



L' ANESTESIA INALATORIA A BASSI FLUSSI Una tecnica ad “alta resa” e a “bassa spesa” I “perché” di una scelta

U.O. Anestesia e Rianimazione II ARNAS Civico Palermo
Direttore: *Dr. Tetamo Romano*

AUTORI:

Dr. LAZZARO Gaetana Dir. Medico Anestesia e Rianimazione II

Dr. MATRANGA Salvatrice Dir. Medico Anestesia e Rianimazione II

Dr. VETRANO Gaspare Dir. Medico Anestesia e Rianimazione II Responsabile U.O. Semplice Coordinamento Sale Operatorie

PREMESSA

L'impiego routinario nell'anestesia generale bilanciata che utilizza l'anestetico inalatorio alogenato per il mantenimento dell'ipnosi intraoperatoria, presenta notevoli vantaggi di ordine farmaco economico, ambientale e clinico.

- ▣ **Farmacoeconomia:** la tecnica della reinalazione dei gas anestetici ispirati con erogazione di FGF bassi ($< 2\text{lt/min}$), consente un **notevole risparmio di gas medicali “carrier” (Ossigeno) e di anestetici inalatori alogenati (Sevoflurano, Desflurano)** ad essi miscelati. Il costo orario di un'anestesia generale inalatoria con impiego del Sevoflurano (costo 125 euro/flacone), può variare da **86 euro/h** in circuito aperto ad alti flussi (es: 10 lt/min) a **8.6 euro/h** in circuito semichiuso a bassi flussi (1 lt/min). Ciò comporta una notevole ricaduta economica in tutti gli interventi chirurgici di durata superiore a 1h. La riduzione della spesa è una diretta conseguenza della riduzione del consumo di gas anestetici. L'entità della spesa dipende ovviamente dal prezzo di mercato degli anestetici nei diversi Paesi, dalla durata dell'anestesia e dal valore del FGF impiegato. Fatta una proiezione annuale negli USA ove il costo del sevoflurano è di 47 dollari, lavorando a $\text{FGF} = 0.5\text{ lt/min}$, con una % inspiratoria (F_i) pari a 1 MAC, il risparmio è di 47 dollari nel corso di interventi della durata di 2 h: il risparmio annuale ammonterebbe quindi a circa 65 milioni di dollari e per quanto concerne il gas carrier si risparmierebbero 57 lt/h di O_2 e su stima annuale, 350 milioni di litri di O_2 . (Baum JA *Low Flow Anaesthesia. The theory and practice of low flow and closed system anaesthesia. 2nd ed.* Butterworth Heinemann, Oxford, 2001). Il costo di un canestro di assorbitore della CO_2 è di 32 euro e la durata media a $\text{FGF} = 1\text{ lt/min}$ è di circa 20 – 30 ore.
- ▣ **Ecosistema ambientale:** la reinalazione dei gas anestetici grazie all'impiego di un circuito semichiuso dotato di dispositivo assorbitore di CO_2 (canestro di calce sodata), **riduce notevolmente il tasso di inquinamento ambientale** causato dall'aerodispersione degli anestetici inalatori nel comparto operatorio e quindi all'esposizione degli Operatori, in particolare quelli presenti nella sala chirurgica. Ciò può configurarsi come un'esposizione cronica continuata per la durata dell'attività professionale. Numerosi studi hanno evidenziato la potenziale tossicità di queste sostanze sia a carico degli organi deputati alla loro biotrasformazione ed eliminazione (fegato e rene), sia a carico di altre strutture (sistema nervoso periferico e midollo osseo). In relazione a questo rischio, per tutelare la salute degli operatori, sono stati definiti i limiti di esposizione e sono state emanate norme e linee guida che raccomandano l'impiego del circuito a bassi flussi qualora vengano utilizzati gli anestetici inalatori. Gli Anestesisti devono confrontarsi con una legislazione sempre più restrittiva che stabilisce i livelli massimi tollerabili di inquinamento nell'ambiente di lavoro. Posto che sia stata effettuata la più scrupolosa manutenzione degli apparecchi di anestesia e che siano state eliminate tutte le perdite del circuito, le bassissime concentrazioni ambientali di anestetico stabilite dal *National Institute of Occupational*

Safety and Health degli Stati Uniti (es: per sevoflurane < 0.05 ppm), possono essere ottenute soltanto con l'impiego delle tecniche a bassi flussi. Poiché la maggior parte delle sale operatorie moderne è fornita di sistemi di evacuazione molto efficienti, le basse concentrazioni ambientali di anestetico indicate sopra si possono mantenere anche quando si usano tecniche di anestesia con flussi elevati. Queste tecniche non riducono tuttavia l'inquinamento dell' atmosfera, in cui vengono immessi gli scarichi provenienti dagli ambienti di lavoro. Sia il protossido d'azoto che gli anestetici alogenati come l'isoflurano contribuiscono alla distruzione dell' ozono e aumentano l' "effetto – serra". Si ritiene che soltanto lo 0,1 – 1.0 % degli atomi di carbonio fluoro - sostituiti degli anestetici volatili sia responsabile dell'effetto distruttivo di queste sostanze. Tuttavia in una società attenta ai problemi dell'ecologia esiste un obbligo morale, almeno per gli Anestesisti, di ridurre al minimo le emissioni inquinanti riducendo l'erogazione di questi gas e ricorrendo a tutti gli accorgimenti tecnici di cui oggi si dispone. Desflurano e Sevoflurano che sono molecole alogenate con il fluoro, non hanno effetto negativo sullo strato di ozono ma in compenso partecipano ad aumentare considerevolmente l' effetto – serra

- ▣ **Paziente:** La reinalazione di gas anestetici riscaldati e umidificati contribuisce notevolmente al mantenimento dell'omeostasi termica intraoperatoria con notevoli ricadute in termini di **riduzione del rischio clinico di ipotermia accidentale e brivido postoperatorio**. Per riscaldare ed umidificare le miscele gassose erogate durante la ventilazione meccanica viene perso il 6,6 - 8,1% (0,06 °C/h = 60 Kcal/°C/h) della produzione totale di calore dell'organismo. La ventilazione con circuito rotatorio e canestro di calce sodata minimizza il fenomeno "ipotermia" consentendo la reinalazione di gas già riscaldati ed umidificati. Il sistema risulta più efficiente se si utilizzano flussi FGF < 3 lt/min e se si adottano filtri umidificatori. Le **Linee Guida SIAARTI** raccomandano l'impiego dei circuiti a bassi flussi per il mantenimento della normotermia intraoperatoria.

Razionale

Nell 'ultimo ventennio c'è stato un rinnovato interesse per i sistemi c.d. di "rebreathing" (con reinalazione dei gas anestetici ispirati), il cui impiego appartiene soprattutto alla cultura e alla pratica anestesiologicala inglese e nordamericana, poichè in Italia è mancato in tal senso un adeguato approccio culturale, sostenuto anche dall'industria che ha opposto in passato una certa resistenza alla diffusione di tale tecnica.

Questa riscoperta è stata favorita da più fattori: da un lato i problemi riguardanti i costi degli anestetici alogenati e l'inquinamento correlato al loro impiego con i circuiti aperti del microambiente della sala operatoria, dall'altro il vantaggio che tali sistemi offrono nel mantenimento della temperatura corporea e dell'umidità delle vie aeree.

A ciò deve aggiungersi il miglioramento tecnologico dei moderni ventilatori molto flessibili, capaci di elevate prestazioni e dotati di altrettanto elevati standard di sicurezza.

Si tratta di vere e proprie workstations in cui la funzione squisitamente "ventilatoria" è integrata con un sofisticato sistema di monitoraggio multiparametrico in grado di eseguire l'analisi della miscela gassosa "**respiro – per – respiro**" e ciò consente di condurre l'anestesia inalatoria con i circuiti a bassi flussi entro amplissimi margini di sicurezza.

PRIMUS Dräger in dotazione Sale Operatorie afferenti a U.O. Anestesia e Rianimazione II Civico Palermo



Gli anestetici inalatori a temperatura ambiente sono liquidi. Essi passano allo stato gassoso tramite appositi dispositivi (i “vaporizzatori” inseriti nell’apparecchio di anestesia ma, per sicurezza sempre al di fuori del circuito dei FGF), che ne consentono il processo di vaporizzazione. La quantità di anestetico volatile utilizzato durante un’anestesia dipende dalla concentrazione di anestetico che viene impostata dall’Anestesista sul vaporizzatore e dal FGF anch’esso preimpostato dall’ Anestesista (costituito da una miscela di aria/ossigeno o talvolta di aria/ossigeno/protossido d’azoto) che attraversa la camera di vaporizzazione e che per la sua peculiare funzione di trasporto del gas anestetico, viene anche chiamato “**carrier – gas**” o “gas – portante”. **Il costo complessivo** dell’anestesia inalatoria include dunque : **costo dell’anestetico inalatorio + costo del “carrier – gas”**. Il costo dell’anestetico volatile è dato dalla seguente formula:

Concentrazione (%) x FGF (Lt/min) x durata anestesia (min.) x peso molecolare (gr) x costo (euro)

2.412 x densità (gr.)

Il costo dell’anestetico varia in modo lineare con il FGF utilizzato e dunque tanto più questi vengono ridotti, tanto più si riduce il costo orario dell’anestetico inalatorio.

Oggi l’Anestesista può scegliere se condurre un’anestesia generale ignorandone i costi (= utilizzando alti FGF) ovvero tenendoli in considerazione (= impiegando bassi FGF). Dai dati della letteratura internazionale sappiamo che in presenza di ventilatori automatici all’uopo predisposti e dei sistemi di monitoraggio intraoperatorio previsti, il FGF durante la fase di “mantenimento” dell’anestesia generale, può essere con estrema sicurezza ridotto a valori pari o addirittura inferiori a 1 Lt/min. Ovviamente nelle fasi di “induzione” e di “risveglio” vengono impiegati alti FGF per facilitare rispettivamente l’onset dell’anestesia (con rapido uptake cerebrale dell’alogenato) e il suo offset (rapido decremento della concentrazione di alogenato nel cervello e sua eliminazione polmonare)

Vaporizzatori per anestetici inalatori in dotazione a Primus Dräger workstation



Considerazioni farmacocinetiche per il corretto impiego dei circuiti a bassi flussi

Classificazione dei circuiti di anestesia

Esistono **tre** principali criteri per la classificazione dei circuiti in base al FGF erogato.

A) Con riferimento al flusso di gas freschi (FGF) erogato **in relazione alla ventilazione/minuto (VM) del paziente**, si distinguono:

1. **Sistemi semiaperti** se il FGF è \geq del VM del paziente (non vi è reinalazione)
2. **Sistemi semichiusi** se il FGF è $<$ del VM del paziente (c'è reinalazione parziale)
3. **Sistemi chiusi** se il FGF è talmente basso da essere pari al Tidal Volume (8 – 10ml/Kg) del paziente (con il 100% di reinalazione).

Questa classificazione però, non ci dice nulla né su “quanto” deve essere il FGF dentro un circuito di anestesia, né, soprattutto, “quanto” un FGF può essere ridotto. Mancano infatti 3 parametri fondamentali:

- ▣ Il Consumo di gas – portante (o gas – carrier), ossia il Consumo di O₂ al minuto.
- ▣ Il peso corporeo (in Kg) del paziente che respira nel circuito e che ad ogni minuto consuma una quantità “costante” di gas – portante (O₂) a prescindere della quantità di anestetico alogenato che noi addizioniamo o meno alla miscela gassosa.
- ▣ L' impedenza offerta alla circolazione del FGF all'interno del circuito, diversa allorchè si tratti di un circuito per adulti o di un circuito pediatrico.

Dunque una vera stima dell'entità di FGF che deve essere presente dentro un circuito di anestesia a seconda che si voglia impiegare un mantenimento con sistema di erogazione del FGF di tipo aperto, semiaperto, semichiuso o chiuso, può essere fatta soltanto prendendo in considerazione questi tre parametri, col sistema di classificazione che segue:

B) Con riferimento al FGF definito come “**multiplo del Consumo di O₂ (VO₂) del paziente**” calcolato in base all'**Equazione di Brody: VO₂ = 10 x BW (Kg) x 0,75 ml/min/m²**, si distinguono:

1. **Sistemi chiusi con reinalazione totale** del gas inalato ossia senza nessuna eliminazione dei gas espirati dalla valvola espiratoria e ricircolo di tutto il VM, previo passaggio dal canestro di calce sodata per l'assorbimento della CO₂, se FGF = 10 – 20 ml x Kg x 0,75 ml/min.
2. **Sistemi a bassi flussi con reinalazione parziale, in percentuali variabili dal 20 al 50% in base all'entità di riduzione del FGF**, dei gas inalati, corrispondente al sistema semichiuso tradizionale, se FGF = 25 – 50 ml x Kg x 0,75 ml/min . (l'uso “intelligente” dei Bassi Flussi prevede l'impiego di FGF che consentano almeno il 50% di reinalazione, il che comporta un FGF < 2 lt/min (ottenibile preimpostando un FGF tra 20 e 25 ml/Kg/ x 0.75/min)
3. **Sistemi a flussi intermedi** se il FGF = 50 – 150ml x Kg x 0.75 ml/min.
4. **Sistemi ad alti flussi** se il FGF > = 150ml x Kg x 0.75 ml/min (**senza reinalazione** e dunque corrispondenti ai tradizionali **sistemi aperti**).

Questa classificazione è incentrata sul concetto di **VO₂** come presupposto essenziale per definire “chiuso, semichiuso, aperto” un circuito di anestesia e IDENTIFICA il FGF col Consumo di O₂ (VO₂) partendo dal presupposto che un FGF dentro un circuito di anestesia per ovvie ragioni di sicurezza, deve sempre essere superiore al consumo metabolico basale di O₂ del paziente che vi è collegato.

Essa ci insegna che in qualsivoglia fascia di FGF si vuole lavorare (alta, intermedia, bassa o minima), bisogna predeterminarla (in ml : 20 – 25 – 50 – 150), moltiplicarla per il peso in Kg del paziente, e infine moltiplicare il valore ottenuto per l'impedenza offerta dal circuito (per gli adulti ossia per i soggetti di peso compreso fra 30 – 120Kg : **0.75**). Ciò è importante poiché se si lavora in una certa fascia di flusso (es. 25 ml/Kg/min), un paziente in base al suo peso può trovarsi in un sistema semiaperto, semichiuso a bassi flussi, o addirittura in un sistema chiuso. Dunque il calcolo del FGF non deve mai essere omesso: dire di essere in sistema semichiuso a bassi flussi con 1 lt/min di FGF, può essere vero per un pz del peso di 50 Kg, ma per un paziente di Kg 90 potremmo essere già in circuito chiuso a flussi minimi.

NB : la formula di Brody esprime il multiplo del VO₂ basale calcolato secondo la formula VO₂ = 10 x BW (Kg)■

ossia: VO₂ = 10 x BW x 0.75

Diversamente dalla Formula di Fick (VO₂ = Q x CaO₂ – CvO₂ = 250 ml/min/m■) che non prende in considerazione il BW, la Formula di Brody invece lo considera poiché valuta il Consumo di O₂ basale in base alla richiesta metabolica del paziente e lo esprime come “multiplo”.

Il valore “basale” del VO₂ è pari a **3,5 ml/Kg/min**, quindi in un paziente di Kg 70 = 242 ml/min (3.5 x 70 /min). Brody esprime il multiplo di 3,5 ossia **10 ml/Kg/min**. per definire il FGF “basale” da fornire a un paziente in anestesia generale senza che la richiesta metabolica di O₂ venga messa a rischio (in un pz di Kg 70 = 525 ml/min).

Lavorare con i “multipli” successivi di questo valore “basale” **10** (es. 20 – 50 – 150 ml / Kg / x 0.75 ml/min), significa fornire una disponibilità di FGF di O₂ sempre più elevata e sapere con precisione con che tipo di un circuito stiamo lavorando: a flussi minimi, bassi , intermedi o alti. Per esempio all' onset dell'anestesia è utile lavorare con alti FGF per soddisfare le richieste di flusso di O₂ anche massimale; nelle fasi di mantenimento è opportuno lavorare con bassi FGF poiché il Consumo di O₂ è costante.

Esempio: per un pz di Kg 70:

- **Stabilire il VM: es. 7.5 lt (TV 600 x 12 atti)**
- **Stabilire il FGF da erogare in modo da ottenere un sistema :**

1. **Senza reinalazione** (= a FGF alti o intermedi > 4 lt/min in sistema aperto o semiaperto: ad ogni minuto tutto il VM verrà sostituito con FGF)
2. **Con reinalazione parziale < 50%** (= a FGF bassi ma > 2 lt/min in sistema semichiuso: ad ogni min. 3.5 lt del VM prestabilito ricircoleranno e 3 lt saranno sostituiti con FGF)
3. **Con reinalazione = 50%** (a FGF bassi < 2 lt/min in sistema semichiuso: 6.5 lt ricircoleranno e 1 lt sarà aggiunto come FGF)
4. **Con reinalazione = 100 %** (a FGF minimi < 1 lt/min in sistema chiuso: 7 lt ricircoleranno e 500 ml sarà il FGF aggiunto ogni minuto alla miscela gassosa.

Come fare i calcoli:

Inserire:

- ▣ **la fascia di flusso scelta (tra 10-20 ml/min; tra 25-50ml/min; tra 50-150ml/min; >150ml/min)**
- ▣ **il peso del paziente (Kg 70)**
- ▣ **moltiplicare il risultato ottenuto per 0.75**

Risolvendo l'equazione otteniamo (valori esemplificativi per un pz di Kg 70) :

10 x 70 x 0.75 = 525 ml /min il pz è in circuito chiuso a flussi “ minimi”

25 x 70 x 0.75 = 1.3 lt/min il pz è in circuito semichiuso a bassi flussi

50 x 70 x 0.75 = 2.6 lt/min il pz è in circuito a flussi “intermedi”, semichiuso, ma non a bassi flussi

70 x 70 x 0.75 = 3.7 lt/min il pz è in circuito semiaperto

150 x 70 x 0.75 = 7.8 lt/min il pz è in circuito aperto ad alti flussi.

C) La pratica quotidiana segue tuttavia una classificazione molto semplificata che, in base **all'entità del flusso dei gas freschi (FGF)** erogato ed espresso in **litri/min.**, distingue tre possibili **tecniche di anestesia inalatoria**:

- ▣ **Anestesia a bassi flussi** : se erogiamo un FGF = **1 - 2 litri /min**
- ▣ **Anestesia a flussi minimi** : se erogiamo un FGF = **0,5 l/min**
- ▣ **Anestesia in sistema chiuso a “Flussi metabolici”**: se erogiamo un FGF pari **al consumo metabolico basale di O₂ (VO₂)** del paziente, ossia alla **quantità di O₂ assorbita per ogni minuto dal paziente** e nel corso della quale si ha una reinalazione totale dei gas ispirati poiché non c'è alcuna eliminazione dei gas espirati. Di fatto è un sistema che non viene routinariamente utilizzato nella pratica clinica perché si lavorerebbe ai limiti della sicurezza del paziente senza trarre vantaggi maggiori rispetto all'impiego dei sistemi a bassi flussi. E' anche nota come **“Anestesia Quantitativa”**. E' evidente che, fatti salvi i criteri di sicurezza e di indicazione, minore è il flusso dei gas freschi, maggiore sarà la portata dei vantaggi ottenuti. Pertanto, la situazione più vantaggiosa in assoluto è rappresentata dall'anestesia quantitativa, quella situazione cioè, in cui al paziente viene somministrato esclusivamente la quantità di ossigeno (addizionata da anestetico) che consuma atto per atto (la miscela respiratoria risponde atto per atto a quanto richiesto dal paziente sia in termini di volume sia in termini di concentrazione dei componenti della miscela). Questa soluzione necessita di un sistema servo controllato da sistemi elettronici di feed-back che analizzino costantemente la miscela respiratoria e la integrino atto per atto con quanto consumato dal paziente. Attualmente, l'unico strumento disponibile sul mercato in grado di soddisfare queste richieste, è il modello ZEUS della Draeger

Dalla scelta del valore del FGF dipende dunque l'uso che si fa di un circuito con re – inalazione: semi – aperto, semi – chiuso, chiuso (a flussi “minimi” o addirittura “metabolici”).

Con un circuito a re – inalazione, il FGF può essere fissato dall' Anestesista a qualsiasi valore inferiore al volume/min del paziente ma NON può MAI essere minore del volume di gas (VO₂) “consumato” dal paziente, espresso dalla formula : $VO_2 = 3.5 \text{ ml} \times BW \text{ (Kg) / min}$, modificata da Brody che ne utilizza il “multiplo” $10 \times BW \text{ (Kg) / min} \times 0.75$ e che anche ai minimi flussi erogati consente di lavorare con sicurezza poiché ci assestiamo su valori già “multipli” del consumo basale di O₂ che in anestesia generale è “costante”. Il paziente infatti non è sotto sforzo fisico e pertanto il suo metabolismo “brucia”, ossia “consuma”, una quantità di O₂ (contenuta nella miscela gassosa del circuito nel quale respira), praticamente pari ai livelli “basali” .

Il consumo di O₂ (VO₂) varia molto con l'attività fisica portandosi dai valori di 3.5 ml/Kg/min a valori che possono superare i 50 ml/Kg/min sotto sforzo massimale. Per tale motivo è un parametro utilizzato nel cardiofitness e nell'attività atletica (Il massimo VO₂ ottenuto è stato quello di Michel Indurain durante il Tour de France = 88ml/Kg/min.).

La tecnica dell'anestesia a bassi flussi con reinalazione parziale o totale dei gas inspirati prevede l'impiego di un circuito particolare dotato di un dispositivo per l'assorbimento della CO₂, noto come “ **circuito rotatorio**” poiché implica un percorso “circolare” del gas al suo interno.

Riproponiamo un un esempio:

Lavorare con un circuito semichiuso a FGF = 1lt/min significa che se per un paziente abbiamo prestabilito ad un VM = 8. lt (TV 650 x 12 atti), 7lt ricicoleranno e 1lt di FGF verrà aggiunto ad ogni minuto. I 7 litri riciccolanti dovranno necessariamente essere depurati dalla CO₂ prima di essere reinalati (passando da un dispositivo assorbitore della CO₂) ma, grazie al “ricircolo”, si arricchiranno sempre più di anestetico, si riscalderanno e si umidificheranno (il litro di FGF che viene aggiunto a ogni minuto è invece secco e freddo). Qualora malgrado il VM prestabilito fosse come nell'esempio precedente pari a 8 lt e i FGF fossero erogati in quantità superiore (es. 10 – 12 – 15 - 18 lt/min), questa eccedenza verrebbe espulsa da una valvola speciale detta APL (Adjustable Pressure Level) o valvola di sovrappressione o valvola di spillaggio (“spill valve”) che evita ad una così notevole quantità di gas, di entrare nel pallone respiratorio ove entra solo il volume corrente (TV = Tidal Volume) di gas che abbiamo prestabilito per ventilare atto x atto, ciclicamente, i polmoni di “quel” paziente.

Bisogna infatti ricordare che il flusso dei gas carrier nel circuito del ventilatore automatico è continuo ma la ventilazione polmonare è un fenomeno ciclico e nel polmone entra solo il volume predeterminato.

Qualora il FGF fosse pari al VM prestabilito (8 lt), non vi saranno gas in eccesso che passivamente fuoriescono dalla valvola APL, tuttavia ad ogni minuto questi 8 lt verranno espirati “attivamente” dalla valvola espiratoria e verranno sostituiti da un'uguale quantità di gas fresco. Per questi motivi lavorare in circuiti aperti o semiaperti ad alti FGF significa non avere reinalazione e di conseguenza non avere accumulo di CO₂.

Il **circuito rotatorio** è costituito da:

- pallone respiratorio (riserva dei gas costituenti il TV del paziente, che verranno immessi nella linea inspiratoria)
- linea inspiratoria ed espiratoria
- due valvole unidirezionali: una sulla linea inspiratoria → TV ■ paziente, una sulla linea espiratoria → all'ambiente esterno (ove si disperdono i gas espirati che non vengono reimmessi nel circuito ad ogni ciclo respiratorio poiché se si decide di lavorare con un sistema “aperto” sono interamente sostituiti da gas freschi). Le valvole unidirezionali sono di tipo ATTIVO, di isolamento, poiché si aprono o si chiudono per dirigere correttamente il volume corrente (ad es: quella espiratoria si chiude durante l'insufflazione per dirigere il volume corrente a valle verso i polmoni del paziente e non a monte verso il pallone respiratorio)
- canestro assorbitore di CO₂ (per depurare dalla CO₂ i gas che riciccolando vengono reinalati dal paziente)
- fonte d'ingresso dei gas freschi (miscela di Aria e O₂ addizionata da una % prestabilita di anestetico alogenato)
- valvola di sovrappressione o valvola “overflow” o APL, posta tra il canestro assorbitore e la valvola espiratoria, di tipo PASSIVO adibita allo scarico del flusso di gas espirati eccedenti che vengono espulsi nell'ambiente esterno anziché entrare nel pallone respiratorio e sovradistenderlo.

La vaporizzazione degli anestetici inalatori avviene per immissione diretta del liquido nel segmento inspiratorio tramite un apposito iniettore

Per evitare la re inalazione della CO₂ devono essere osservate tre regole:

- 1) le valvole unidirezionali devono essere collocate sia sulla linea inspiratoria che su quella espiratoria tra il paziente e il pallone di riserva.
- 2) Il FGF non può entrare tra la valvola espiratoria e il paziente
- 3) La valvola di scarico non può essere inserita tra paziente e valvola inspiratoria; la migliore posizione è tra l'assorbitore e la valvola espiratoria.

L'efficienza del sistema rotatorio deriva dalle posizioni del ventilatore, dell'assorbitore di CO₂ e dell' ingresso del FGF. La re inalazione dei gas inspirati è inversamente proporzionale al FGF erogato poiché essa aumenta con la riduzione del FGF fino al raggiungimento di un flusso / minuto uguale al TV del paziente, sebbene una così drastica riduzione del FGF non venga quasi mai utilizzata nella pratica clinica per i motivi di sicurezza dianzi descritti, preferendo mantenere flussi non inferiori a 1 lt/min. che offrono già vantaggi ottimali in termini di risparmio di gas anestetico, riduzione dell'inquinamento ambientale, riscaldamento e umidificazione dei gas reinalati dal paziente.

Utilizzando un **elevato FGF**, ossia lavorando con un circuito aperto, la composizione dei gas anestetici immessi nel circuito risulta in breve tempo uguale o molto vicina a quella erogata.

Utilizzando un **basso FGF**, ossia lavorando con un circuito semichiuso, la composizione dei gas anestetici all'interno del circuito tenderà a equilibrarsi con quella erogata tanto più lentamente quanto più è ridotto il flusso dei gas perché il raggiungimento dell'equilibrio tra Frazione Alveolare (FA) / sangue e sangue / tessuti (soprattutto il tessuto cerebrale), sarà molto più lento.

Il sistema presenta una inerzia di cui bisogna tenere conto all'induzione e al risveglio o tutte le volte che si vuole variare rapidamente la concentrazione degli anestetici inalatori nel circuito (come nelle fasi di induzione, risveglio, alleggerimento del piano di anestesia).

La **cinetica di equilibrio** risulta essere di tipo esponenziale e a tal riguardo si fa riferimento a un **parametro di flusso** noto come "**costante di tempo (Tc)**" che esprime la velocità con cui il sistema raggiunge l'equilibrio ed è definito dalla formula :

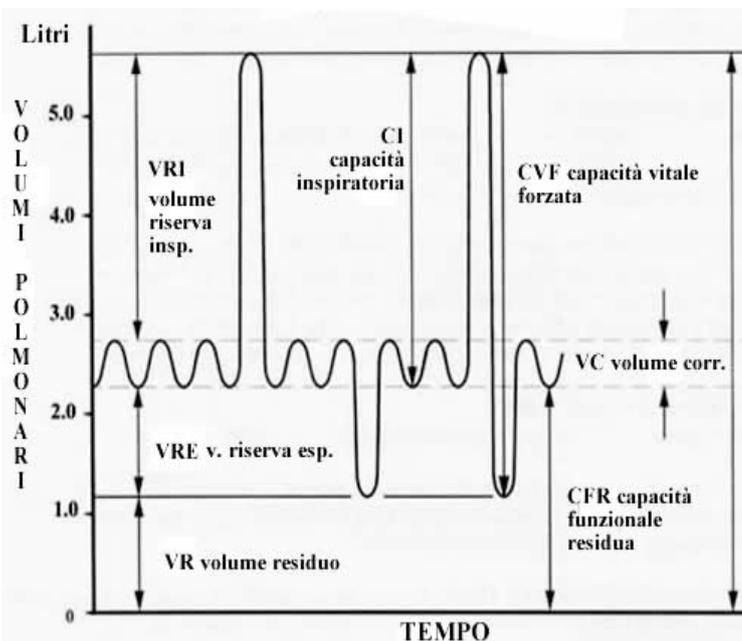
$$Tc = \frac{\text{Volume del circuito} + CFR}{\text{FGF} - \text{Uptake}}$$

FGF - Uptake

Più basso è il FGF più aumenta la Costante di Tempo ossia il tempo necessario a raggiungere l'equilibrio tra la Fi di alogenato e la FA.

Uptake = assorbimento dell'anestetico al minuto.

CFR = volume assunto dall'apparato respiratorio in assenza di ogni azione della muscolatura volontaria, incomprimibile, costituito dalla somma del VRE (volume riserva espiratoria) + VR (volume residuo). Costituisce il comparto dell' **aria alveolare**, ossia "l'atmosfera stabile" dell'apparato respiratorio in continuo scambio gassoso col sangue.



Riprendendo i concetti inerenti la cinetica degli anestetici inalatori, ricordiamo che la genesi della Frazione Alveolare (FA) di un gas anestetico dipende da diversi fattori: ventilazione/minuto, solubilità, perfusione tessutale.

Nelle fasi iniziali di erogazione del gas il rapporto F_i/FA aumenterà rapidamente perché ancora nell'alveolo non c'è presenza di gas anestetico: man mano che l'anestetico viene trasferito all'alveolo comincia ad esercitare al suo interno una Pressione parziale (P_p) che cresce tanto più lentamente quanto più alta è la captazione dell'anestetico da parte del sangue che bagna l'alveolo portandosi via l'anestetico. Ad un certo punto quindi, la FA dipenderà sì dalla ventilazione/minuto, ma anche dall'assorbimento (uptake) da parte del sangue che ostacola il completo riempimento dell'alveolo, portandosi via una quota di anestetico ad ogni sistole. Raggiunto l'equilibrio tra F_i/FA , tanto più rapidamente quanto minore è la solubilità dell'anestetico (come desflurano e sevoflurano), questo rapporto non resterà costante 1/1 ma tenderà a crescere anche se molto lentamente dato che, ferma restando la quota di alogenato che viene erogata dall'evaporatore (F_d), i tessuti ad alta vascolarizzazione come il cervello cominciano ad assorbire l'anestetico sottraendolo all'alveolo. A un certo punto, quando si sono saturati sia i tessuti ad alta perfusione (cervello), sia quelli a perfusione più bassa (muscolo, osso, adipe), il sangue comincerà ad estrarre meno anestetico dall'alveolo e a questo punto ha inizio la vera differenza fra sistemi ad alto e a basso flusso di gas freschi: infatti, se siamo in regime di basso flusso la reinalazione aggiungerà all'alveolo un "surplus" di gas che il sistema ad alto flusso non può aggiungere perché non prevede la reinalazione. Solo con i bassi flussi ci verrà consentito di ridurre la % di anestetico erogata senza che la concentrazione alveolare ne risenta: i tessuti già saturi non richiedono più nuove quote di gas anestetico, poiché esso "ritorna" continuamente all'alveolo con la reinalazione.

Nel sistema a bassi flussi si tende ad indurre l'anestesia con flussi elevati di gas freschi per portare rapidamente la FA in equilibrio con la F_i in modo che l'alveolo si carichi velocemente di anestetico e che il sangue che lo bagna cominci a captarlo per portarlo verso l'encefalo in modo da ottenere una MAC sufficiente a determinare l'abolizione dello stato di coscienza. In questa fase ad alti flussi la % di alogenato impostata sul ventilatore (F_d) e immessa nel circuito (ove si diluisce nel FGF carrier), corrisponde a quella inspirata dal paziente (F_i) che a sua volta corrisponde alla frazione alveolare (FA) e pertanto la pilotiamo bene, incrementandola o riducendola velocemente, (pensiamo a quando manteniamo anestesia brevi in maschera con il circuito aperto ad alti flussi tipo "và e vieni": è semplice sapere quanto agente inalatorio stiamo somministrando al paziente! Approfondiamo e alleggeriamo il piano di anestesia semplicemente agendo sulla ghiera del vaporizzatore!).

Passati al mantenimento a basso flusso teniamo presente che la F_i di alogenato non corrisponderà più alla FA perché interviene la reinalazione e dunque il sangue che torna all'alveolo è carico di gas. La F_i dipenderà poco dalla quota di anestetico proveniente dal vaporizzatore col FGF e molto dalla F_e che ricarica l'alveolo con l'anestetico ricircolante. Tra la F_i e la F_e c'è la genesi della MAC poiché c'è l'assorbimento da parte dei tessuti, principalmente l'encefalo. Ciò che troviamo nella F_e è la quota "effettivamente" assorbita dall'encefalo e per questo la MAC si legge alla fine dell'espiazione. Sostanzialmente è la F_e corretta per l'età del paziente (il software del ventilatore fa sempre il calcolo quindi ricordiamo di inserirla per non ottenere livelli MAC errati a cui condurre l'anestesia. Inizialmente, dopo l'induzione non conviene passare a bassi flussi se non dopo un tempo di almeno 10 minuti perché i tessuti ancora privi di anestetico, specie l'encefalo, ne sono molto avidi e ne sottraggono molto dal sangue che a sua volta lo sottrae dall'alveolo. Con un FGF troppo basso dovremmo aumentare troppo la F_d al vaporizzatore per raggiungere la MAC desiderata. Invece, dopo un tempo di circa 10 minuti, aiutati dalla bassa solubilità degli alogenati che utilizziamo e che

fanno assorbire velocemente l'anestetico al cervello, si creerà un equilibrio tra FA e tessuti che consente di ridurre i FGF senza che la MAC si riduca.

Dopo circa 20 min. dal passaggio a bassi flussi tutti tessuti, anche quelli meno vascolarizzati dell'encefalo, cominceranno a saturarsi e si ridurrà la quota di captazione di alogenato dall'alveolo da parte del sangue. E' in questo momento in cui si avrà un'ulteriore quota di **risparmio di anestetico**: riducendo le concentrazioni erogate (Fd) al vaporizzatore (ossia il "valore nominale" della % anestetica), la MAC non si ridurrà. Infatti, sebbene l'alveolo riceve concentrazioni inferiori di anestetico rispetto a quelle utilizzate all'inizio dell'anestesia per raggiungere la MAC desiderata, ora ci si avvale sia della quota reinalata grazie ai bassi flussi, sia del minore uptake da parte del sangue visto che il tessuto cerebrale e gli altri tessuti sono ormai saturi, quindi la miscela di gas freschi non si depaupererà di anestetico come all'inizio quando i tessuti ne erano avidi e ne estraevano molto dall'alveolo. Tutto questo non può avvenire mantenendo alti i flussi di gas freschi perché la reinalazione non esiste e allora si sciuperà molto più anestetico per mantenere un dato livello di MAC a cui condurre l'anestesia.

Per le suddette considerazioni sulla cinetica dei gas, al momento di risvegliare il paziente è necessario ritornare a un sistema a flussi elevati altrimenti l'alveolo non si "lava" dell'anestetico in tempi brevi perché continua a caricarsene a causa della re inalazione.

In Anestesia Bilanciata è opportuno mantenere livelli costanti di MAC per evitare l'awareness (MAC = 0.6 – 0.8) pilotando le fasi dell'anestesia chirurgica col drip di oppiaceo (remifentanil) e l'entità della miorioluzione. Questi valori sono ottenibili con Fe di sevoflurano di circa 1.5 – 1.7 % e di desflurano 4.0 – 4.5% che implicano Fd al vaporizzatore rispettivamente di almeno 2 – 2.5% di sevo e 5.5 – 5.0% di desfurano.

Influenza delle caratteristiche farmacocinetiche degli alogenati

Teoricamente aumentare la ventilazione/minuto porta velocemente il rapporto Fi/FA verso l' 1/1 ma bisogna sempre considerare che la solubilità dell'anestetico incide molto nel raggiungimento dell'equilibrio fra due compartimenti: se è bassa (es. sevoflurano λ 0.69 desflurano λ 0.42), l'equilibrio g/s verrà rapidamente raggiunto anche in condizioni di ipoventilazione; se è alta (es. etere λ 15), avverrà il contrario. Più l'agente anestetico è solubile più l'incremento della ventilazione/minuto approfondirà l'anestesia, meno è solubile, meno influenzabile sarà il piano anestetico con l'aumentare della Ventilazione – Minuto

SOLUBILITA' DEGLI ANESTETICI ALOGENATI

Coefficiente di ripartizione (λ)				
	Sangue / gas	cervello/ sangue	grasso/ sangue	muscolo/ sangue
AGENTE				
ALOTANO	2.54	1.9	51	3.4
ENFLURANO	1.81.	1.3	36	1.7
ISOFLURANO	1.46	1.6	45	2.9
SEVOFLURANO	0.69	1.7	49	3.1
DESFLURANO	0.42	1.3	27	2.0

Eger El et al. Anesthesiology 1991; 74: 489-49

Anche le variazioni della **gittata cardiaca (Q)** influenzeranno molto la cinetica degli anestetici altamente solubili rendendo poco pilotabile il livello di anestesia.

Il **gradiente artero – venoso** è la conseguenza diretta dell' avvenuto **assorbimento tessutale (uptake)** dell'anestetico. Come per l'assorbimento da parte del sangue arterioso che ad ogni sistole bagna l'alveolo svuotandolo di una quota di anestetico in base al grado di solubilità che esso ha nel sangue, anche per l'assorbimento tessutale entrano in gioco diversi fattori:

- ▣ Solubilità tessutale o coefficiente di ripartizione sangue / tessuto (λ s/t)
- ▣ Perfusiones tessutale
- ▣ Gradiente artero – venoso tessutale.

Il **coefficiente di ripartizione sangue/tessuto** dipende dalla perfusione del tessuto stesso:

- ▣ Molto vascolarizzato: cervello, cuore, fegato, rene
- ▣ Mediamente vascolarizzato: muscolo, adipe
- ▣ Poco vascolarizzato. osso, tendine.

Il cervello assorbirà prima di altri tessuti l'anestetico perché è un composto lipofilo.

L' **eliminazione** dell'anestetico seguirà il percorso inverso dai tessuti al sangue venoso misto e all'alveolo polmonare, seguendo sempre le leggi dei gas.

$$VA \times Q$$

Clearance = ----- (Torri e Damia)

$$VA + \lambda Q$$

Aumentando la ventilazione alveolare/ min. (VA) ovvero la gittata cardiaca (Q), l'eliminazione dell'anestetico sarà più rapida e così il risveglio. Anestetici a bassa solubilità (λ), consentiranno dunque risvegli più rapidi.

Anestesia a bassi flussi senza protossido d'azoto.

Nell'anestesia bilanciata ove l'ipnosi è mantenuta dall'anestetico inalatorio, l'analgesia è garantita dall' oppiaceo e la miorelaxazione dal bloccante neuromuscolare, non trova più ragionevole impiego il N₂O (protossido d'azoto) come secondo gas nel mantenimento dell'anestesia. Secondo Eger et al e Ropcke e Schwilden, l'equivalente dell'effetto anestetico prodotto dal N₂O può essere ottenuto aumentando del 20 – 25% la MAC dell' anestetico alogenato. In anestesia bilanciata una MAC end – tidal di 0.6 / 0.8% è già sufficiente a proteggere dal rischio di awareness. Nella tecnica a bassi flussi impiegando miscele di gas carrier con O₂/aria, viene inoltre scongiurato il rischio di "miscele ipossiche" dentro il circuito. Pertanto, in assenza di N₂O la concentrazione espiratoria degli alogenati per mantenere la MAC end-tidal allo 0.8%, potrà essere regolata nel modo seguente: 2% per sevoflurano, 5% per desflurano. Quando non si usa il N₂O non è necessaria la denitrogenazione e la durata del processo d'induzione dell'anestesia dipende esclusivamente dal tempo necessario perché l'anestetico raggiunga, nel circuito, la concentrazione desiderata. Questo dipende dalle caratteristiche farmacocinetiche dell'alogenato prescelto e dalle caratteristiche tecniche del vaporizzatore. In generale, l'eliminazione del N₂O accorcia la fase iniziale ad alto flusso. Inoltre, poiché il paziente assorbe soltanto ossigeno e anestetico alogenato, l'assorbimento totale di gas diminuisce e quindi la percentuale di gas in eccesso è più elevata. Questo riduce il rischio di ipoventilazione quando si usano FGF di 1 lt o 0.5 lt / min.

Controindicazioni:

Ogni qualvolta sia lecito attendersi un elevato Consumo di gas (λ VO₂): stato settico, ipertermia, o nelle intossicazioni da fumi o gas (per accumulo di gas tossici).

I Sistemi “ Assorbitori della CO₂ ”

La calce sodata è una miscela di componenti chimici, usata in forma granulare per rimuovere l'anidride carbonica dall'aria inspirata e successivamente reinalata attraverso un circuito respiratorio, in grado di evitare la ritenzione e il conseguente avvelenamento da CO₂.

I componenti principali della **calce sodata** sono:

- [Idrossido di calcio](#), Ca(OH)₂ (circa il 75%),
- [Acqua](#), H₂O (circa il 20%),
- [Idrossido di sodio](#), NaOH (circa il 3%),
- [Idrossido di potassio](#), KOH (circa 1%)

Nei moderni sistemi assorbitori di CO₂, la base forte (idrossido di sodio), è stata eliminata per motivi di sicurezza essendo stati segnalati in letteratura casi in cui si è verificato (per via della sua forte alcalinità) un parziale viraggio dei granuli dal colore viola (ossia già impregnati di CO₂), al colore bianco dopo alcune ore di non utilizzo del canestro. Anche l' idrossido di potassio è stato eliminato in quanto ritenuto responsabile (1 caso su 2 milioni di anestesie), della formazione di "Composto A" per contatto prolungato e alle alte temperature dei granuli con il Sevoflurano. In loro sostituzione vengono impiegati il clorato di calcio (CaCl₂) e il solfato di calcio (CaSO₄) che prolungano la durata del Ca(OH)₂ e aumentano la velocità di assorbimento conservando la durezza dei granuli e ottimizzandone l'idratazione. Il sistema prevede il passaggio dei gas espirati carichi di CO₂, dal canestro contenente granuli di idrossido di calcio Ca(OH)₂ . Appena i gas entrano in contatto con i granuli, la CO₂ viene assorbita e i gas vengono reinalati privi di CO₂. La reazione primaria avviene tra CO₂, idrossido di calcio Ca(OH)₂ e acqua, formando Carbonato di Calcio (CaCO₃) e acqua. Il calore esotermico è un prodotto della reazione chimica di assorbimento della CO₂. Durante il processo di assorbimento il Ca(OH)₂ viene costantemente riumidificato fino alla conversione in CaCO

Reazione chimica finale dell'assorbimento: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Canestro Assorbitore di CO₂ in dotazione a Primus Dräger workstation



Gli assorbitori di CO₂ devono rispettare alcune caratteristiche :

- ▣ I granuli devono avere una superficie irregolare e un'alta porosità, devono essere abbastanza duri per evitare frammentazione e formazione di polvere, le loro dimensioni devono essere da 2 a 5 mm per offrire una minore resistenza al circuito di anestesia.
- ▣ Deve essere presente un indicatore cromatico che vira dal colore BIANCO (fresco) al VIOLA (indice di esaurimento o essiccazione dei granuli)
- ▣ Non devono produrre Monossido di Carbonio (CO) letale se reinalato
- ▣ Non devono produrre formaldeide (HCOH) tossica e cancerogena e che se reinalata anche in quantità infinitesimali produce nausea e vomito (PONV).
- ▣ Non devono produrre “composto A” (prodotto finale del contatto tra sevoflurano e calce sodata alle alte temperature causa di nefrotossicità nei ratti in laboratorio)
- ▣ La durata media di una efficace capacità di assorbimento, varia da 150 a 300 minuti con FGF di 0.5 lt/min. (test di simulazione clinica utilizzando 500 ml/L/ min CO₂ in 500 ml volume respiratorio alla frequenza (RR) di 12 atti/min, usando 500 ml di O₂ come gas fresco)
- ▣ Il consumo dell'assorbitore deve essere SEMPRE determinato mediante la capnometria e il canestro deve essere sostituito quando la FiCO₂ ha superato un volume pari alla 0.5% ovvero 5 mmHg, o comunque quando l'end – tidal CO₂ (a parametri ventilatori correttamente pre - impostati e invariati), superi valori di 40 – 45 mmHg.

Cosa ci insegna l' Anestesia a Bassi Flussi?

...Fondamentalmente ci insegna la farmacocinetica degli anestetici alogenati poichè ci obbliga a studiare le caratteristiche fisico – chimiche e l'assorbimento dell'azoto, e di ogni alogenato nonché la vaporizzazione e l'uso dei vaporizzatori; ci permette di misurare variabili cardio – respiratorie importanti (consumo di O₂, saturimetria, gittata cardiaca) utili al controllo dell'anestesia e markers delle modificazioni fisiologiche che l'anestesia determina nell'omeostasi intraoperatoria.

Questa tecnica migliora la medicina perioperatoria in quanto consente di razionalizzare l'uso degli anestetici inalatori e non necessita di monitoraggi particolari se non quelli già resi obbligatori in tutte le sale operatorie.

L'anestesia a bassi flussi è ecologicamente “pulita” e permette di fare a meno di tutti i costosissimi devices disinfettanti presenti in sala operatoria.

Essa può essere definita come un “laboratorio di farmacocinetica anestesiológica” associato allo studio e al monitoraggio della funzionalità cardiopolmonare; ci insegna cioè che l'esecuzione di un'anestesia generale rappresenta l'incontro fra la conoscenza della farmacocinetica e del sito d'azione degli anestetici e le modificazioni fisiologiche che l'anestesia determina sui vari organi e apparati. L'anestesia a bassi flussi forse ci insegna che l'anestesia “ideale” non è poi così lontana..

(C. Launo. DISCAT, Sezione di Anestesiologia e Rianimazione, Università degli studi di Genova. “L'anestesia a bassi flussi: cosa ci insegna” Minerva Anestesiológica 2004; 70 Suppl 1 al 9; 97 – 101)

Definizioni

APL = Valvola di sovrappressione o “overflow valve” Adjustable Pressure Level

BW = Body Weight (peso corporeo)

CFR = Capacità funzionale Residua

CO = Monossido di Carbonio

CO₂ = Anidride Carbonica

Et – CO₂ = End – tidal CO₂ (CO₂ di fine espirazione)

FA= Frazione Alveolare

Fd = Frazione Nominale al vaporizzatore (delivered)

Fe = Frazione espirata

FGF = Flusso Gas Freschi

Fi = Frazione inspirata

Kg = Kilogrammi

MAC = Minima Concentrazione Alveolare

PO = Preossigenazione

Pp = Pressione parziale

Q = Gittata cardiaca

RR = Respiratory Rate (Frequenza Respiratoria = FR)

SpO₂ = Saturazione periferica di O₂

TV = Tidal Volume (Volume Corrente)

VA = Ventilazione Alveolare

VM = Volume Minuto

VO₂ = Consumo di O₂ (inteso come domanda metabolica di O₂ in ml/min/m²)

SCHEMA DI APPLICAZIONE CLINICA

DENITROGENAZIONE: NON Necessaria se non si usa N₂O

▣

Preossigenazione 3 – 5 min

in maschera in O₂ puro

▣

INDUZIONE

Anestetico endovenoso

Opiaceo endovenoso

Miorisoluzione e Intubazione tracheale

▣

Setting VM: TV (8 – 10 ml/Kg) x RR (10-12 atti min)

Collegamento al circuito *primi 10 min:*

▣ FGF > 2 VM (O₂/Aria 50%, 150 ml/Kg/min)

“switch on” vaporizzatore e setting **Fd** :

Sevoflurano 2.5 %

Desflurano 6.5 %

▣

Mac 0.8% “stabile”

(= **Fe** sevo 1.7%; **Fe** Desflu 4.5%)

▣ FGF < 2 lt / min

(FGF = 20 - 25 x Kg x 0,75 ml/min)

Setting Fd vaporizzatore alogenato:

Sevoflurano 2.5 %

Desflurano 6.5 %

▣

MANTENIMENTO

FGF = < 2 lt min (FiO₂ 50%)

Volume Minuto invariato

*Mac alogenato 0.8% con **Fd** Sevoflurano 2.0% – 1.5%*

Desflurano 5.5 – 5%)

▣

RISVEGLIO

10 min prima di fine intervento:

▣ FGF (> VM: > 150 ml/Kg/min) per successivo “wash out” Alogenato dalla miscela gassosa

▣

Decurarizzazione

▣

Ripresa del RS

▣

5 min prima di fine intervento:

Switch off vaporizzatore

Stop drip oppiaceo endovenoso (se in uso)

Estubazione

Descrizione delle singole fasi dello schema di applicazione clinica

Induzione

- ▣ La Denitrogenazione iniziale (sec. Altman) ottenuta con la Preossigenazione in O₂ puro ad alti flussi in maschera per 3 – 5 min. non è necessaria se non si impiega Protossido d' azoto (N₂O). Tuttavia è doveroso considerare che:
- ▣ La Preossigenazione in RS in maschera per 3 – 5 min prima dell' induzione dell' anestesia incrementa considerevolmente le riserve di O₂ dell' organismo (CFR, PaO₂, SaO₂) consentendo nell' adulto anche 5 – 6 min di apnea senza desaturazione, dunque andrebbe praticata di routine prima di qualsiasi anestesia generale specie qualora si preveda intubazione/ventilazione difficile o stomaco pieno, o ci siano condizioni in cui già la saturazione dell' Hb è pregiudizievole (coronaropatici, obesi , bambini, gravidanza). Si ricorda che l'aria alveolare, a differenza dell'aria atmosferica contiene : N₂ 78%, O₂ 14%, CO₂ 5%. Dunque la

preossigenazione in O₂ puro consente all'O₂ di occupare tutto lo spazio disponibile dentro l'alveolo a discapito di azoto (N₂) e CO₂.

- ▣ Start drip di oppiaceo se previsto (remifentanil)
- ▣ Induzione con anestetico endovenoso, e miorsoluzione
- ▣ Intubazione tracheale
- ▣ Collegamento del paziente al circuito di anestesia inizialmente ad alti flussi (FGF > VM paziente in O₂/aria: > 150 ml/Kg/min) per i primi 10 min. onde saturare il circuito rapidamente con la miscela di gas addizionata dell'alogenato.
- ▣ Setting del vaporizzatore: c.d. " valore nominale"o **Fd** (Per il sevoflurano 2.5 vol.%; per il desflurano 6.5 - 7.0 %).
- ▣ Raggiungimento del valore MAC di alogenato fissato per la fase di mantenimento (in genere 0.8% in anestesia bilanciata con remifentanil e/o fentanil in miscela di O₂/aria al 50% ottenibile con **Fe** sevo = 1.7% - Desflu 4 – 4.5%)
- ▣ Passaggio a bassi flussi riducendo il FGF a valori < 2 lt/min. (20 – 25 ml/Kg/min). Setting **Fd** al vaporizzatore: sevo 2%. Desflu 5%. In genere la MAC ottenuta, resterà invariata e stabile per tutta la durata del mantenimento a bassi flussi
- ▣ Restano ovviamente invariati il Tidal Volume (TV) e la Frequenza Respiratoria (RR)_preimpostati e dunque il Volume Minuto (VM) previsto per "quel" paziente (VM = TV x RR).
- ▣ Non sono necessari "refresh" del circuito ad alti flussi poiché non impiegando N₂O non c'è rischio di accumulo di N₂ nel circuito. I "refresh" , prevedendo l'incremento del FGF destabilizzano la MAC ottenuta. Il wash out della CO₂ è ottenuto dal passaggio dei gas ricircolanti attraverso il canestro assorbitore.

RISULTATI:

- ▣ approfondimento rapido della narcosi (importante poiché, non appena cessa l'azione ipnotica del bolo endovenoso di anestetico "induttore", il paziente è ad alto rischio di awareness)
- ▣ riempimento del circuito con la composizione desiderata di gas.

Mantenimento

Ricordare che mentre si lavora a bassi flussi la frazione di anestetico inspirata dal paziente (Fi) non è mai uguale a quella prestabilita in % sull'evaporatore (c.d. "valore nominale" o Fd) né a quella alveolare (FA) perché nel circuito e nell'alveolo sono presenti sia la quota erogata dall'evaporatore ad ogni minuto col FGF, sia quella che il paziente reinala per causa del ricircolo dei gas..La MAC diviene stabile solo quando i tessuti (specie l'encefalo), si saturano di anestetico e quindi quando la differenza tra Fi e Fe è molto bassa. Nel corso del mantenimento a bassi flussi possiamo ridurre la Fd di alogenato (sevo 1.5 – 2%; desflu 5.5 – 5%) solo quando (e ciò avviene almeno dopo 10 - 20 min dall'induzione) il consumo di anestetico può essere considerato costante poiché l'encefalo ne è saturo: in tal caso la MAC non si riduce poiché l'alveolo viene rifornito di alogenato sia dal vaporizzatore sia dal gas reinalato che è carico di anestetico. Rapide modificazioni intraoperatorie del livello di anestesia (alleggerimento/approfondimento) possono essere ottenute soltanto incrementando dapprima il FGF e poi modificando la % di alogenato al vaporizzatore (Fd). Restare a bassi flussi e incrementare o ridurre la Fd, non serve se ci occorrono tempi rapidi: le costanti di tempo a bassi flussi sono molto lente (nella formula sono inversamente proporzionali all'entità dei FGF: alti FGF = brevi Tc, bassi FGF = lunghe Tc), quindi anche le modificazioni della miscela gassosa saranno molto lente: l'unica possibilità per approfondire rapidamente sarebbe quella di incrementare molto considerevolmente la Fd (es. >3% per sevo, > 7% per desflu ma questo non conviene per l'assetto emodinamico); similmente per alleggerire rapidamente restando a bassi flussi, l'unica possibilità sarebbe quella di ridurre drasticamente la Fd o addirittura chiudere l'evaporatore (e questo è impensabile perché esporrebbe il pz all'awareness).

Se per qualsivoglia motivo non si dovesse riuscire a ottenere livelli "stabili" del piano anestetico, è sempre meglio tornare ad alti FGF: infatti ad alti flussi la Fd da noi fissata sul vaporizzatore è pressochè uguale alla Fi (visto che la quota erogata subisce una prima diluizione nell'elevata quantità di miscela gassosa) che è a sua volta pressochè uguale all' FA poiché manca la quota aggiuntiva di alogenato dovuta alla re inalazione. Questo rende facile e rapido modificare la MAC (wash in e wash out agevolati anche dalla bassa solubilità degli anestetici come desflurano e sevoflurano) e quindi alleggerire o approfondire il piano di anestesia agendo solo sul vaporizzatore ossia sulla Fd e

sulla Fi. E' sempre raccomandabile tuttavia evitare continue modifiche della MAC per non esporre al rischio awareness il paziente: è più utile "modulare" la profondità dell'anestesia agendo sul drip di remifentanil in base all'entità della stimolazione chirurgica e sull'entità della mio risoluzione.

Durante la fase a bassi flussi al fine di prevenire eventuali riduzioni della **FiO₂** (il gas che ricircola torna all'alveolo impoverito di O₂ che è stato consumato dai tessuti), la concentrazione di O₂ dei gas freschi deve essere sempre mantenuta al **50%** e deve essere monitorata continuamente con il pulsio ossimetro (SpO₂). Per ottenere Fi di O₂ nella miscela reinalata del 35- 40%, a FGF di 1 lt/min, bisogna impostare un % di O₂ nella miscela erogata di almeno il 50%. L'efficienza del sistema assorbitore della CO₂ è misurata dal valore dell' end – tidal CO₂ (30 – 40 mmHg), nonché dalla CO₂ inspiratoria (1 – 5 mmHg)

Considerazioni: Un anestetico inalatorio come il Desflurano, a bassa solubilità (rapido wash in – out) che per raggiungere livelli di MAC in fase di mantenimento pari a 0.8% in anestesia bilanciata, necessita di Fe = 4.0 - 4.5%, trova il suo razionale utilizzo rispetto al sevoflurano (Fe = 1.7% per 0.8 MAC), specie nel controllo dell'aerodispersione, solo a bassi flussi.

Risveglio

Nella fase di risveglio passare ad alti flussi circa 10 minuti prima della fine dell'intervento chirurgico per un "wash out" del circuito senza sospendere l'erogazione di alogenato. Chiudere l'evaporatore 5 minuti prima della fine dell'intervento, sempre ad alti flussi in O₂ puro e solo dopo aver effettuato la decurarizzazione (e quindi con paziente in respiro spontaneo) per evitare il rischio di awareness. Se si resta a bassi flussi fino alla fine dell'intervento, il vaporizzatore deve essere chiuso almeno 15 minuti prima della fine dello stesso, poiché per causa della re inalazione l'alveolo viene sempre rifornito di alogenato anche se il vaporizzatore è chiuso e quindi la MAC resta alta. Sospendere quindi il drip di remifentanil (se in uso). Estubare il paziente.

Il **monitoraggio** è quello standard, obbligatorio in tutte le sale operatorie secondo le Linee Guida SIAARTI :

- ▣ Concentrazione % inspirata (Fi) ed espirata (Fe o end – tidal) di anestetico volatile
- ▣ Fi O₂, Fe O₂, end – tidal CO₂, Fi CO₂
- ▣ VM, FGF, P inspiratoria
- ▣ SpO₂
- ▣ monitoraggio cardiovascolare
- ▣ allarmi per la disconnessione e per le alte pressioni.

Riferimenti

- ▣ F. Giunta : - Anestesia a Bassi Flussi e a Circuito Chiuso - .Piccin editore, 1995.
- ▣ Campagna JA, Miller KW, Forman SA, 2003,. The mechanisms of volatile anesthetic actions. N Engl. J. Med. 2003; 348: 2110 – 2124 (l'articolo tratta il meccanismo d'azione degli anestetici generali)
- ▣ Eger EI. Uptake and distribution. In: Miller RD, Anestesia. Philadelphia, Churchill Livingstone, 2000: 74 – 95. (Questo capitolo tratta la farmacocinetica e i meccanismi di captazione degli anestetici inalatori)
- ▣ AA.VV. 2002. Molecular and basic mechanisms of anaesthesia. In: Hopkins PM, DG Lambert, Urban BW, ed. Brit. J. Anesth. 2002; 89:1 – 183 (serie di articoli sulle attuali teorie circa il meccanismo d'azione degli anestetici generali)
- ▣ Wiklund RA, Rosenbaum SH. Anesthesiology. N. Engl. J. Med. 1997; 337: 1132-1141, 1215-1219.(Monografia in due parti che tratta diversi aspetti della pratica anestesologica)
- ▣ Winter PM, Miller JN. Anesthesiology. Sci. Am. 1985; 252:124 -131. (saggio sull'approccio clinico dell'anestesista).
- ▣ Goodmann & Gilman. - Le basi farmacologiche della terapia Il Manuale - 2008 ed. McGraw-Hill 237-242; 248-257 (sulla farmacocinetica degli anestetici inalatori).

- ▣ G.Torri: Flessibilità e sicurezza dei nuovi farmaci in anestesia. *Minerva Anest.* vol 66, Suppl.1 al N 9, 2000; 341-344
 - ▣ G.Torri: Il corretto equilibrio tra oppioidi e anestetici alogenati. *Minerva Med.* Vol. 71 Suppl.1 al N10 2005; 158-159
 - ▣ F.Giunta : Anestesia a bassi flussi :Cosa resta? *Minerva Anesthesiol.* 2004 Vol.70 Suppl.1 al N.9 ; 95-96
 - ▣ Emilio Feltri : Cinetica dei gas anestetici (Assorbimento e distribuzione) 50° Congresso Nazionale Multisala SCIVAC
 - ▣ J Baum, F. Giunta - Anestesia a Bassi Flussi e a Circuito Chiuso – Piccin editore, 1995.
 - ▣ Alan Baxter, MB “Inhalation agents: New drugs, new gas flows” Department of Anaesthesia Ottawa Hospital – General Site and University of Ottawa. “Association of Ottawa Anesthesiologist. Winterlude 96 programme.
 - ▣ Odin I, Feiss P. Low flow and economics of inahlatinal anaesthesia *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2005 Sep;19 (3):399-413.
 - ▣ Baum JA. Low flow anasesthesia. Butterworth Heinemann Ed. Oxford 2001.
 - ▣ Baxter AD. Low and minimal flow inhalational anaesthesia. *Can J Anaesth* 1997, 44: 643-53
 - ▣ Shober P, Loer SA. Closed system anaesthesia – hystorical aspects and recent developments. *Eur J Anaesthesiol* 2006; 23 (11) 914-20
 - ▣ Shober P, Loer SA. An innovative anaesthesia machine: the closed system. *Current opinion in Anaesthesiology.* 2005; 18: 640-644
 - ▣ Schindler AW, Scheeren TWL, Picker O, Doehn M, Tarnow J. Accuracy of feedback controlled oxygen delivery into a closed anaesthesia circuit for measurement of oxygen consumption. *Br J Anaesth.* 2003; 90: 281-90.
 - ▣ Stuys MM, Kalmar AF, De Baedemaeker LE. Time course of inhaled anaesthetic drug delivery using a new multifunctional closed-circuit anaesthesia ventilator. In vitro comparison with a classical anaesthesia machine. *Br J Anaesth.* 2005; 94:306-17
 - ▣ De Monte A, M. Vecil, C. Di Stefano, F. Giordano. Anestesia inalatoria a bassi e bassissimi flussi e in circuito chiuso. V° Congresso Nazionale SIARED, Napoli 20-22 Settembre 2007
 - ▣ Kennedy RR, French RA. Changing patterns in anesthetic fresh gas flow rates over 5 years in a teaching hospital. *Anesth Analg.* 2008; 106:1487-90.
 - ▣ Coppens et al. The mechanisms of carbon monoxide production by inhalational agents. *Anaesthesia* 2006; vol. 61; pp. 462-468
 - ▣ Keijzer C et al. Carbon monoxide production from desflurane and six types of carbon dioxide absorbents in a patient model. *Acta Anaesthesiologica Scandinava* 2005; vol. 49; pp. 815-818
 - ▣ Knolle E et al Small Carbon Monoxide Formation in Absorbents Does Not Correlate with Small Carbon Dioxide Absorption. *Anesthesia & Analgesia* 2002; vol. 95; pp 650-655
 - ▣ Bedi A et al. The in vitro performance of carbon dioxide absorbents with and without strong alkali. *Anaesthesia* 2001; vol. 56; pp. 1-6
 - ▣ Yamakage M et al. Carbon Dioxide Absorbents Containing Potassium Hydroxide Produce Much Larger Concentrations of Compound A from Sevoflurane in: Clinical Practice. *Anesthesia & Analgesia* 2000; vol. 91; pp 220-224
-