle súčasných pohľadov na anestetiká látku výrazne sa približujúcu ideálnemu anestetiku.

Miešanie xenónu s O₂ v teoretickej rovine

Pri použití xenónovej anestézie sa principiálne aplikuje anestézia s minimálnym prietokom plynov ($Q_{fgf} < 500$ ml), najčastejšie aplikované prietoky sú dokonca pod 300 ml/min.

Po stabilizácii koncentrácií plynov je niekedy potreba dodávať len čistý O₂ $Q_{fgf} =$ cca 100 – 200 ml/min, čo je vlastne spotreba O₂ organizmom v danom momente.

Z vyššie uvedeného je teda pri aplikácii Xe potrebné zohľadniť nasledovné:

- Zmeniť zatváranie ORC na vyššie uvedené hodnoty
- Umožniť aplikáciu Xe na hodnotu ORC nastavenú (O₂ = 25 - 35 %) aj pri prietoku $Q_{fgf} = 500$ ml.
- Pod $Q_{fgf} < 500$ ml až do 150 ml/min. ORC koncentrácia O₂ postupne stúpa tak, že prietok Xe sa znižuje, aby pri $Q_{fgf} = 150$ ml/min sa prietok Xe automaticky zatvoril.
- Pri $Q_{fgf} \leq 250$ ml/min povoliť prietok Xe tak, aby koncentrácia Xe v zmesi bola cca 33 % koncentrácia O₂ min = 66 %
- Pri prietoku O₂ < 150 ml/min prietok Xe = 0

Miešanie Xe a O₂ v oblasti prietoku pod $Q_{fgf} 500$ ml schematicky znázorňuje obr. 1

Ochrana proti hypoxii pracuje v dvoch nasledovných režimoch:

Obsluhu neumožní nastaviť zmes plynov s koncentráciou O₂ nižšou ako je v režime SETUP nastavená hodnota ORC. Keďže rôzni výrobcovia a špecialisti odporúčajú rôzne minimálne

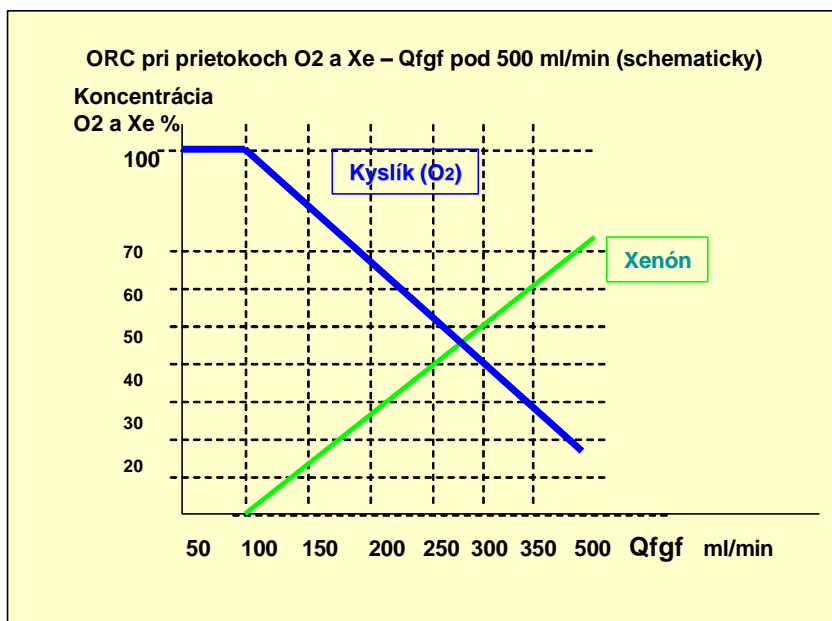
koncentrácie O₂, technické riešenie tohto prístroja umožňuje voľbu v menu SETUP pre zapnutie ORC od 25 % O₂ do 35 % O₂. Základné nastavenie je 28 % O₂.

Pri znižovaní prietoku čerstvých plynov prístroj udržiava minimálnu koncentráciu až do minimálnej hodnoty prietoku kyslíka ktorá je 250 ml/min pre N₂O a 100ml/min pre Xe. Pri dosiahnutí tejto hranice prietokomer automaticky začne zvyšovať FiO₂ a udržiavať hodnotu prietoku O₂ na minimálnej hranici.

Pri zvyšovaní prietoku čerstvých plynov prístroj znižuje koncentráciu O₂ až do hodnoty FiO₂ [%] nastavenej užívateľom pred zapnutím ochrany proti hypoxii (ORC) do činnosti.

Jedno absolútne dôležité upozornenie!

Xenónová anestézia spôsobom MFA sa nesmie používať, ak nie je meraná koncentrácia O₂ v dýchacom okruhu! Dôrazne sa odporúča použiť pri aplikácii xenónu monitor jeho koncentrácie a kapnometer.



Obrázok 8. Miešanie Xe a O₂ v oblasti prietoku pod Q_{fgf} 500 ml

Okruh

Všeobecné požiadavky na technické riešenie častí okruhu sú tieto:

- Maximálna tesnosť v spojoch (únik maximálne 30 ml/min pri tlaku 3 kPa, resp. 8 - 10 ml/min pri tlaku 1,5 kPa)
- Vysoká odolnosť všetkých meracích komponentov voči vlhkosti prípadne preplachovanie snímačov malým objemom O₂
- Spôľahlivá činnosť vo vysokej relatívnej vlhkosti a „vykurovanie“ telesa okruhu, vrátane ventilov
- Ľahká údržba
- Jednoduchá možnosť dezinfekcie, respektíve sterilizácie
- Dobrá a pohodlná ovládateľnosť
- Jednoduchá výmena kontajnera s nátrónovým vápnom.
- Automatické zatváranie / otváranie okruhu, doplnenie O₂ do okruhu

Špecifiká anestetických ventilátorov pri LFA a MFA

Teoretické atribúty

Ventilátory používané na UVP počas LFA a MFA by mali spĺňať niektoré kritériá, ktoré ich odlišujú od bežných ventilátorov používaných pri HFA.

Základné atribúty pre ventilátor sú:

- Ventiláčny režim objemovo a tlakovo riadený, prípadne režim podpornej ventilácie
- Ochrana proti pretlaku (prekročeniu nastaveného Paw max)
- Možnosť nastavenia PEEP (0 – 2 kPa)
- Dostatočnú šírku nastavenia ventiláčnych parametrov (VT, MV, f, Ti%, Ppc, SIMV, a.p.)
- Dostatočnú presnosť požadovaných parametrov
- Nezávislosť na zmenách prietoku čerstvých plynov (Q_{fgf}) – korekcia servosystémom
- Nezávislosť na vnútornej poddajnosti prístroja a okruhu (C_m) – korekcia servosystémom
- Ochrana proti nasatiu atmosférického vzduchu (N₂) pri nedostatočnom Q_{fgf}
- Automatické uzatváranie / otváranie okruhu
- Signalizácia nedostatočného Q_{fgf}, prípadne doplnenie vaku čistým O₂
- Signalizácia rozpojenia okruhu a iných „defektov“
- Automatická korekcia merania a regulácie podľa koncentrácie xenónu, resp. aj N₂O v okruhu

Základné atribúty monitorovania počas anestézie vo vzťahu k všeobecnej anestéziologickej praxi, ako aj pri aplikácii LFA a MFA

Bezpečnosť modernej anestézie je determinovaná niekoľkými faktormi, ktoré zahŕňajú jednak predoperačný stav pacienta, jeho prípravu k anestéziologickému výkonu, tak aj odbornú zdatnosť personálu, osobné kvality anestéziológa, organizáciu práce na pracovisku, jeho technické možnosti, ako aj technickú úroveň anestéziologického prístroja a monitoringu.

Monitorovanie počas anestézie.

Monitorovanie (monitoring) je v medicínskom slovníku viac menej zdomácnené slovo, ktorého základ pochádza z latinského slova monitor – monitoris = upozorňovateľ, napomínateľ, pripomínateľ, resp. zo slova monere – varovať.

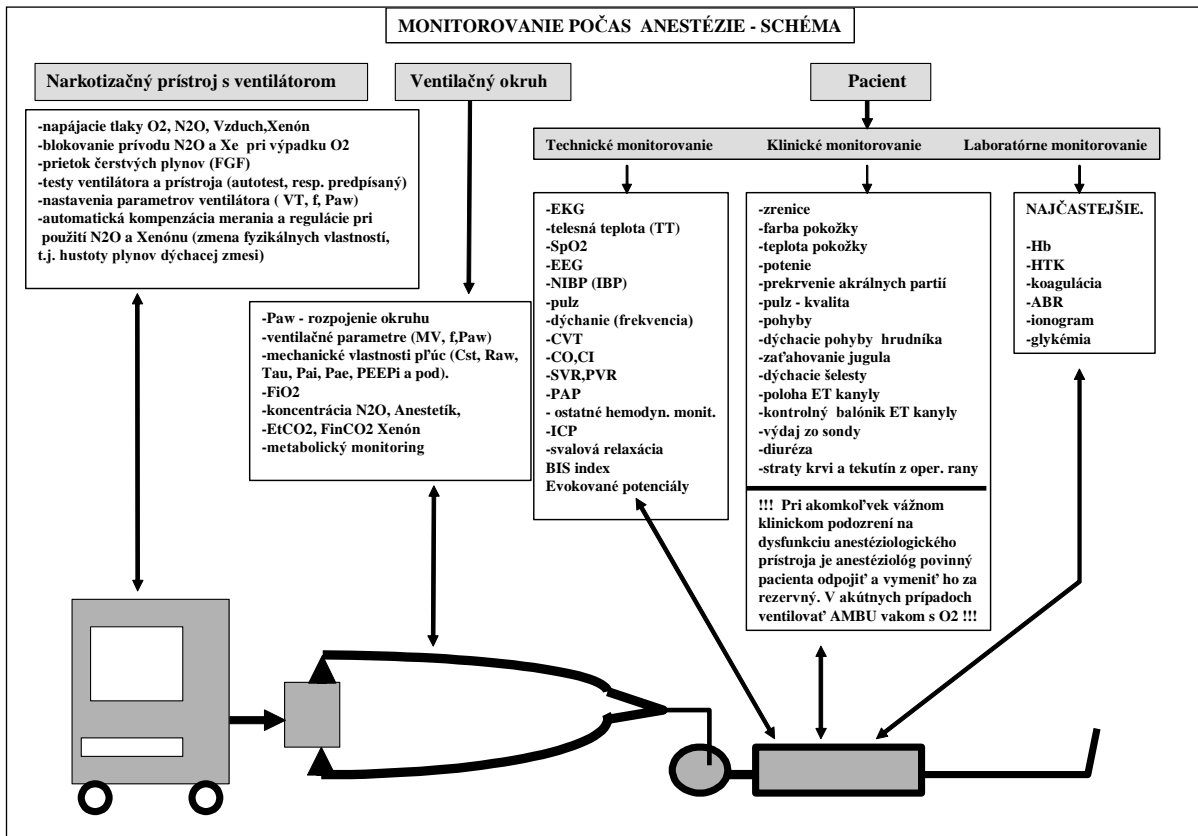
Ak si odmyslíme vyššie uvedené atribúty bezpečnej anestézie, jedným zo základných je vybavenie monitorovacou technikou.

Monitorovanie jednej i keď dôležitej funkcie už nestačí, pretože môže zlyhať a nedáva obraz o celkovom stave pacienta. Pri aplikácii LFA, MFA a MFA xenónom je okrem monitorovania fyziologických funkcií pacienta, ventilácie, nevyhnutné aj monitorovanie chemického zloženia dýchacích plynov.

Zvláštnosti „gas scavengingu“ pri aplikácii xenónovej MFA

Jedným zo závažných problémov aplikácie Xe je jeho cena (cena 1 litra = 7 - 20 EUR). Ak pri priemerne 120 min. trvajúcej anestézii LFA by sme spotrebovali 15 - 20 l Xe, prevádzkové náklady stúpnu o 140 - 380 EUR, čo by bolo neúnosné. Okrem toho, že xenónová anestézia si vyžaduje anestetický prístroj so špecifickými vlastnosťami, nie je možné ani pri aplikácii MFA odpadový Xe vypúšťať cez gas scavenger do atmosféry.

Existujú systémy na pohlcovanie odpadového Xe v sorpčnej látke, pričom kontajner je umiestnený za gas scavengerom. Absorbovaný Xe (cca 80 - 85 % aplikovaného Xe počas anestézie) sa vo výrobe recykluje a cena recyklovaného Xe sa pohybuje okolo 2 - 7 EUR /liter, čo je z ekonomického uhla pohľadu ďaleko priaznivejšie.



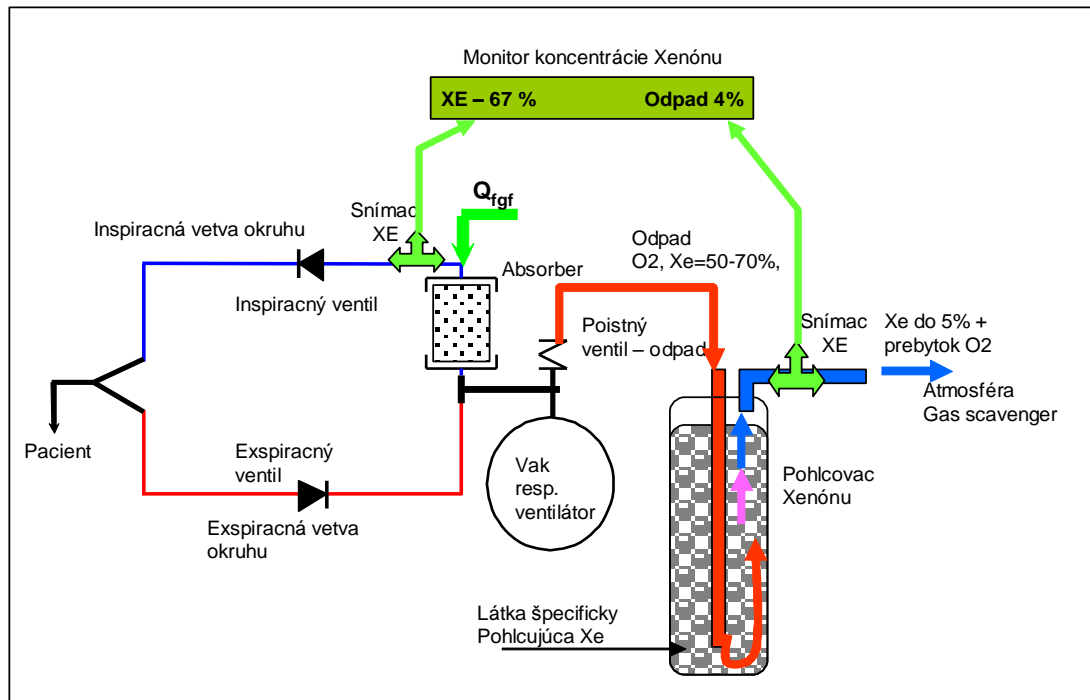
Obrázok 9. Monitorovanie počas anestézie

Ekonomika Xe anestézie v praxi.

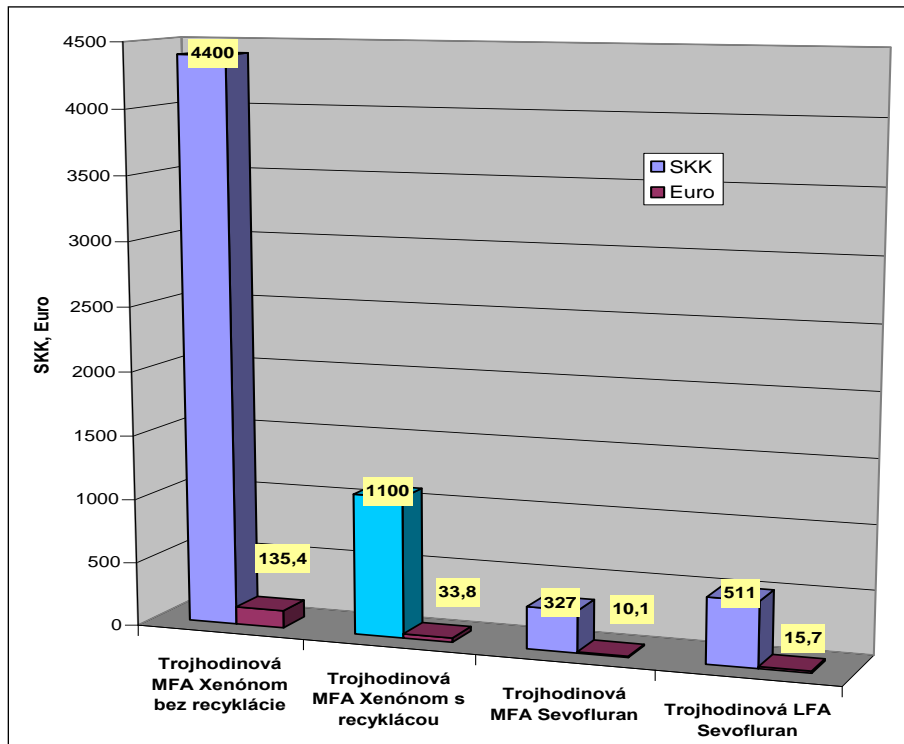
Skúmali sme aj ekonomické súvislosti anestézie vedenej nízkym prietokom čerstvých plynov (LFA, MFA) na celkové prevádzkové náklady. Podobne sme vypočítali náklady na jednu priemernú xenónovú MFA anestéziu. Výsledky sú znázornené na ďalších grafoch.

Ma obr. 4 je porovnanie nákladov na trojhodinovú anestéziu Sevoranom vedenú ako LFA a MFA a xenónom s a bez recyklácie. Priemerná spotreba xenónu pri anestézii o dĺžke do 90 minút je v praxi priemerne cca 80 - 90 ml/min. Pri trvaní anestézie okolo 180 minút je to priemerne cca 65 - 80 ml/min. Za predpokladu, že recyklujeme cca 75 - 85 % xenónu, je reálna spotreba xenónu cca 10 - 16 ml/min anestézie, čo vo finančnom vyjadrení predstavuje cca 2,25 SKK, resp. 0,07 € / minútu.

V klinickej praxi sa aplikujú aj iné, úspornejšie metódy, postupy a technické zariadenia, ale z hľadiska použitia lekárom a z hľadiska možných omylov, sú pre pacienta vysoko rizikové.



Obrázok 10. Scavening u xenónu



Obrázok 11. Ekonomika používania xenónu

Záver

Možnosti iatrogénneho poškodenia pacienta.

Napriek neustálemu zdokonaľovaniu systémov narkotizačných prístrojov a monitorov môže sa pri nejakej poruche vyskytnúť poškodenie pacienta.

Existuje preto **niekoľko základných zásad**, ktoré môžu práve v kritickej situácii zmenšiť riziko ťažkého poškodenia pacienta i napriek vzniknutej poruche.

1. **Je nevyhnutné, aby anesteziológ poznal do detailu prístroje s ktorými pracuje, aby bol absolútne zbehlý v ich ovládaní a aby dokonale poznal princíp funkcie každého z nich.**
2. Je nevyhnutné, aby anesteziológ pred použitím **overil pripravenosť a funkčnosť prístroja**, teda či pracuje správne.
3. Je dôležité, aby akokoľvek poškodený alebo pokazený narkotizačný prístroj, či monitor, bol okamžite opravený a až potom znovu nasadený v klinike.
4. **Anesteziológ musí ovládať a používať monitory**, ktoré sú schopné detekovať závažné poruchy narkotizačného prístroja. Oxymetre, monitory rozpojenia okruhu, ventilačné monitory, monitory plynov, kapnometre a pod.
5. **Zariadenia, ktoré sú t.č. vyrábané, by mali byť čo najjednoduchšie ovládateľné a schopné okamžitej prevádzky bez zložitej manipulácie.** Podrobný opis by mal slúžiť pre detailnejšie oboznámenie sa s nimi.
6. Všetky možné chyby a poruchy prístrojov nemôžu predpokladať a monitorovať. Z tohoto dôvodu **musí byť anesteziológ neustále koncentrovaný na svoju prácu** a v prípade výskytu komplikácií byť pripravený ich riešiť.

Nezabudnite na jedno, že niet bezpečných anestetík, bezpeční sú len anesteziológovia, našťastie je takých väčšina.