

„Znieczulenie ogólne małym przepływem. *Low-flow anesthesia: LFA*”

Waldemar Machała

Oddział Anestezjologii i Intensywnej Terapii
Samodzielny Publiczny Zakład Opieki Zdrowotnej
95-060 Brzeziny
ul. Marii Skłodowskiej-Curie 6
e-mail: w.machala@wp.pl

W 1986 r. Bergmann stwierdził, że współczesne - zaawansowane technologicznie - aparaty do znieczulenia powinny być używane wyłącznie do znieczuleń definiowanych, jako anestezja małym, albo minimalnym przepływem [*low-flow anesthesia (LFA) i minimal-flow anesthesia (MFA)*]. O anestezji z małym przepływem (*LFGF – low fresh gas flow*) można myśleć, kiedy całkowity przepływ gazów do układu oddechowego jest mniejszy niż 3 l/ min., choć część autorów uważa, że LFA jest wtedy, gdy $FGF \leq 1$ l/ min. Według Bauma w LFA 50% gazów wydechowych, kierowane jest ponownie do części wdechowej układu okrężnego. O minimalnym przepływie można mówić, kiedy FGF jest równy, lub mniejszy niż 0,5 l.

Rys historyczny

- 1727 r. – Hales skonstruował aparat, wykorzystywany w celach ratunkowych, w którym obecny był oddech zwrotny.
 - 1850 r. – Pierwsze użycie układu prawie zamkniętego. Użyto chloroformu, a rolę pochłaniacza CO₂ spełnił wodorotlenek potasu (KOH). Uważano wówczas, że eliminacja CO₂ nie jest konieczna.
 - 1906 r. – Kuhn; zbudował układ półotwarty (oddech zwrotny).
 - 1906 r. – Coleman zbudował aparat do znieczulenia, w którym możliwe było zastosowanie N₂O. Czas znieczulenia był ograniczony (najprawdopodobniej z powodu hipoksji).
 - 1914 r. – Jackson; opracował technikę eliminacji CO₂ w warunkach laboratoryjnych.
 - 1923 r. – Waters; pierwsze kliniczne zastosowanie substancji pochłaniającej CO₂
 - 1924 r. – Dräger; pierwszy aparat do znieczulenia, spełniający kryteria met. półzamkniętej.
 - 1951 r. – Bickford; opis znieczulenia wziewnego, dla podtrzymania którego podawano eter bezpośrednio do układu oddechowego (VIC)
 - 1952 r. – Foldes
 - 1974 r. – Vitruve
- } - charakteryzują technikę LFA i MFA

- Lata 60-te – 70-te XX wieku – Lowe opisuje metodę podawania anestetyków bezpośrednio do układu oddechowego (VIC – parownik w układzie oddechowym)
- 1983 r. – Ross
- 1986 r. – Westernskow } Podawanie płynnego anestetyku do układu oddechowego

Znieczulenie ogólne małym przepływem (LFA) było powszechną techniką znieczulenia ogólnego, wykonywaną do początku lat pięćdziesiątych ubiegłego stulecia. W połowie lat 50-tych, kiedy do praktyki klinicznej wszedł halotan zaczęto wykonywać znieczulenia „dużym przepływem gazów” (HFA – *high flow anesthesia*). Przyczyną tego stanu upatruje się w trudnościach konstrukcyjnych ówczesnych parowników dla halotanu, które dla prawidłowego funkcjonowania wymagały dużego przepływu gazów. Nie bez znaczenia było również to, że halotan – charakteryzujący się dużym współczynnikiem rozpuszczalności krew-gaz, dla osiągnięcia właściwego pęcherzykowego ciśnienia parcjalnego „potrzebował” dłuższego czasu i większego FGF.

Pojawienie się na początku lat 80-tych izofluranu, a wraz z nim nowej generacji parowników stworzyło szansę na powrót do znanej już techniki LFA i MFA. Anestetyki wziewne o małym współczynniku rozpuszczalności krew-gaz (izofluran, sewofluran i desfluran) stały się przydatne do zastosowania w technice LFA i MFA. Osiągają one szybko ciśnienie parcjalne w pęcherzykach płucnych wywołujące znieczulenie (szybka indukcja), a po zaprzestaniu ich podawania – szybko powraca przytomność. Również używane współcześnie parowniki nie wymagają korekty termicznej (do temp. sali operacyjnej) i uwalniają ściśle określoną (na pokrętle) objętość anestetyku. Współcześnie stosowanymi anestetykami, których współczynnik rozpuszczalności krew-gaz jest niższy od jedności są:

▪ Ksenon	0,115
▪ Desfluran	0,424
▪ Podtlenek azotu	0,47
▪ Sewofluran	0,6.

Aparat do znieczulenia

Obecnie znaczną część znieczuleń wykonuje się w znieczuleniu ogólnym dotchawicznym. Do jego wykonania potrzebne są precyzyjne aparaty do znieczulenia umożliwiające:

- Ustalenie składu mieszaniny oddechowej.
- Utrzymanie żądanej – zaprogramowanej wentylacji.

Współczesne aparaty do znieczulenia:

- Posiadają źródło gazów (tlen, podtlenek azotu i powietrze). Gazy te podawane w odpowiednich proporcjach spełniają rolę nośnika par anestetyków halogenowych. Nośnikiem może być 100% tlen, mieszanina podtlenku azotu i tlenu, powietrze z podwyższonym stężeniem tlenu (mieszanina tlenu i powietrza).
- Posiadają skalowane przepływomierze (l/ min.), umożliwiające podawanie ściśle określonej objętości gazu w jednostce czasu.

- Są wyposażone w parowniki przeznaczone dla konkretnego rodzaju anestetyku - coraz bardziej dokładne (ostatnio nawet elektronicznie kontrolujące dawkowanie anestetyku).
- Mają oddechowy układ okrężny z pochłaniaczem dwutlenku węgla. Dzięki niemu gazy anestetyczne krążą, kilkukrotnie osiągając układ oddechowy pacjenta. Po każdym cyklu oddechowym eliminuje się z ich składu dwutlenek węgla, a objętość uzupełniana jest w zależności od wielkości przepływu świeżych gazów (*FGF – fresh gas flow*) - albo mieszaniną używanych do znieczulenia gazów (met. półzamknięta), albo samym tlenem, pokrywającym minutowe zapotrzebowanie organizmu – tj. 3-3,5 ml/ kg/ min. (met. zamknięta).
- Są szczelne. Dopuszcza się nieszczelność układu oddechowego nie większą niż 150 ml/ min. przy ciśnieniu wdechowym 30 cm H₂O. Posiadają również alarm małej nieszczelności układu.
- Charakteryzują małą pojemnością układu oddechowego i niewielką liczbą łączników.
- Wyposażone są w monitory oddechowe.

Ważną rolę w aparacie do znieczulenia spełniają:

- Przepływomierz proporcjonalny.
- Alarm rozłączeniowy.
- Czujnik wdechowego stężenia tlenu.
- Dopływ 100% tlenu z pominięciem przepływomierza i parownika (*flush*, albo *by-pass*).

Jednym z podstawowych elementów aparatu do znieczulenia jest układ okrężny. Można w nim wyróżnić:

1. Źródło świeżych gazów (dopływ gazów do układu okrężnego).
2. Część wdechową z jednokierunkową zastawką wdechową.
3. Część wydechową z jednokierunkową zastawką wydechową.
4. Pochłaniacz dwutlenku węgla, wypełniony substancją eliminującą CO₂.
5. Worek oddechowy, przy pomocy którego można będzie prowadzić oddech IPPV (ręczny).
6. Zastawkę nadmiarową, przez którą usuwany będzie mógł być nadmiar gazów oddechowych.
7. Łącznik Y, łączący ramiona wdechowe i wydechowe z pacjentem.
8. Filtr przeciwbakteryjny.

Monitorowanie

Pacjent niezależnie od rodzaju znieczulenia powinien być należycie monitorowany. Wyróżnia się monitorowanie bezprzyrządowe (kliniczne) i przyrządowe. Z metod przyrządowych za przydatne uznaje się monitorowanie:

- Elektrokardiograficzne z analizą odcinka ST w odprowadzeniu przedsercowym jednobiegunowym (V₅).
- Wysycenia hemoglobiny tlenem (SaO₂).
- Ciśnienia tętniczego krwi met. nieinwazyjną (rutynowo).
- Przewodnictwa nerwowo-mięśniowego (ciąg czterech impulsów: TOF).
- Mechaniki oddechowej:

- Częstość oddechu.
- Objętość oddechowa.
- Wentylacja minutowa.
- Szczytowe ciśnienie wdechowe.
- Ciśnienie fazy wdechowej (plateau).
- Gazów oddechowych; stężenia wdechowego i wydechowego (tlenu, podtlenku azotu, anestetyków wziewnych i dwutlenku węgla).

Analiza gazów anestetycznych odbywa się po pobraniu z układu oddechowego 50-200 ml gazu na minutę, który po analizie odprowadzany jest z powrotem do układu. Ponieważ większość monitorów oznacza MAC (uwzględniając podtlenek azotu) wydaje się celowe utrzymywanie stężenia anestetyku wziewnego na poziomie 1,3 MAC.

Znieczulenie ogólne - metoda

Pacjent kwalifikowany do zabiegu operacyjnego powinien oczekiwać od anestezjologa:

- Właściwej kwalifikacji do znieczulenia (obejmującej badanie pacjenta i ocenę stanu fizycznego) i wyboru najbardziej przydatnej metody znieczulenia.
- Zlecenia premedykacji.
- Zgodnej ze sztuką indukcji znieczulenia, kondukcji i zakończenia (wybudzenie) znieczulenia oraz
- Opieki we wczesnym okresie pooperacyjnym.

Znane są cztery metody znieczulenia ogólnego: otwarta, półotwarta, półzamknięta i zamknięta. Pacjentów, których waga jest większa niż 20 kg, najczęściej znieczula się metodą półzamkniętą (układ okrężny). Przepływ gazów (FGF) w większości szpitali ustala się na 6 litrów/ minutę. Przepływ 6 l/ min. został wyliczony z pomnożenia 12 oddechów (które najczęściej wykonuje się w ciągu minuty) i 500 ml (odpowiadających objętości oddechowej). Jak jednak odnieść przepływ 6 l świeżych gazów/ min. dostarczanych przez aparat - do wentylacji minutowej pacjenta (w większości przypadków niższej od tej wartości) i charakterystyki metody półzamkniętej? Okazuje się, że znieczulając w ten sposób (FGF 6 l/ min.) znieczula się nie metodą półzamkniętą, ale półotwartą. Metoda półzamknięta charakteryzuje się, bowiem następującymi cechami:

- Dopływ świeżych gazów MNIEJSZY od wentylacji minutowej, zatem < niż 6 l/ min.
- Obecnością oddechu zwrotnego.
- Koniecznością eliminacji dwutlenku węgla – pochłaniacz CO₂.
- Utratą ciepła < 180 kcal/ min.

Można więc przyjąć, że dla metody półzamkniętej opracowana została metoda znieczulenia małym, lub minimalnym przepływem (*low-flow anesthesia i minimal flow anesthesia*).

Definicje

Metoda zamknięta:

Metoda znieczulenia, w której po fazie nasycającej (*high flow anesthesia - HFA*) zmniejsza się przepływ gazów, podając jedynie tlen w objętości wystarczającej do pokrycia potrzeb metabolicznych (2,90 – 3,5 ml/ kg/ min.). Oddech zwrotny wymaga bezwarunkowej eliminacji dwutlenku węgla. Utrata ciepła jest mniejsza, niż 180 kcal/ min.

Znieczulenie ogólne „dużym przepływem”

High-flow anesthesia – HFA

Znieczulenie, w którym FGF (FGF – fresh gas flow) wynosi od 3-6 l/ min. Wielkość przepływu gazów przewyższa zapotrzebowanie minutowe pacjenta, a nadmiar gazów eliminowany jest przez zastawkę nadmiarową. Ponieważ ten sposób podawania gazów dotyczy najczęściej metody półzamkniętej (układ okrężny) zachodzi konieczność eliminacji CO₂, bo występuje oddech zwrotny. Utrata ciepła, w zależności od FGF, waha się od 300 – 180 kcal/ min.

Znieczulenie ogólne „małym przepływem”

Low-flow anesthesia – LFA

Znieczulenie, w którym FGF wynosi od 3 – 0,5 l/ min, ale najczęściej jest niższy niż 1,5 l/ min. Wielkość przepływu gazów przewyższa zapotrzebowanie minutowe na tlen. Oddech zwrotny istnieje i konieczna jest eliminacja CO₂ przez pochłaniacz CO₂. Straty ciepła są mniejsze niż 180 kcal/ min.

Znieczulenie ogólne „minimalnym przepływem”

Minimal-flow anesthesia – MFA

Znieczulenie, w którym FGF nie przekracza 0,5/ min. Oddech zwrotny istnieje i konieczna jest eliminacja CO₂ przez pochłaniacz CO₂. Straty ciepła są mniejsze niż 180 kcal/ min.

Skład gazów oddechowych

	Zawartość procentowa i ciśnienia parcjalne w powietrzu		
	Wdychanym	Wydychanym	Pęcherzykowym
Tlen	20.96% 156.2 mm Hg	16.3% 116.2 mm Hg	14.5% 101 mm Hg
Dwutlenek węgla	0.04% 0.3 mm Hg	4% 28.5 mm Hg	5.5% 40 mm Hg
Azot (i inne gazy śladowe)	79% 596.5 mm Hg	79.7% 568.3 mm Hg	80% 572 mm Hg
Ogółem:	100% 760 mm Hg	100% 760 mm Hg	100% 760 mm Hg

Azot

W organizmie człowieka o przeciętnej budowie azot występuje w ilości ok. 3,5 l. W tkankach rozpuszczone jest ok. 2 litrów, a czynnościowa pojemność

zalegająca (FRC) mieści ok. 1,6 l azotu. Obecność azotu w organizmie nie jest w trakcie znieczulenia korzystna.

Pierwszą fazą indukcji znieczulenia jest natlenienie bierne - denitrogenacja. W jej trakcie pacjent oddycha spontanicznie 100% tlenem (lub mieszaniną tlenu i podtlenku azotu), podawanym z aparatu do znieczulenia w objętości zbliżonej do wentylacji minutowej (HFGF – *high fresh gas flow*), przez szczelnie przyłożoną do twarzy maskę. Celem natlenienia biernego jest przede wszystkim eliminacja azotu. Zwiększenie rezerwy tlenowej organizmu ma znaczenie drugorzędne. Azot ulega najszybciej eliminacji z płuc (do 6 minut). W ciągu 15-20 minut HFA eliminuje się z organizmu przeciętnie ok. 2 l azotu.

Po ustaleniu się składu mieszaniny oddechowej (faza wstępna - w trakcie HFA), zmniejsza się (na przepływomierzu) przepływ gazów, rozpoczynając LFA, lub MFA. W trakcie LFA (MFA) do układu oddechowego dostarczana jest 1/6 - 1/12 wentylacji minutowej pacjenta, zatem w początkowym okresie znieczulenia względnie więcej azotu przechodziło będzie z tkanek (z których będzie on eliminowany) do płuc. Zawartość azotu w mieszaninie oddechowej w trakcie LFA nie przekracza z reguły 5% składu mieszaniny oddechowej, a szczyt stężenia azotu w mieszaninie oddechowej obserwowany jest w 45 minucie po rozpoczęciu znieczulenia.

Faza wstępna-nasycająca (HFGF) LFA powinna trwać ok. 6 minut.

Zaleca się, aby faza wstępna (HFGF) MFA trwała ok. 15-20 minut, ponieważ przepływ gazu po tym czasie będzie $\leq 0,5$ l/min., zatem eliminacja azotu z tkanek do płuc będzie względnie większa. Przez pierwsze 35-45 minut MFA obserwuje się kliniczne znaczący wzrost stężenia azotu w płucach, który zajmuje powyżej 10% objętości mieszaniny gazów. W trakcie pierwszych 45 minut MFA zaleca się, aby co 15 minut zwiększyć na 1 minutę FGF w celu wypłukania azotu z płuc.

Tlen

Zużycie tlenu (ml/ min.) wyliczyć można z wzoru Brody'ego (1945 r.), który woryginalnie przed stawia się następująco:

$$V_{O_2} = 10 \times \text{waga}^{3/4} \text{ (ml/ min.)}$$

waga: [kg]

Po zmodyfikowaniu można go wyrazić:

$$V_{O_2} = 3.5 \times \text{waga} \text{ (ml/ min.)}$$

Wzór Brody'ego odnosi się do zużycia tlenu przez pacjentów, których waga zawiera się w przedziale 55-100 kg. Przeciętne zużycie tlenu przez dorosłego 70-cio kilogramowego człowieka wynosiło będzie ok. 250 ml/ min.

Dla pacjentów o wadze pomiędzy 10-55 kg wzór będzie się przedstawiał następująco:

$$V_{O_2} = 3.75 \times \text{waga} \text{ (ml/ min.)}$$

Zużycie tlenu podczas znieczulenia jest w rzeczywistości mniejsze o ok. 10-30%. Wynika to ze zwolnienia procesów metabolicznych spowodowanych działaniem anestetyków. Zapotrzebowanie na tlen w czasie znieczulenia może wzrosnąć w sytuacjach stresu operacyjnego (początek operacji, operacja w okolicach stresogennych, za małe dawki środków przeciwbólowych).

Dwutlenek węgla

Dwutlenek węgla jest produktem końcowym procesów oddechowych. Wielkość eliminacji związana jest z metabolizmem pacjenta. Im jest on wyższy, tym więcej się go tworzy. Przeciętnie w ciągu minuty jego prężność we krwi wzrasta o 3-4 mm Hg (u niewentylowanego pacjenta). W warunkach fizjologii jest on na szczęście szybko eliminowany przez płuca.

Wielkość tworzenia się (eliminacji) dwutlenku węgla można wyliczyć z wzoru:

$$V_{CO_2} = 3 \times \text{waga} \text{ (ml/ min.)}$$

waga: [kg]

Objętość tworzącego się dwutlenku węgla jest niższa od wyliczonej podobnie, jak zużycie tlenu.

Znieczulając metodą półzamkniętą i zamkniętą, z powodu obecności oddechu zwrotnego, należy bezwzględnie eliminować dwutlenek węgla z układu oddechowego.

Jeżeli wykonuje się znieczulenie metodą otwartą, lub półotwartą takiego obowiązku nie ma, ponieważ nie występuje oddech zwrotny, wymagający eliminacji CO₂.

Dwutlenku węgla można również nie eliminować w sytuacjach, w których prowadzi się wentylację przez układ okrężny, jeżeli FGF wynosi:

- Dla wentylacji kontrolowanej = $0,8 \times \sqrt{\text{waga(kg)}} \text{ (l/ min.)}$ – tj. 6,7 l/ min.
- Dla wentylacji spontanicznej = $\sqrt{\text{waga(kg)}} \text{ (l/ min.)}$ – tj. 8.4 l/ min.

Podtlenek azotu

Podtlenek azotu jest jedynym nieorganicznym anestetykiem wziewnym, który używany jest również jako składowa oddechowej mieszaniny nośnikowej. Nie ulega on praktycznie metabolizmowi i charakteryzuje się niskim współczynnikiem rozpuszczalności krew-gaz. Jest 34x lepiej rozpuszczalny we krwi od azotu i w pierwszych kilkunastu minutach znieczulenia wypiera go z tkanek, zajmując jego miejsce. Wielkość „wychwytu” podtlenku azotu przez tkanki zmniejsza się odwrotnie proporcjonalnie do pierwiastka z upływającego czasu. Zatem przechodzenie podtlenku azotu do tkanek stale się zmniejsza. I tak:

- do 20 minuty od rozpoczęcia znieczulenia wynosi - 223 ml/ min,
- w 30 minucie - 183 ml/ min.,
- w 60 minucie - 129 ml/ min.,
- a w 120 min - 91 ml/ min.

„Zużycie” podtlenku azotu wylicza się z wzoru Severinghausa (1954 r.):

$$V_{N_2O} = 1000 \times t^{-1/2} \text{ (ml/ min.)}$$

t: czas: [min.], przy założeniu, że pacjent wentylowany jest mieszaniną zawierającą 70% podtlenku azotu i 30% tlenu.

Podtlenek azotu nie jest metabolizowany, a jego zużycie związane jest z wagą pacjenta. Typowy – 70 kg pacjent w ciągu 90 minut znieczulenia mieszaniną podtlenku azotu i tlenu (70:30%) pochłania 20 l. N₂O.

Anestetyki wziewne

W Polsce używane są cztery anestetyki halogenowe:

- Halotan
- Izofluran
- Sewofluran
- Desfluran.

Za najbardziej odpowiednie do LFA uznaje się: sewofluran, izofluran, desfluran.

Chcąc ocenić „zużycie” anestetyków przez organizm podstawia się :

- f - czynnik definiujący stężenie środka wziewnego, przy którym pacjent nie zareaguje na nacięcie skóry,
- MAC – minimalne stężenie pęcherzykowe,
- $\lambda_{B/G}$ – współczynnik rozpuszczalności krew-gaz,
- Q – rzut serca,
- t – czas,

do wzoru Lowe'a (1981 r.):

$$V_{an} = f \times MAC \times \lambda_{B/G} \times Q \times t^{-1/2}.$$

Zużycie izofluranu:

- przy współczynniku $\lambda_{B/G} - 1,5$
- i MAC – 1,2%/ obj. wynosiło będzie:
 - 70 ml/ min. w pierwszej minucie
 - 25 ml/ min po 15 minutach
 - i zmniejszy się do ok. 10 ml/ min., jeżeli parownik ustawiony będzie na 1,2%/ obj.

Zużycie sewofluranu:

- przy współczynniku $\lambda_{B/G} - 0,7$
- i MAC – 2%/ obj. wynosiło będzie:
 - 40 ml/ min. w pierwszej minucie
 - 5 ml/ min po 30 minutach i utrzymywać się będzie na tym poziomie, jeżeli parownik ustawiony będzie na 2,1%/ obj. u 70 kg człowieka.

Zużycie desfluranu:

- przy współczynniku $\lambda_{B/G} - 0,5$
- i MAC – 6,0%/ obj. wynosiło będzie:
 - 90 ml/ min. w pierwszej minucie
 - 15 ml/ min po 30 minutach
 - i ustabilizuje się na ok. 10 ml/ min.

Kinetyka gazów w układzie oddechowym

Zasady ustalania składu mieszaniny oddechowej i wielkości przepływu gazów do układu oddechowego dla układów zamkniętych, LFA i MFA opracowane zostały w latach 70-tych i 80-tych. Podstawy teoretyczne i praktyczne zostały więc opisane w okresie, kiedy monitorowanie gazów

oddechowych nie było rutynowe. W związku z tym czas trwania fazy wstępnej – nasycającej (w trakcie, którego prowadzi się HFGF, czyli HFA) ustalony został w sposób orientacyjny. I tak w przypadku LFA szacuje się go na ok. 6 minut (technika Götteborg'ska).

Obecnie rutynowo monitoruje się gazy oddechowe, zatem czas utrzymywania HFGF (fazy wstępnej) można indywidualizować i uznać za wystarczający, jeżeli różnica pomiędzy stężeniem końcowo-wdechowym, a końcowo-wydechowym dla np. podtlenu azotu wynosi 3-4%. Przy tej różnicy wdechowo-wydechowej można uznać, że usunięto większość azotu z organizmu i zmniejszyć FGF do wartości odpowiadających LFA.

Wątpliwości (dotyczące głębokości znieczulenia) mogą się pojawić w sytuacji, kiedy nie jest używany podtlenek azotu, tylko inny anestetyk halogenowy, a nośnikiem gazów jest mieszanina powietrza z tlenem (azot!!!), lub 100% tlen. Żeby ocenić głębokość znieczulenia należy kierować się stężeniem anestetyku w gazach wdechowych (MAC) i wydechowych oraz monitorować np. czynność kory mózgowej np. aparatem BIS. Czynności te nie mogą odbywać się z pominięciem oceny stanu ogólnego pacjenta (dokładna obserwacja kliniczna, która powinna być prowadzona w każdym rodzaju znieczulenia).

Przepływ gazów - FGF

Polecane wartości FGF (w fazie wstępnej i podtrzymującej), kiedy oddechową mieszaniną nośnikową jest tlen i podtlenek azotu

Czas trwania znieczulenia	Od 0 - 6 minut	Powyżej 6 minut
Waga (kg)	FGF (l/ min); O ₂ : N ₂ O	FGF (l/ min); O ₂ : N ₂ O
Poniżej 70 kg	1,5 : 3,5	0,25 : 0,6-0,8
70-100 kg	1,5 : 3,5	0,35 : 0,7-0,9
Powyżej 100 kg	1,5 : 3,5	0,5 : 0,8-1,0

Polecane wartości FGF (w fazie wstępnej i podtrzymującej), kiedy oddechową mieszaniną nośnikową jest powietrze z tlenem

Czas trwania znieczulenia	Od 0 – 2-3 minut	Powyżej 3 minut
Waga (kg)	FGF (l/ min); O ₂ : AIR	FGF (l/ min); O ₂ : AIR
Poniżej 70 kg	1 : 5	0,2 : 1
Izofluran	0,9 %/ obj.	2,5 %/ obj.
Sewofluran	1,6 %/ obj.	3 %/ obj.
Desfluran	4,5 %/ obj.	7,5 %/ obj.
70-100 kg	1 : 5	0,25 : 1,2
Izofluran	0,9 %/ obj.	2,5 %/ obj.
Sewofluran	1,6 %/ obj.	3 %/ obj.
Desfluran	4,5 %/ obj.	7,5 %/ obj.
Powyżej 100 kg	1 : 5	0,3 : 1,5
Izofluran	0,9 %/ obj.	2,5 %/ obj.
Sewofluran	1,6 %/ obj.	3 %/ obj.
Desfluran	4,5 %/ obj.	7,5 %/ obj.

Po fazie wstępnej HFA (po ok. 6 minutach) i zmniejszeniu FGF (LFA) należy zwiększyć stężenie anestetyków halogenowych z powodu obniżenia się ich stężenia w mieszaninie oddechowej i możliwości spłycenia anestezji (skutek rozcieńczeń Egera). Stężenie anestetyku rzeczywiste w mieszaninie oddechowej jest mniejsze od wartości „na parowniku”. Obniżenie stężenia po rozpoczęciu LFA dotyczy przede wszystkim anestetyków o wysokim współczynniku rozpuszczalności krew-gaz (izofluran, halotan), choć zaleca się także podwyższenie stężenia sewofluranu i desfluranu (mały współczynnik $\lambda_{B/G}$). Dla przykładu, jeżeli ustawi się parownik na 1% objętości przy FGF 5 l/ min., to do układu oddechowego uwalnia się 50 ml/ min. anestetyku (5000 ml : 100%), zatem, żeby utrzymać stężenie na takim samym poziomie po obniżeniu FGF do 1 l/ min. należy zwiększyć wartość na parowniku do 5%/ obj. (1000 ml : 100/5%).

Przepływ gazów (FGF), stężenie anestetyku wziewnego „ustawione na parowniku”, a uwalnianie środka znieczulającego z parownika do układu oddechowego

- Jeżeli parownik ustawiony jest na 1%/ obj. – to przy FGF 5 l/ min. uwalnia się z niego do układu okrężnego 50 ml/ min. środka.
- Jeżeli parownik ustawiony jest na 5%/ obj. – to przy FGF 5 l/ min. uwalnia się z niego do układu okrężnego 250 ml/ min. środka.
- Jeżeli parownik ustawiony jest na 1%/ obj. – to przy FGF 0,5 l/ min. uwalnia się z niego do układu okrężnego 5 ml/ min. środka.
- Jeżeli parownik ustawiony jest na 5%/ obj. – to przy FGF 0,5 l/ min. uwalnia się z niego do układu okrężnego 25 ml/ min. środka.

Parownik (wartość %/ obj.)	FGF (l/ min.)	Uwolniona ilość środka do układu okrężnego (ml/ min.)
1 %/ obj.	5	50 ml/ min. (bo 5000 ml : 100%)
5 %/ obj.	5	250 ml/ min. (bo 5000 ml : 100/5%)
1 %/ obj.	0,5	5 ml/ min. (bo 500 ml : 100%)
5 %/ obj.	0,5	25 ml/ min. (bo 500 ml : 100/5%)

Czas obecności gazów w układzie oddechowym wylicza się dzieląc pojemność układu okrężnego przez FGF (w l/ min). Jeżeli pojemność układu okrężnego jest mała (np. 5 l), a FGF wynosi 5 l/ min., to czas obecności gazu wynosi 1 minutę.

Jeżeli pojemność układu jest duża (np. 10 l), to przy FGF 5 l/ min. czas obecności gazu wynosił będzie 2 minuty. Kiedy wykonuje się LFA, pojemność układu oddechowego ma ogromne znaczenie. Przy małej pojemności układu, nadzór nad LFA będzie łatwiejszy (znieczulenie to będzie sterowne).

W trakcie zabiegu operacyjnego nierzadko zachodzi konieczność pogłębienia znieczulenia. W tym celu zwiększa się stężenie anestetyku wziewnego w układzie oddechowym przez odkręcenie parownika do żądanej wartości. Czas osiągnięcia „nowego” ciśnienia parcjalnego w pęcherzykach płucnych będzie tym krótszy, im mniejszy jest współczynnik rozpuszczalności krew-gaz. Podwyższenie stężenia sewofluranu, lub desfluranu (mały

współczynnik rozpuszczalności krew-gaz - $\lambda_{B/G}$) będzie przebiegało znacząco krócej od izofluranu (duży współczynnik $\lambda_{B/G}$). Zatem zamierzone stężenie osiągnięte zostanie szybciej w przypadku sewofluranu i desfluranu.

Mały przepływ (FGF) powodował będzie wolniejsze narastanie zadanego stężenia. Wiąże się to z mniejszym przepływem „porywającym” anestetyk z parownika. Aby osiągnąć „nowe” – wyższe stężenie środka o wysokim $\lambda_{B/G}$ w krótszym czasie, lepiej zwiększyć FGF.

Dla kontrastu w sytuacji, w której osiągnęło się denitrogenację i ustaliło się planowane stężenie anestetyków wziewnych o niskim współczynniku rozpuszczalności krew-gaz w czasie LFA - dla zwiększenia stężenia w układzie oddechowym nie jest wymagane zwiększenie FGF, a jedynie zwiększenia stężenia środka „na parowniku”. Oczywiście – także i w tym przypadku – nowe stężenie pęcherzykowe zostanie osiągnięte w krótszym czasie, po zwiększeniu FGF.

Eliminacja gazów po zakończeniu znieczulenia

Kończąc znieczulenie zamyka się dopływ anestetyków wziewnych przez zakręcenie parownika. Zwiększenie FGF do objętości zbliżonych do wentylacji minutowej przyspiesza eliminację anestetyków. Eliminacja jest tym szybsza im niższy jest współczynnik $\lambda_{B/G}$.

Należy pamiętać o konieczności co najmniej 5 minutowej wentylacji 100% tlenem pacjentów, którym podawano podtlenek azotu, dla zapobieżenia wystąpienia hipoksji dyfuzyjnej.

Parowniki

- Parowniki w układzie oddechowym (*VIC – vaporiser in-circuit*).
- Parowniki poza układem oddechowym (*VOC – vaporizer out-circuit*).

Pochłaniacze dwutlenku węgla

Zadaniem pochłaniacza dwutlenku węgla jest eliminacja dwutlenku węgla z mieszaniny oddechowej. Proces ten odbywa się na drodze chemicznej. Idealny pochłaniacz CO₂ powinien:

- Eliminować jedynie CO₂.
- Być efektywny - 100 g substancji powinno pochłaniać 6-10 l CO₂.
- Nie powodować rozpadu anestetyków wziewnych.
- Być konfekcjonowany w formie gotowej do użycia (granulki, stałe – tj. bezpyłowe, nietoksyczne).
- Mieć barwny znacznik, świadczący o jego zużyciu.
- Przepuszczać ciepło, wilgoć i być bakteriostatyczny.
- Nie drażnić dróg oddechowych.

Obecnie używane pochłaniacze CO₂ należą do jednej z trzech grup:

1. Zawierające NaOH i KOH: wapno sodowane, Sodasorb itp.
2. Nie zawierające KOH: Sofnolime, Medisorb, Drägersorb 800 plus, KOH-free Sodasorb, Spherasorb.
3. Nie zawierające NaOH i KOH: Amsorb, Superia, LoFloSorb, lithium hydroxide.

Najczęściej używanymi substancjami pochłaniającymi CO₂ są:

Składnik	Wapno sodowane	Wodorotlenek baru	Amsorb
Ca(OH) ₂ (%)	94	80	83
NaOH (%)	5	-	-
KOH (%)	1	6	-
CaCl ₂ (%)	-	-	1
CaSO ₄ (%)	-	-	4
Zawartość wody (%)	14 – 19	11 – 16 (jako oksyhydrat)	14
Ba(OH) ₂ – 8 H ₂ O (%)	-	20	-
Wielkość cząstek	4 – 8	4 – 8	4 - 8
Wskaźnik	Tak	Tak	tak

Eliminacja dwutlenku węgla przez wapno sodowane przebiega w następujący sposób:

1. $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$
2. $\text{H}_2\text{CO}_3 + 2 \text{NaOH}$ (albo KOH) $\rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$ (albo K_2CO_3) + 2 H₂O + energia
3. Na_2CO_3 (albo K_2CO_3) + Ca(OH)₂ $\rightarrow \text{CaCO}_3$ + 2 NaOH (albo KOH)

Eliminacja dwutlenku węgla przez Baralyme przebiega w następujący sposób:

1. $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{BaCO}_3 + 9 \text{H}_2\text{O} + \text{energia}$
2. $9 \text{H}_2\text{O} + 9 \text{CO}_2 \rightarrow 9 \text{H}_2\text{CO}_3$
3. $9 \text{H}_2\text{CO}_3 + 9 \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 9 \text{CaCO}_3 + 18 \text{H}_2\text{O} + \text{energia}$

Eliminacja dwutlenku węgla przez Amsorb przebiega w następujący sposób:

1. $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$
2. $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{energia}$

Czas skutecznej eliminacji CO₂, przez 0,5 kg substancji pochłaniającej wynosi ok. 6-8 godz. i jest indywidualny (zależy od metabolizmu pacjenta i FGF). Im mniejszy FGF tym zużycie pochłaniacza CO₂ szybsze, ponieważ znaczna część gazów w układzie okrężnym kilkakrotnie przepływa przez pochłaniacz. Uważa się, że przy FGF 0,5 l/ min. żywotność pochłaniacza wynosi 7 godzin, a przy FGF 3 l/ min. – 10 godzin. Część pochłaniaczy CO₂ ma barwne znaczniki; zmiana zabarwienia pochłaniacza wskazuje na jego zużycie i obliuguje do wymiany. Uważa się, że nie powinno się dopuszczać do sytuacji, w której wdechowe stężenie dwutlenku węgla przekraczałoby 1% (w powietrzu wdechowym zawartość CO₂ wynosi 0,04%). Pojemność absorpcyjna pochłaniacza dwutlenku węgla jest:

- Wypadkową wentylacji minutowej pacjenta (produkcja CO₂).
- Pojemności zbiornika (na wapno sodowane).
- Przepływu świeżych gazów do układu oddechowego (FGF).

Reakcja wapna sodowanego z dwutlenkiem węgla jest reakcją egzotermiczną i przebiega z uwolnieniem wody. Pomimo tego, że FGF ma

temperaturą niższą od temperatury sali operacyjnej, to w trakcie LFA temperatura gazów oddechowych ulegała będzie podwyższeniu, podobnie jak ich wilgotność. Temperatura gazów wdechowych jest przeciętnie o 5-7 stopni C wyższa niż temp. sali operacyjnej, a jej wilgotność względna wynosi 100%. Z tego powodu powinno się unikać stosowania wymienników ciepła i wilgoci na rurkę intubacyjną (HME), ponieważ ich użycie prowadzi do podwyższenia temperatury gazów, zwiększenia wilgotności i podwyższenia oporów dla przepływającego gazu. Zaleca się filtry przeciwbakteryjne, które po zawilgoceniu nie podwyższały będą oporu przepływającego przez nie gazu.

Spory problem stanowią reakcje anestetyków wziewnych z substancjami pochłaniającymi dwutlenek węgla. Wielkość ich tworzenia zależy od kilku czynników, z których za najważniejsze uznaje się rodzaj pochłaniacza i mały przepływ gazów (LFA i MFA). Związki chemiczne tworzące się w anestetycznym układzie oddechowym w wyniku reakcji anestetyków halogenowych z substancją pochłaniającą dwutlenek węgla można „w sztuczny sposób” przydzielić do czterech grup:

1. Substancje, które tworzą się w organizmie (aceton, tlenek węgla, metan i wodór)
2. Substancje, które są pochłaniane przez organizm (etanol, tlenek węgla i azot).
3. Substancje tworzące się w układzie okężnym (tlenek węgla i produkty przemiany anestetyków halogenowych: CpA – Compound A).
4. Substancje wprowadzane do układu oddechowego, jako zanieczyszczenia gazów medycznych, także spowodowane oddechem zwrotnym (azot, argon).

I tak:

Anestetyk	Produkt degradacji
Halotan	2-bromo-2-chloro-1,1-dwufiuoroetylen
Enfluran	Tlenek węgla
Izofluran	Tlenek węgla
Desfluran	Tlenek węgla, fluoroform
Sewofluran	Związek A i B (Compound A i B: CpA, CpB)

Charakterystyka związków chemicznych

Substancja złożona A (Compound A – CpA)

Substancja złożona A (pochodna eteru winylowego) jest produktem degradacji nieenzymatycznej sewofluranu i powstaje w wyniku reakcji sewofluranu z substancją pochłaniającą CO₂. CpA tworzy się we wszystkich aparatach do znieczulenia, wyposażonych w pochłaniacz CO₂ i przy każdym FGF. Wielkość jej syntezy jest zależna od FGF i jest tym większa im mniejszy jest przepływ gazów. Za normę, jeżeli o normie dla Compound A można w ogóle pisać, przyjmuje się 1 ppm (część w milionie).

Wielkość dawki toksycznej i śmiertelnej CpA określona została jedynie u zwierząt – szczury (badania Morio, Mazze i Gonsowskiego) i wynosi:

- 331 ppm - 3 godziny ekspozycji – dawka toksyczna.
- 203 ppm - 6 godzin ekspozycji – dawka toksyczna.
- 127 ppm - 12 godzin ekspozycji (u szczurów LC50).

Nie udało się natomiast wykazać zależności pomiędzy obecnością CpA i jej stężeniem, a nefrotoksycznością u ludzi. Związane jest to z różnymi drogami metabolizmu substancji złożonej A u ludzi i szczurów.

W trakcie badań oceniających wpływ CpA na nerki oznaczano stężenia enzymów, będących markerami uszkodzenia nerek. Należą do nich:

- Transferaza α - glutationu – α GST
- Transferaza π - glutationu – π GST
- N- acetylo- β -D-glukosaminidaza – NAG
- Aminopeptydaza alaninowa – AAP
- β -2 mikroglobulina.

Okazało się jednak, że w trakcie LFA sewofluranem stężenia ww. enzymów są niższe, niż po znieczuleniu enfluranem^{Fukiura i Ikeda} i zbliżone do wartości osiąganych po znieczuleniu izofluranem^{Kharash, Conzen}.

W trakcie prowadzonych badań zaobserwowano zależność pomiędzy wielkością syntezy CpA, a rodzajem użytego pochłaniacza dwutlenku węgla i panującej w nim temperatury.

Substancje pochłaniające CO₂ różnią się pomiędzy sobą zawartością wody i obecnością niektórych składników (głównie silnych zasad). Okazało się, że najmniej CpA tworzy się w trakcie LFA, jeżeli do eliminacji dwutlenku węgla używano Amsorb'u (nie zawiera NaOH i KOH); najwięcej, kiedy używano wapna sodowanego. Tworzenie CpA było 10-krotnie większe, jeżeli używano wapna sodowanego zamiast Amsorb'u^{Di Filippo 2002}.

Wpływ na tworzenie się CpA ma również temperatura pochłaniacza CO₂. Im jest ona wyższa tym więcej będzie się tworzyło CpA^{Di Filippo 2002}.

Mając na uwadze możliwą nefrotoksyczność sewofluranu spowodowaną CpA, Federacja Żywności i Leków USA (*Food and Drug Administration – FDA*) zaleciła, aby podczas LFA sewofluranem, którego czas przekracza 1 godzinę - utrzymywać FGF powyżej 2 l/ min.. Jeżeli LFA jeżeli trwa krócej niż godzinę dopuszczalny jest FGF równy 1 l/ min.^{Gentz 2001}. Znane są badania, w których autorzy wykazali bezpieczeństwo stosowania sewofluranu przy MFA (Obata et al. *Anesthesiology* 1998; 89(3A):A 138; Gronau et al. *Anesthesiology* 1998; 89 (3A): A150; Reinhardt et al. *Anesthesiology* 1998; 89 (3A): A142.) Stężenie CpA nie było wyższe niż 60 ppm.

W trakcie badań oceniających LFA i MFA na wielkość tworzenia CpA wypracowano kilka sposobów, których zastosowanie może zmniejszyć syntezę CpA. Oprócz użycia innego niż wapno sodowane pochłaniacza, można:

1. Schładzać mieszaninę gazów docierających do pochłaniacza dwutlenku węgla przez zwiększenie przestrzeni bezużytecznej układu oddechowego (dołączenie pomiędzy łącznik Y, a filtr oddechowy rurki o pojemności 160-170 ml)^{Luttropp 2002}.
2. Schładzać mieszaninę gazów oddechowych przez podłączenie urządzenia chłodzącego. Okazało się, że obniżenie temperatury gazów wydechowych

- z 24 do 5°C zmniejszyło produkcję CpA z 27,1 do 16,3 ppm^{Osawa 1998}. Nie uległa – co ważne - obniżeniu temperatura ciała.
3. Użyć mniejszego pojemnika na wapno sodowane. Okazało się, że w aparatach, w których pojemnik na wapno sodowane jest niewielki (AS/ 3 ADU Datex-Ohmeda) tworzenie CpA jest mniejsze^{Yamakage 2001}.
 4. Podawać Probenecid w dawce 2 g, na dwie godziny przed znieczuleniem. W grupie LFA wartości enzymów uszkodzenia nerek były znamienne niższe^{Higuchi 2001}.
 5. Wykonywać znieczulenie aparatem PhysioFlex, który pozwala znieczulać metodą zamkniętą; temp. pochłaniacza dwutlenku węgla jest w nim o 10°C niższa (i wynosi 33°C), niż w innych aparatach LFA.
 6. Dodać do pochłaniacza wodę destylowaną w ilości 100 ml/ 1 kg wapna sodowanego^{Bito}.

Argon

Jest gazem szlachetnym i nieszkodliwym. Pojawia się w wyjątkowych okolicznościach w koncentratorach tlenowych. Podczas LFA jego stężenie waha się od 5-6%, a przy MFA 8-15%. Można zredukować ilość argonu w układzie okrężnym przez okresowe (co 90 minut) przepłukiwanie układu oddechowego HFA.

Wodór

Wodór eliminowany jest z płuc w ilości 0,6 l/ min. W trakcie MFA jego stężenie może wynosić 200 ppm/ godz.; i jest niższe od stężenia, w którym może wystąpić zapłon.

Tlenek węgla

Niepokojącym, ale na całe szczęście sporadycznym zjawiskiem jest tworzenie się tlenku węgla, w następstwie kontaktu anestetyku halogenowego (enfluran, izofluran i desfluran) z substancją pochłaniającą dwutlenek węgla. Tlenek węgla mając wybitne powinowactwo do hemoglobiny, łączy się z nią, tworząc karboksyhemoglobinę. Karboksyhemoglobina nie ma zdolności wiązania tlenu. Wartości prawidłowe karboksyhemoglobiny we krwi nie przekraczają 0,4 – 0,8%, ale u palaczy tytoniu mogą sięgać 10%. Donoszono, że w układzie zamkniętym stężenie CO może osiągnąć wartość 200 ppm. Objawy toksyczne pojawiają się przy wartościach 600 ppm/ godz.; wymioty i bóle głowy przy 900 ppm/ godz., a stan bezpośrednio zagrażający życiu przy 1500 ppm/ godz. Najmniej CO tworzy się, kiedy do eliminacji CO₂ używa się Amsorb'u, nieco więcej przy wapnie sodowanym^{Knolle 2002}, a najwięcej przy Baralyme^{Kharash 2002}. Wielkość syntezy CO jest największa, jeżeli wapno sodowane jest dodatkowe suche – „zespół poniedziałkowego ranka” – „Monday disease”^{Funk 1999}. Rolę w tworzeniu się CO odgrywa również temperatura pochłaniacza; więcej się go tworzy jeżeli temperatura pochłaniacza jest wyższa. Wartość tlenku węgla obniża się po 60 minutach znieczulenia. Wielkość tworzenia CO przedstawia się następująco: (desfluran ≥ enfluran > izofluran) >> (halotan = sewofluran).

Aceton

Aceton powstaje w organizmie w wyniku metabolizmu tlenowego wolnych kwasów tłuszczowych (FFA – free fatty acids). Jeżeli jego stężenie osiągnie 50 mg/ l pojawiają się m.in. wymioty. W układzie okrężnym podczas MFA jego stężenie nie przekracza 40 ppm. Nie jest możliwe obniżenie się jego stężenia przez okresowe przepłukiwanie układu HFA. W związku tym nie poleca się MFA i LFA u pacjentów z niewyrównaną cukrzycą. Dla obniżenia metabolizmu FFA poleca się natomiast wlew 5% r. glukozy.

Metan

Metan jest produktem fermentacji wodorowęglanów w ustroju (przede wszystkim w okrężnicy). Występuje w układzie pokarmowym ludzi i zwierząt. Jest eliminowany przez płuca. Jeżeli prowadzi się MFA metodą zamkniętą metan może ulegać kumulacji w układzie oddechowym do wartości od 11 – 1976 ppm. Jego obecność może wpływać na odczyt stężenia innych anestetyków halogenowych. Zjawisko to obserwuje się, jeżeli analiza gazów oddechowych odbywa się w podczerwieni przy długości fali 3,3 μm (obecnie wykorzystuje się falę o długości 9-12 μm ; tutaj metan nie powoduje nieprawidłowości odczytu stężenia). Może powodować błędne odczyty stężenia enfluranu i izofluranu, ale najbardziej halotanu. Dla „pozbycia się” metanu poleca się okresowe zwiększenie FGF.

Etanol

Jego obecność jest wysoce prawdopodobna w układzie okrężnym, u pacjentów znajdujących się pod wpływem alkoholu, znieczulanych LFA i MFA. Charakteryzuje się dużą rozpuszczalnością w wodzie i może ulegać gromadzeniu w układzie okrężnym. Dlatego w obawie o stan dróg oddechowych i możliwe interakcje nie poleca się LFA i MFA u pacjentów znajdujących się pod wpływem alkoholu.

Procedury:

1. Faza wstępna – nasycająca

- FGF: 6 l/ min. (denitrogenacja)
- Czas trwania: 5 – 15 minut
- Filtr przeciwbakteryjny (nie poleca się HME)

2. Faza potrzymująca – LFA

- FGF: 1 l/ min.
- Podwyższenie stężenia anestetyku halogenowego (skutek rozcieńczeń Egera: średnio ok. 2-4x, w sytuacji, kiedy używa się parownika VOC)
- Monitorowanie.
- W trakcie szczególnie MFA w wyniku uwalniania się z tkanek do układu oddechowego N_2 może dochodzić do okresowego obniżenia stężenia O_2 – należy okresowo przepłukać układ HFGF.

3. Zmiana stężenia anestetyków wziewnych w układzie oddechowym

Należy pamiętać, aby w sytuacjach nagłych wymagających pogłębienia, lub spłycenia znieczulenia:

- Ustawić parownik do żądanej wartości.

- Zwiększyć dopływ świeżych gazów (FGF) do 6 l/ min (4 l/ min. N₂O i 2 l/ min. O₂).
- Po osiągnięciu nowej wartości (ok. 5 min) zmniejszyć FGF ponownie do wartości odpowiadającej LFA
- Parownik należy ustawić do wartości 0.5%/ obj. wyższej (jeżeli zwiększaliśmy), lub o 1 - 2%/ obj. niższej (jeżeli zmniejszaliśmy stężenie) od wartości wyjściowej.

Jeżeli nie ma znaczenia czas osiągnięcia nowego stężenia anestetyku, można zwiększyć, lub zmniejszyć jego wartość, pamiętając, że czas osiągnięcia nowego stężenia będzie bardzo długi dla anestetyków o wysokim współczynniku λ .

4. Faza wybudzenia

– FGF: 6 l/ min. (100% tlen)

Podsumowanie

Znieczulenie z małym i minimalnym przepływem (LFA i MFA) powinno się wykonywać mając na względzie:

- Dobro pacjenta. Znieczulenie z dużym przepływem (HFA) naraża pacjenta na oddychanie zimnymi i suchymi (nienawilżonymi) gazami oddechowymi.
- Mniejsze zużycie anestetyków wziewnych, tlenu i powietrza (aspekt ekonomiczny). Przy FGF 5 l/ min. aż 80% anestetyków jest „marnotrawione”. Zmniejszenie FGF z 3 – 1 l/ min. pozwala na 50% oszczędność anestetyku. W trakcie znieczulenia LFA przy FGF=1,5 l/ min. zużycie sewofluranu wynosi 19,7 – 22,0 ml/ MAC/ godz.^{Enlund 2002}.
- Mniejsze zanieczyszczenie środowiska sali operacyjnej (aspekt zdrowotny).
- Mniejszą eliminację podtlenku azotu i anestetyków do atmosfery. Podtlenek azotu odpowiedzialny w 10% za efekt cieplarniany.

Piśmiennictwo:

U autora

Copyright by: Waldemar Machała.
WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE.