



Oddychanie i klatka piersiowa

Wydanie pod redakcją

prof. dr. hab. med. Janusza Andresa

i dr med. Halina Traczewska

Kraków

16–19 maja 2007 r.

Redakcja naukowa: prof. dr hab. med. Janusz Andres, dr med. Halina Traczewska

Ośrodek Regionalny FEEA w Krakowie
31-501 Kraków, ul. M. Kopernika 17
tel./fax (12) 424-77-97, tel. 424-77-98
e-mail: msandres@cyf-kr.edu.pl

Autorzy dołożyli wszelkich starań, ażeby informacje dotyczące standardów klinicznych i dawek leków były zgodne z obowiązującą procedurą kliniczną. Jednakże ani autorzy, ani wydawca nie są odpowiedzialni za to, jak ewentualne błędy w tekście publikacji mogą wpływać na procedury kliniczne i leczenie schorzeń opisanych w niniejszej publikacji. Zastosowanie praktyk opisanych w publikacji w konkretnej sytuacji klinicznej leży w gestii i odpowiedzialności zawodowej lekarza. Trzeba również zaznaczyć, że w świecie postępu badań naukowych, zmian regulacji prawnych dotyczących terapii oraz efektów ubocznych leków Czytelnik jest zmuszony do skonfrontowania praktyki klinicznej w ww. informacjami. Niektóre leki i urządzenia medyczne opisane w publikacji nie posiadają bądź posiadają ograniczoną rejestrację medyczną w Polsce. Potwierdzenie faktu rejestracji leku bądź urządzenia medycznego stosowanego w terapii danego schorzenia leży w gestii lekarza opiekującego się pacjentem.

© Copyright by Authors, Kraków 2007

ISBN 978-83-60117-48-4

Przygotowanie do druku:
© FALL
ul. Garczyńskiego 2, 31-524 Kraków
tel. (12) 413-35-00, 294-15-28
www.fall.pl

Wydawca nie ponosi odpowiedzialności za zawartość merytoryczną artykułów.

UKŁADY ANESTETYCZNE ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM NISKICH I MINIMALNYCH PRZEPIŁYWÓW

RYSZARD GAJDOSZ

*Klinika Anestezjologii i Intensywnej Terapii, 5 Wojskowy Szpital Kliniczny w Krakowie
Instytut Zdrowia PWSZ Nowy Sącz*

Układy anestetyczne okrężne umożliwiają podawanie znieczulonym pacjentom mieszanin anestetycznych i tlenu z aparatu do znieczulenia, który nadto wyposażony jest w system wyciągów, chroniący przed zanieczyszczeniem środowiska. Typowe składowe układu okrężnego to worek oddechowy, rury karbowane, źródło dopływu świeżych gazów, zastawka nadciśnieniowa i łączniki. Różnice pomiędzy poszczególnymi rodzajami układów okrężnych dotyczą zapotrzebowania na świeże gazy, obecności zastawek i gabarytów urządzenia. Układy okrężne klasyfikuje się w różny sposób, a mianowicie:

- otwarte,
- zamknięte,
- półotwarte,
- półzamknięte.

Cechą różniącą te układy między sobą jest stopień oddechu zwrotnego zachodzącego w układzie. W układach zamkniętych ilość świeżych gazów dostarczanych do aparatu (układu) jest równa minutowemu zużyciu tlenu przez pacjenta. W układach półzamkniętych dopływ świeżych gazów jest wyższy od zapotrzebowania minutowego na tlen, ale niższy od wentylacji minutowej pacjenta. W układach półotwartych większość gazów wydechowych jest usuwana z układu, a chory otrzymuje świeże gazy w czasie kolejnego wdechu. W układach otwartych zaś brak jest oddechu zwrotnego i nie jest możliwe sterowanie dopływem świeżych gazów i dokładna kontrola podawanych anestetyków.

Dokładniejsza klasyfikacja układów polega na opisie urządzenia i określeniu sposobu dopływu świeżych gazów. Można wyróżnić następujące układy anestetyczne:

- układ okrężny Magilla,
- układ okrężny Baina,
- układ okrężny Jacksona–Reesa,
- układ typu Mera,
- układ z zastawką bezzwrotną,
- układ pośredni.

Do znieczulenia wcześniaków stosuje się najszerzej układy w modyfikacji Jacksona–Reesa, wyposażone w podgrzewacz i nawilżacz na linii dopływu świeżych gazów. Niemowlęta można znieczulać za pomocą układu Jacksona–Reesa, układu współosiowego Baina albo pediatrycznego układu okrężnego z małym workiem oddechowym i rurach karbowanych o małej średnicy. Nie określa się dolnego limitu wieku i masy ciała pacjenta, pozwalających na zastosowanie dziecięcego układu okrężnego z oddechem kontrolowanym lub wspomaganym. Oddech można wspomagać lub okresowo zmieniać na kontrolowany w zależności od tego, czy użyto środka zwiotczającego czy też nie. Chociaż brak jest sztywnych zasad dotyczących wyboru układu anestetycznego w zależności od wieku i masy ciała pacjenta, to z reguły dzieci o wadze 25–30 kg znieczula się za pomocą układu okrężnego Baina. U większego dziecka lub u osoby dorosłej korzysta się z układu okrężnego, pozwalającego na oddech zwrotny i przepływ wydychanych gazów przez pochłaniacz dwutlenku węgla. Dzięki temu możliwe jest zmniejszenie dopływu świeżych gazów i zminimalizowanie utraty ciepła. Ten ostatni układ umożliwia stosowanie niskich przepływów, jednak aparat musi spełniać niezwykle rygorystyczne warunki szczelności, monitorowania itp.

Znieczulenie z zastosowaniem niskich przepływów jest techniką, którą prowadzi się w układzie z oddechem zwrotnym; umożliwia to ponowne krążenie wydychanych gazów anestetycznych. Stosowanie tej techniki przynosi wiele korzyści. Można do nich zaliczyć istotne oszczędności (dzięki zmniejszeniu zużycia gazów anestetycznych – zmniejszenie zanieczyszczenia sali operacyjnej i środowiska) oraz poprawę nawilżania dróg oddechowych – z utrzymaniem właściwej temperatury. Pomimo wielu zalet znieczulenie z wykorzystaniem niskich przepływów pozostaje techniką niedocenianą i wykorzystywaną w zbyt małym stopniu. Przyczyną takiego stanu rzeczy mogą być: niska znajomość techniki i brak doświadczenia w jej stosowaniu, przyzwyczajenie lekarzy do starszych i dobrze znanych sposobów znieczulania, niedostatek sprzętu i leków. Bariera ograniczającą stosowanie omawianej techniki może być poczucie, że jej użycie wiąże się z ryzykiem hipoksji, hiperkapnii, przedawkowania lub zbyt małego dawkowania środka anestetycznego lub nagromadzenia toksycznych produktów jego rozpadu. Jednak dzięki wprowadzeniu do leczenia nowoczesnych aparatów, adekwatnego monitoringu i anestetyków o niskiej rozpuszczal-

ności (sewofluran, desfluran) powyższe bariery i obawy udaje się przełamywać. W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania znieczuleniem techniką niskich przepływów. Zainteresowanie to wynika z konieczności ograniczania kosztów, chęci zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska i wprowadzania nowszych metod znieczulania. Ponadto wprowadzenie nowszych środków znieczulających o niskiej rozpuszczalności pozwala na szybkie zmiany głębokości znieczulenia przy stosowaniu niskich przepływów. Można zatem stwierdzić, że potencjalne korzyści wynikające z wyboru tejże techniki znieczulenia są bardzo duże, teoretyczne wady mają zaś niewielkie znaczenie kliniczne, pod warunkiem posiadania nowoczesnego sprzętu i leków.

Wiadomo, że jedynie ok. 10% podawanego środka anestetycznego wchłania się z wdychanej mieszaniny gazów do kapilar płucnych, zatem znaczna część środka jest wydalana podczas wydechu. Dlatego zastosowanie układu z oddechem zwrotnym ma istotne znaczenie w redukcji ilości traconych bezpowrotnie gazów. Właśnie tu technika „low flow, minimal flow” przynosi wiele korzyści. Technikę znieczulenia z zastosowaniem niskich przepływów definiuje się jako użycie układu z oddechem zwrotnym, w którym przynajmniej 50% wydychanych gazów – po eliminacji CO_2 – jest wdychane ponownie. Niskie przepływy gazów wiążą się ze zwiększeniem czasu wypłukiwania wydychanych gazów. Definicje wielkości przepływów, które podał Baker, wynoszą:

1. przepływ wysoki – 2–4 l/min,
2. przepływ średni – 1–2 l/min,
3. przepływ niski – 500–1000 ml/min (low flow),
4. przepływ minimalny – 250–500 ml/min (minimal flow),
5. przepływ metaboliczny – 250 ml/min.

Z wielkością przepływu związany jest rodzaj anestezji; mówimy zatem:

1. Znieczulenie ogólne z dużym przepływem (high-flow anaesthesia [HFA]) to anestezja, w której FGF (fresh gas flow) wynosi 4–6 l/min, zatem wielkość przepływu gazów przewyższa zapotrzebowanie minutowe, nadmiar gazów zaś ewakuowany jest przez zastawkę nadmiarową. Ten sposób podaży gazów dotyczy metody półzamkniętej w układzie okrężnym z oddechem zwrotnym, istnieje konieczność usuwania CO_2 poprzez absorbent. Utrata ciepła w liniowej zależności od FGF waha się od 180 do 300 kcal/min.
2. Znieczulenie ogólne z małym przepływem (low-flow anaesthesia [LFA]) to anestezja, w której FGF wynosi od 0,5–3 l/min, jednakże zwykle FGF jest równy lub mniejszy niż 1,5 l/min. Wielkość przepływu gazów w LFA przewyższa minutowe zapotrzebowanie na tlen, istnieje oddech zwrotny z koniecznością eliminacji CO_2 , utrata ciepła nie przekracza 180 kcal/min.
3. Znieczulenie ogólne z minimalnym przepływem (minimal-flow anaesthesia [MFA]) to anestezja, w której FGF nie jest wyższy niż 0,5 l/min., istnieje oddech zwrotny z koniecznością eliminacji CO_2 . Straty ciepła są w tym systemie najmniejsze, znacznie poniżej 180 kcal/min.

Aparaty do znieczulenia nowszej generacji są wyposażone w niezawodne, szczelne i niewielkich rozmiarów układy oddechowe, pozwalające na stosownie techniki niskich przepływów. Wielofunkcyjne monitory i analizatory gazów wraz z precyzyjnymi przepływomierzami, specjalnie zaprojektowanymi dla celów techniki niskich przepływów, umożliwiają bezpieczne stosowanie tej metody znieczulania. Właściwe zrozumienie zasady działania tych układów jest warunkiem bezpieczeństwa znieczulenia z użyciem omawianej techniki. Obecnie prawie wszystkie produkowane aparaty do znieczulenia, umożliwiają stosowanie i wykorzystanie oddechu zwrotnego i przepływu świeżych gazów rzędu 1 l/min, a nawet mniejszych. Szczególnie przydatne tu są nowoczesne parowniki, wykonane w technice termokompensacyjnej z wyrównywanym przepływem. Technika znieczulenia z niskimi przepływami nadaje się szczególnie do dłuższych operacji, przekraczających 1,5–2 godz., wynika to zarówno z zasady jej prowadzenia, jak też i potencjalnych oszczędności budżetowych. W zarysie, procedury tej techniki można przedstawić następująco:

1. Faza wstępna, czyli nasycająca z denitrogenacją [FGF – 6 l/min, czas trwania ok. 10–15 min],
2. Faza podtrzymująca LFA [FGF – 1 l/min, elewacja stężenia anestetyku wziewnego ok. 2–4 razy, okresowe przepłukiwanie układu wysokimi przepływami – celem usunięcia azotu i prewencji hipoksji],
3. Zmiany stężeń anestetyków wziewnych w układzie, gdy pożądane jest pogłębienie lub spłycenie znieczulenia,
4. Faza wybudzenia [FGF – 6 l/min i FiO_2 – 1,0].

Zastosowanie znieczulenia z niskimi przepływami ma liczne zalety i przynosi określone korzyści. Należy do nich m.in. zmniejszenie zużycia gazów anestetycznych, redukcja kosztów, zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska, poprawa ogrzewania i nawilżania dróg oddechowych. Zmniejszając przepływ np. z 3 litrów na 1 litr oszczędzono ok. 60% desfloranu; przenosi się to oczywiście na konkretne kwoty oszczędności. Pomimo stałego ulepszania odciągów gazów z sali operacyjnej stosowanie wysokich przepływów prowadzi do zawodowego narażenia personelu na środki wziewne, a wprowadzane są coraz ostrzejsze wymagania stawiane stanowiskom pracy. Znieczulenie z niskimi przepływami wychodzi naprzeciw tym wymaganiom. W licznych badaniach udowodniono, że znieczulenie z zastosowaniem niskich przepływów wiąże się ze zmniejszeniem ryzyka toksycznych wpływów przewlekłego narażenia na anestetyki wziewne. Znieczulenie z niskimi przepływami radykalnie zmniejsza stężenie wdychanych gazów anestetycznych w układzie oddechowym i w moczu. Ponadto niektóre anestetyki wziewne (szczególnie chlorowcopochodne fluorkarbyny) wraz z podtlenkiem azotu przyczyniają się do nasilenia efektu cieplarnianego. Zatem zmniejszenie emisji tych gazów do atmosfery, związane z niskimi przepływami, jest działaniem ochronnym i proekologicznym. Inną zaletą niskich przepływów jest zachowanie właściwszej wilgotności i temperatury dróg oddechowych. Wy-

kazano, że takie znieczulenie zwiększa wilgotność gazów anestetycznych oraz redukuje utratę ciepła w porównaniu ze znieczuleniem z wysokimi przepływami. W obrębie dróg oddechowych takie działanie zapewnia lepsze funkcjonowanie nabłonka rzęskowego, zachowując jego nienaruszoną strukturę. Zachowanie właściwej temperatury dróg oddechowych – dzięki niskim przepływom – zmniejsza wydatek energetyczny potrzebny do ogrzania wdychanych gazów, co ma wpływ na utrzymanie ogólnej temperatury pacjenta. Wiadomo, że nawet niewielka hipotermia okołoperacyjna może niekorzystnie wpływać na metabolizm innych leków anestetycznych, ale także na stan ogólny pacjenta, przyczyniając się do powstawania zaburzeń rytmu serca, koagulopatii, zakażeń, przedłużenia hospitalizacji itp.

Jednak – oprócz określonych zalet – znieczulenie z niskimi przepływami posiada też pewne wady, które anestezjolog może zminimalizować, pod warunkiem dogłębnej znajomości tychże wad czy niedogodności. Przy niewłaściwym stosowaniu niskich przepływów do głównych wad zalicza się: hipoksję, hiperkapnię, nieadekwatne dawkowanie anestetyków wziewnych, kumulację toksycznych gazów i ich metabolitów. Wdychanie niskich stężeń tlenu przy oddechu zwrotnym niesie ryzyko niedotlenienia. Zapobieganie hipoksji wymaga stopniowego zwiększania stężenia tlenu w strumieniu świeżych gazów, równoległe do zmniejszania przepływu. Jednak obecnie nie jest to poważne zagrożenie, bowiem pojawiły się paramagnetyczne czujniki tlenu, nowoczesne pulsoksymetry i analizatory gazów oddechowych, co praktycznie wyeliminowało ryzyko pojawienia się hipoksji śródoperacyjnej.

Przy zastosowaniu parowników starszej generacji istnieje ryzyko przedawkowania anestetyków wziewnych wewnątrz układu z powodu niedostatecznej kompensacji przepływu. Nadto przy zbyt wczesnej redukcji przepływu świeżych gazów z dużym strumieniem tlenu może dojść do niedostatecznej podaży podtlenu azotu. Przedawkowania środków można uniknąć dzięki zastosowaniu doskonałych parowników, wyposażonych w kompensatory przepływu, zbyt niskiemu dawkowaniu zapobiega się zaś przez użycie monitorów gazów anestetycznych oraz dokładnej wiedzy o technice niskich przepływów. Dodatkowym czynnikiem ryzyka jest kumulacja gazów śladowych, jednak to ryzyko ma ograniczone i w ostateczności minimalne znaczenie kliniczne. Dotyczy to takich gazów jak metan, wodór i azot. Wielkość ich tworzenia zależy przede wszystkim od wielkości przepływu i rodzaju pochłaniacza. Generalnie związki chemiczne, powstające w układach anestetycznych w wyniku reakcji środków halogenowych z substancjami pochłaniającymi dwutlenek węgla można pogrupować w następujący sposób:

1. Substancje tworzące się w organizmie, takie jak aceton, tlenek węgla, metan, wodór,
2. Substancje pochłaniane przez organizm, takie jak etanol, tlenek węgla, azot,
3. Substancje tworzące się w układzie anestetycznym, takie jak tlenek węgla, metabolity anestetyków halogenowych (komponenty A, B, C itp.)

4. Substancje zanieczyszczające gazy medyczne, także powstające w czasie oddechu zwrotnego, takie jak azot, argon.

Kumulacji tychże gazów i substancji zapobiega się przez okresowe przepłukiwanie układu wysokim przepływem. Okresowe przepłukiwanie układu nie eliminuje gazów o wysokiej rozpuszczalności, takich jak aceton i tlenek węgla oraz etanol. Dlatego u chorych po dłuższym okresie głodzenia, z niewyrównaną cukrzycą, nadużywających alkoholu, zaburzeniami regionalnego ukrwienia – w celu odpowiedniej eliminacji acetonu i etanolu zaleca się stosowanie przepływów nie mniejszych niż 1000 ml/min, a więc technikę low flow, a nie minimal flow.

Należy jednak stwierdzić, że wprowadzenie nowoczesnej aparatury monitorującej w nowoczesnych aparatach do znieczulenia oraz doskonalszych środków wziewnych (np. sewofluran) wyeliminowało wiele historycznych przesłanek, które hamowały rozwój technik z niskimi przepływami. W skład podstawowego zestawu przyrządowego monitorowania znieczulenia z niskimi przepływami wchodzi:

- elektrokardiografia z analizą odcinka ST-T w odprowadzeniu przedsercowym,
- wysycenie hemoglobiny tlenem (saturacja),
- ciśnienie tętnicze krwi metodą nieinwazyjną,
- analiza gazów oddechowych z określeniem stężenia wdechowego i wydechowego tlenu, podtlenku azotu, dwutlenku węgla (kapnometria), anestetyków wziewnych,
- przewodnictwo nerwowo-mięśniowe (TOF-guard),
- mechanika oddechu (objętość oddechu, częstość oddechu, wentylacja minutowa, szczytowe ciśnienie wydechowe, ciśnienie plateau).

Do podstawowego monitorowania anestezji zalicza się (co jest truizmem) permanentny lekarsko-pielęgniarski nadzór i nieprzerwaną obecność personelu anestezjologicznego przy operowanym chorym.

Wprowadzenie do leczenia nowszych środków znieczulających, jakimi są anestetyki halogenowe (szczególnie sewofluran i desfluran), w połączeniu z rosnącym zwracaniem uwagi na koszty i ochronę środowiska, od nowa przyczyniło się do wzrostu zainteresowania anestezją niskich przepływów. Zastosowanie tej techniki może kompensować wyższy koszt zakupu wymienionych wyżej środków, gdyż ich zastosowanie (ze względu na doskonałe własności fizyko-chemiczne) jest szczególnie korzystne. Jednocześnie stosowanie techniki LFA przy użyciu tych środków jest wyjątkowo łatwe, a zatem proste do opanowania przez personel.

W podsumowaniu można stwierdzić, że nowoczesne aparaty do znieczulenia, wyposażenie monitorujące, a także nowe i doskonalsze środki anestetyczne o niskiej rozpuszczalności usuwają historyczne bariery ograniczające stosowanie znieczuleń z niskimi przepływami. Pełne możliwości nowoczesnego sprzętu

i leków można docenić stosując techniki niskich przepływów. Aktualnie znieczulenie z zastosowaniem niskich przepływów jest jeszcze nadal zbyt rzadko stosowaną metodą, pomimo jej przewagi nad tradycyjnym sposobem znieczulania z użyciem wysokich przepływów. Poznanie i zrozumienie prawideł znieczulania z niskimi przepływami gazów i zalet jego stosowania w anestezjologii niewątpliwie wpłynie na zwiększenie wykorzystania tej techniki.

PIŚMIENNICTWO

1. Bito H., Ikeda K.: Long-duration, low-flow sevoflurane anesthesia using two carbon dioxide absorbents: Quantification of degradation products in the circuit. *Anesthesiology*, 1994, 81, 340-345. —
2. Bito H., Ikeuchi Y., Ikeda K.: Effects of low-flow sevoflurane anesthesia on renal function: Comparison with high-flow sevoflurane and low-flow isoflurane anesthesia. *Anesthesiology*, 1997, 86, 1231-1237. —
3. Bito H., Ikeda K.: Degradation products of sevoflurane during low-flow anaesthesia. *Br.J.Anaesth.*, 1995, 74, 56-59. —
4. Baum J.A.: Low flow anaesthesia. *Anaesthesia*, 1995, 50 (suppl.) 37-44. —
5. Ebert T.J., et al.: Cardiovascular responses to sevoflurane: a review. *Anesth. Analg.*, 1995, Suppl. 6S, I-522. —
6. Frink E.J. jr et al.: Compound A concentrations during sevoflurane anesthesia in children. *Anesthesiology*, 1996, 84, 566-571. —
7. Kharasch E.D., et al.: Assessment of low-flow sevoflurane and isoflurane effects on renal function using sensitive markers of tubulal toxicity. *Anesthesiology*, 1997, 86, 1238-1253. —
8. Kleeman P.P.: Humidity gases with respect to low flow anaesthesia. *Anaesth. Intensive Care*. 1994, 22/4, 396-408. —
9. Patel S.S., Goa K.L.: Sevoflurane: a review of its pharmacodynamic and pharmacokinetic properties and its clinical use in general anaesthesia. *Drugs*, 1996, 5/4, 658-700. —
10. Patel S.S., Goa K.L.: Desflurane: a review of its pharmacodynamic and pharmacokinetic properties and its efficacy in general anaesthesia. *Drugs*, 1995, 50/4, 742-767.