

MONITORAGGIO DEI GAS ANESTETICI NELLE SALE OPERATORIE

L. Lodola, D. Vlacos*, B. D'Aquino**

M. Daglio, L. Rolandi

Direzione Sanitaria Ramaioli F. – Rianimazione II

I.R.C.C.S. Policlinico S. Matteo – Pavia

* Vicedirettore Sanitario

** Direttore Sanitario

La definizione di anestetico riguarda quei farmaci che vengono utilizzati per produrre annullamento dello stato di coscienza, limitatamente al periodo di somministrazione, con conseguente scomparsa del dolore.

Tra i vari tipi di anestesia utilizzati in Chirurgia, è di interesse, dal punto di vista dell'esposizione professionale del personale medico e infermieristico, l'anestesia generale per inalazione. Sono infatti stati descritti in letteratura casi di aborto, epatopatia, alterazioni ematologiche e neurologiche negli operatori esposti, anche se con controverse interpretazioni.

Scopo dell'articolo è la descrizione di una prova di fattibilità per l'implementazione di un servizio per il monitoraggio di questi gas, nelle condizioni operative di una camera operatoria in attività. Scopo del presente rapporto sono pertanto la verifica pratica di un protocollo di analisi e la valutazione della sua funzionalità, attendibilità ed utilità nell'esecuzione di una mappatura reale delle concentrazioni di gas anestetici e quindi dell'esposizione professionale degli operatori, nel complesso operatorio, scelto a campione, del Padiglione Ortopedico del S. Matteo.

Nel corso della sperimentazione si è anche individuata la possibilità di valutare la cinetica di decadimento dell'inquinamento ambientale da gas e di confrontare, dal punto di vista dell'esposizione, i diversi sistemi di somministrazione dell'anestetico (maschere facciali, maschere laringee e intubazione classica).

Caratteristiche chimico-fisiche degli anestetici gassosi

Gli anestetici per inalazione di uso più frequente sono: il protossido d'azoto (N_2O), gassoso a temperatura e pressione standard (S.T.P.) utilizzato in miscela con l'ossigeno, ed alcuni composti alogenati quali il fluotano, il metossifluotano, l'enflurano e l'isofluorano, allo stato liquido vaporizzati in corrente gassosa.

In particolare, nelle sale operatorie in oggetto, vengono utilizzati solamente il protossido d'azoto e l'isofluorano (tab.1). A questi due gas viene quindi limitata la presente indagine.

Livelli di inquinamento ambientale in ambito operatorio e loro dosaggio

La valutazione della dose esterna ambientale rimane tuttora un punto di riferimento obbligato, in quanto normalmente è di più facile ed immediata determinazione, ed è un dato direttamente confrontabile con i limiti ambientali di accettabilità.

Protossido d'azoto

Formula chimica: N_2O

Peso molecolare: 44,01

Densità: 1,977 g/l a 0 °C e 760 mm Hg

Punto di ebollizione: - 88,5 °C

Solubilità: 130 cm³/100 cc H₂O

Solubile in alcool ed etere etilico

Coefficiente di ripartizione (a 37 °C): sangue/gas 0,5

Isofluorano (Forane)

Formula chimica: $CF_3-CHCl-O-CHF_2$

Peso molecolare: 184,5

Densità: 1,496 a 25 °C e 760 mmHg

Punto di ebollizione: 48,5 °C

Tensione di vapore: $\log P_{vap} = 8,056 - 1644,58 / (°C + 273,16)$

Coefficiente di ripartizione (a 37 °C): acqua/gas 0/61

sangue/gas 1,43

Infiammabilità: non infiammabile alle concentrazioni anestetiche
DL50 = 6,74 mg/kg (nelle 24 H, via enteroperitoneale nel topo)

Tab.1 – Caratteristiche del protossido d'azoto e dell'isofluorano

Ciò ovviamente consente interventi tempestivi per la riduzione del livello di esposizione professionale.

Un'altra metodologia di approccio fa riferimento al cosiddetto "monitoraggio biologico", che consiste nella misura delle sostanze inquinanti in vari compartimenti biologici. I due metodi di indagine sono tra loro assolutamente complementari e non alternativi, in quanto le informazioni più interessanti fornite dal metodo "biologico" riguardano il livello medio di esposizione integrato sul turno di lavoro e le indicazioni su eventuali fenomeni di accumulo, laddove il metodo "ambientale" ha il precipuo scopo di fornire i parametri di prevenzione primaria. In altre parole, il metodo ambientale consente di codificare le norme comportamentali e le misure di sicurezza che possono contribuire a contenere la dose di esposizione, mentre il metodo biologico rende ragione della dose efficace effettivamente assorbita dall'individuo e quindi del rischio tossicologico connesso.

Quindi pur ribadendo la complementarietà dei due sistemi, risulta evidente come sia di più immediata attuazione ed efficacia preventiva una buona valutazione "ambientale" rispetto ad una pur necessaria indagine biologica.

La strumentazione in nostro possesso consente la valutazione delle concentrazioni degli anestetici in aria, con il metodo dei prelievi consecutivi di breve durata (30" con frequenza di 2,5 minuti primi). Ciò si presta in modo particolare alla valutazione della concentrazione ponderata per turno di lavoro e quindi della "dose esterna ambientale", che, per confronto con i "limiti ambientali di accettabilità", costituisce il primo ed essenziale dato di giudizio. Dal punto di vista pratico, il monitoraggio ambientale deve prevedere:

- l'identificazione di tutte le sostanze tossiche presenti, per tener conto di eventuali effetti sinergici; - il monitoraggio quantitativo delle stesse nelle diverse zone dell'ambiente, il che consentirà la compilazione di mappe spaziali dell'inquinamento;
- la valutazione temporale delle variazioni di concentrazione durante il turno di lavoro.

La concentrazione ponderata per turno di lavoro (TWA - Time Weighted Average), può essere ottenuta sia con un prelievo continuativo lungo tutto il turno di lavoro, sia con una serie di prelievi multipli (ed è questo il nostro caso) applicando la formula:

$$\frac{(C_a \cdot T_a) + (C_b \cdot T_b) + \dots (C_n \cdot T_n)}{T_a + T_b + \dots T_n}$$

dove $C_a, b, \dots n$ è concentrazione e $T_a, b, \dots n$ il tempo di prelievo al prelevamento $a, b, \dots n$, che possono essere sia momenti successivi di un campionamento personale o punti di permanenza in zone diverse.

Una valutazione approssimata della dose realmente assorbita (uptake) è possibile conoscendo i valori della T.W.A., della ventilazione polmonare e del coefficiente di ripartizione sangue/aria del gas.

Limiti

La legislazione italiana prevede un limite di 100 ppm (50 ppm per le nuove installazioni) per il protossido d'azoto, mentre non vengono indicati limiti per l'isofluorano.

Il dispositivo legislativo a cui si fa riferimento è costituito dalla Circolare del Ministero della Sanità n. 5 del 14/3/89 "Esposizione professionale ad anestetici in sala operatoria" e dal DPR 303/1956 "Norme generali per l'igiene del lavoro". In altri paesi sono previsti limiti che variano da 25 a 1 ppm per il protossido d'azoto e da 0,5 a 75 ppm per gli alogenati.

Si tratta evidentemente di limiti molto variabili che riflettono le incertezze esistenti sull'effettiva pericolosità di questi gas. In particolare si definiscono tre categorie di limiti igienici:

- TLV TWA (Threshold Limit Value), può essere superato non più di quattro volte per turno di lavoro purché non venga superato il TWA.
- TLV STEL (Short Term Exposure Limit) o valore di picco discontinuo, può essere tollerato per brevi periodi.
- TLV CEILING, il limite tetto da non superare mai.

In pratica per il protossido sono stati proposti i limiti:

- 50 - 100 ppm TLV-TWA;
- 500 ppm TLV-STEL.

Per gli alogenati è in genere accettato il limite di 5 ppm TLV-TWA. Secondo il NIOSH il valore dovrebbe essere ridotto a 0,5 ppm in presenza di protossido.

Nei casi presi in esame è stata misurata la concentrazione di isofluorano nel corso di quattordici interventi di varie tipologie e durata, con l'utilizzo di diversi sistemi di somministrazione del gas (fig. 1).

Le dosi misurate si sono mantenute sempre al di sotto del limite TLV-TWA di 5 ppm, eccettuati due casi in cui il valore è stato superiore a causa di un imperfetto posizionamento della maschera laringea o del tubo endotracheale. Da notare che queste imperfezioni non provocavano nessun problema di ventilazione al paziente, e sono quindi state rilevate solo grazie alla strumentazione di analisi del gas.

Tuttavia, trattandosi di interventi di breve durata, il dato assume valore di un superamento di picco discontinuo, per cui la dose integrata per turno di lavoro si è mantenuta ben al di sotto del limite. Una discussione a parte richiede l'utilizzo della maschera facciale. In questo caso infatti sono stati ampiamente superati i limiti TLV-TWA sia per quanto riguarda il protossido (dose ponderata 520 ppm, limite 100 ppm), che per l'isofluorano (dose ponderata 54,9 ppm, limite 5 ppm). Si sono inoltre rilevati tre superamenti da 15' del limite TLV-STEL (500 ppm) per il protossido. Ciò ci ha portato ad escludere l'utilizzo di questa tecnica per ulteriori sperimentazioni.

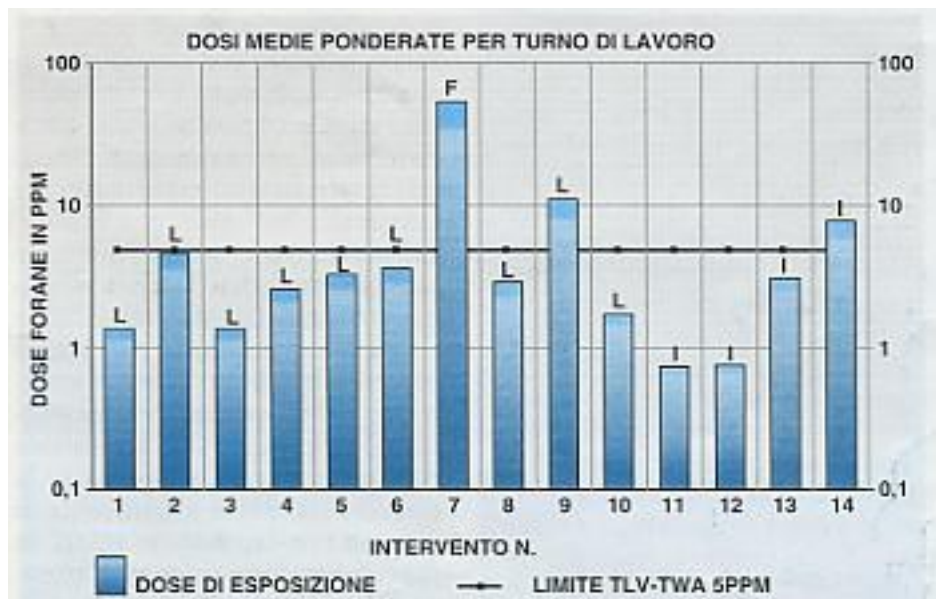


Fig. 1 Concentrazione di isofluorano nel corso di quattordici interventi di varie tipologie e durata, con l'utilizzo di diversi sistemi di somministrazione del gas.

Apparecchiatura e sistemi di misura

La metodologia di analisi di riferimento per la determinazione di questi gas, è la gas cromatografia. Tuttavia, la difficoltà di effettuare prelievi significativi e la necessità di eseguire un numero molto elevato di determinazioni, per calcolare la dose ponderata nel tempo, hanno portato allo sviluppo di metodi alternativi automatizzati. In particolare nel presente studio si è utilizzato un analizzatore di gas (Bruel & Kjaer 1302).

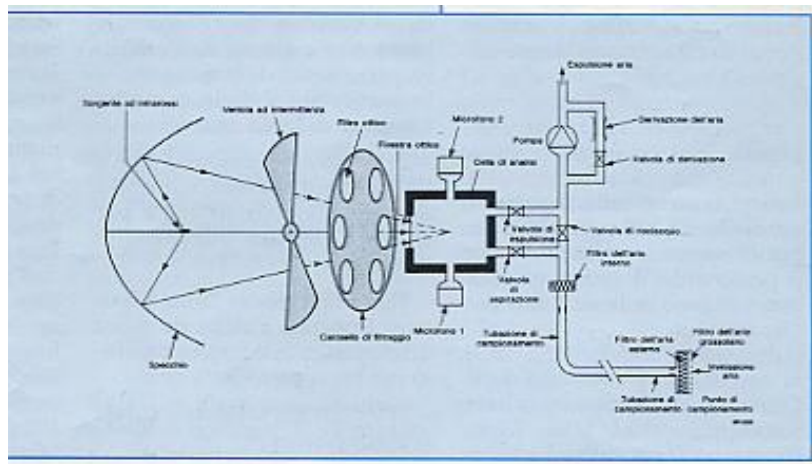
Lo strumento utilizza quale sistema analitico la spettroscopia fotoacustica a infrarossi. La tecnica consente una precisione ed affidabilità più che sufficienti per gli scopi che ci si prefiggono. In particolare, è risultata particolarmente interessante la possibilità dello strumento di effettuare in automatico la determinazione in contemporanea di più gas anestetici, con correzione del fondo. Ciò, in unione con la buona sensibilità

(10^{-3} ppm) e l'ampia gamma dinamica (cinque ordini di grandezza), lo rende particolarmente adatto

Ciclo di misura

1. La pompa aspira l'aria dal punto di campionamento attraverso due filtri d'aria, per eliminare la "vecchia" aria nel sistema di misura e sostituirla con un "nuovo" campione.
 2. Il "nuovo" campione d'aria viene ermeticamente sigillato nella cella d'analisi, chiudendo le valvole di aspirazione e di espulsione.
 3. La luce da una sorgente ad infrarossi, viene riflessa da uno specchio, passata attraverso un modulatore meccanico e trasmessa ad impulsi attraverso uno dei filtri ottici del carosello di filtraggio.
 4. La luce trasmessa dal filtro ottico viene assorbita selettivamente dal gas monitorato, causando un incremento della temperatura del gas. La temperatura del gas aumenta e diminuisce a seconda dell'impulso della luce, e questo causa, nella cella chiusa, un aumento ed una diminuzione della pressione del gas (un segnale acustico).
 5. I due microfoni, montati sulla parete della cella, misurano questa onda di pressione che è direttamente proporzionale alla concentrazione del gas monitorato presente nella cella.
 6. Il carosello di filtraggio gira in modo che la luce sia trasmessa attraverso il filtro ottico seguente, e venga misurato il nuovo segnale. Il numero di volte che questo passo viene ripetuto dipende dal numero di gas che vengono misurati.
- Se viene misurato solo uno dei gas o il vapore acqueo presente intorno al 1302, il tempo di misura è di circa 30 sec. se vengono misurati cinque gas ed il vapore acqueo il tempo è di 105 sec.
- Aumentando la lunghezza del tubo di campionamento aumenta anche il tempo necessario ad aspirare un nuovo campione di aria e perciò anche il tempo di misura.

al lavoro di monitoraggio delle sale operatorie, in quanto è possibile programmare lo strumento prima dell'inizio dell'operazione, recuperando i dati alla fine, senza la necessità di una presenza dell'operatore durante l'intervento, minimizzando così i disagi per l'equipe chirurgica. Si è inoltre verificata una notevole stabilità delle misure nonché un'assoluta insensibilità ad agenti esterni quali l'utilizzo di altre apparecchiature elettroniche o macchine radiogene.



Sistema di misura
del monitor
multiplo di gas
1302

La compatibilità mediante interfaccia RS 232C con i normali computer consente un facile trasferimento dei dati di analisi per l'elaborazione statistica e l'archiviazione computerizzata. Ciò è particolarmente auspicabile in caso di controlli periodici.

Cinetica dell'inquinamento in ambiente operatorio da gas anestetici

Sono state effettuate alcune decine di misurazioni della concentrazione dei gas anestetici protossido d'azoto e isofluorano in una sala operatoria in funzione del tempo. I risultati sono riportati nel grafico di fig. 2. Dall'esame si rileva come l'andamento della concentrazione dell'inquinante possa essere assimilato ad una condizione cinetica nota come equilibrio transitorio. In buona sostanza ciò significa che i fenomeni che agiscono sono suscettibili di descrizione matematica tramite una equazione differenziale lineare del primo ordine. Poiché la sala operatoria si può considerare un sistema praticamente isolato, è ipotizzabile che la concentrazione nell'aria ambiente dipenda in prima approssimazione dal bilancio tra la velocità con cui l'inquinante viene immesso nella sala e la velocità con cui viene rimosso. Sotto queste condizioni è possibile determinare con un buon grado di approssimazione, una volta conosciuti i parametri caratteristici di una sala, le dosi di anestetico cui sono esposti gli operatori effettuando un numero di misurazioni inferiore (due o tre) rispetto a quello necessario con i metodi classici di rilevamento (molte decine). Ciò si traduce in un risparmio di tempo/strumentazione che consentirà di monitorare un numero maggiore di sale operatorie con più elevata frequenza. Il trattamento statistico dei dati sarà mirato all'individuazione delle sale che si discostano dalla media (e all'interno di una stessa sala, alla individuazione dell'equipe), così da permettere un intervento di prevenzione mirato, sia sulle attrezzature e apparecchiature, che sulle norme comportamentali degli addetti.

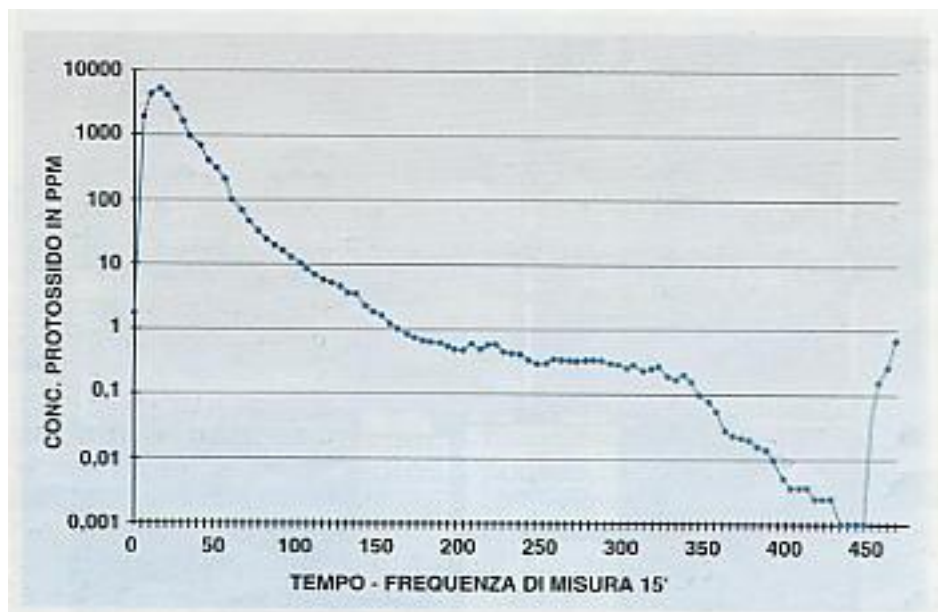


Fig. 2 - Cinetica della conc. di N₂O in un intervallo di 24 ore

In pratica, indicando con L1C la velocità con cui il gas viene immesso, e con L2C la velocità con cui viene rimosso, l'andamento della concentrazione C nel tempo sarà:

$$dC/dt = L1C - L2C$$

la soluzione della quale sarà una equazione del tipo:

$$C_t = K e^{(-L1t)} - K e^{(-L2t)} + C^{\circ} e^{(-L2t)}$$

Dove C_t = Concentrazione al tempo t

il primo termine descrive l'aumento della concentrazione del gas; il secondo termine rende ragione della sua diminuzione; il terzo termine dà il contributo ad ogni istante di un quantitativo di gas eventualmente presente al tempo 0 (C°).

Nell'ipotesi di $C^{\circ} = 0$ ovviamente questo termine è nullo. Il valore della costante di rimozione L2 può essere facilmente calcolato dalla pendenza del tratto di curva dopo che è cessata l'immissione del gas per cui l'equazione si riduce a:

$$C = C^{\circ} e^{(-L2t)}$$

Una volta conosciuto il valore di L2, dall'equazione principale e dai valori sperimentali è possibile calcolare il valore di L1 e di K. Si è così in possesso di un efficace modello matematico della distribuzione temporale dell'inquinamento.

In particolare risulta interessante il calcolo del tempo di dimezzamento della concentrazione del gas:

$$T1 / 2 = \ln 2 / L2$$

Il procedimento descritto, applicato ad una camera operatoria ha dato un valore di $L2 = 0,04357$, per cui:

$$T1 / 2 = \ln 2 / 0,04357 = 15,9$$

Questo dato significa che, data una certa quantità di gas, in assenza di ulteriori immissioni, l'impianto di condizionamento è in grado di ridurre la concentrazione alla metà in circa sedici minuti. Ciò implica che il gas viene ridotto a valori non significativi, quale che sia la sua concentrazione iniziale, in un tempo inferiore alle dieci ore. Considerando il periodo di fermata della sala tra un turno operatorio ed il seguente, si evince immediatamente come il sistema di condizionamento, in questo caso, sia in grado di scongiurare fenomeni di accumulo del gas nel corso della settimana. In effetti, dal monitoraggio del protossido d'azoto su 24 ore, dalle 8.30 del 12/8/91 alle 8.30 del 13/8/91, si rileva come la concentrazione del gas si sia ridotta a meno di 1 ppm entro le ore 16, pur in presenza della massiccia contaminazione (valore massimo 7035 ppm) dovuta all'uso della maschera facciale, valore in buon accordo con la previsione effettuata con il modello matematico.

Mappatura spaziale dell'inquinamento

È stata elaborata una mappa spaziale dell'inquinamento da N_2O in una camera operatoria. Ciò ha permesso, tra l'altro, di individuare una perdita piuttosto considerevole di protossido d'azoto da una torretta di erogazione.

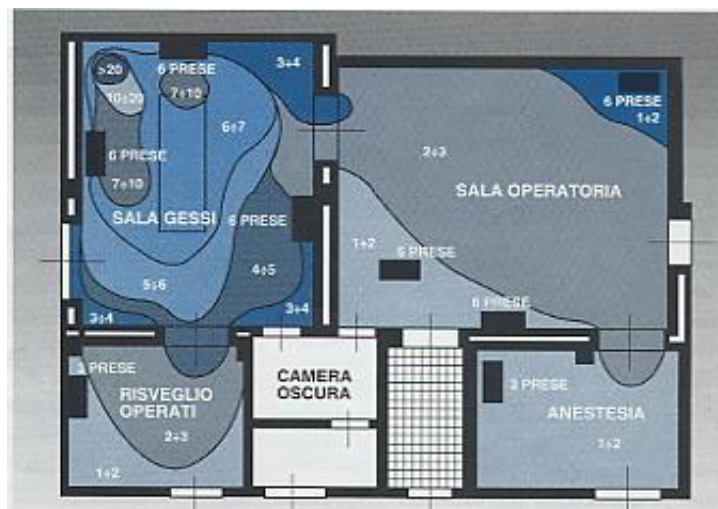


Fig. 3 – Mappa spaziale dell'inquinamento da N_2O in una camera operatoria

La mappa è stata eseguita effettuando circa cinquanta misurazioni in vari punti della sala, ad una altezza dal suolo di 170 cm. Ogni misurazione è stata ripetuta cinque volte e poi mediata. Unendo i punti ad ugual intervallo di concentrazione si è ottenuta la mappa riportata in fig. 3. Come si può notare dall'esame della mappa il gas si distribuisce abbastanza rapidamente in accordo con le linee di flusso delle bocchette dell'aria condizionata, che si trovano sul lato sinistro della sala. La concentrazione del gas benché più elevata in corrispondenza della zona di anestesia (7-10) ppm ed in prossimità della torretta con la perdita (20 ppm) erano comunque di gran lunga inferiori ai limiti TLV-TWA che sono di 50-100 ppm. La sostituzione della bocchetta di presa del protossido, prontamente effettuata dall'Ufficio Tecnico su nostra segnalazione, ha consentito di ridurre drasticamente i valori, che sono risultati nei giorni seguenti sempre compresi tra 1 e 3 ppm (del tutto trascurabili), con la sola eccezione dell'utilizzo di una maschera facciale, come discusso.

La concentrazione nelle altre zone della camera operatoria, ed in particolare nella zona respiratoria chirurgici, è sempre risultata significativamente inferiore (un ordine di grandezza) rispetto alla zona anestesisti.

La mappatura dell'isofluorano ha dimostrato un andamento del tutto simile.

Confronto dell'inquinamento da anestetici nell'uso di diversi tipi di maschere respiratorie

Si sono eseguite analisi della concentrazione di gas mediante prelievi ripetuti a intervalli di cinque minuti, nella zona respiratoria del paziente, nel corso di anestesie generali eseguite con varie tecniche:

- Maschera laringea - Si tratta di un nuovo tipo di maschera interna che viene introdotta nella laringe del paziente e mantenuta in loco mediante gonfiaggio con aria di un apposito palloncino, sagomato in modo da aderire alle pareti della laringe, così da garantire la tenuta della pressione. Vengono così evitati la maggior parte dei traumatismi legati all'intubazione.

- Maschera facciale - la classica maschera esterna, applicata sul viso del paziente.

- Intubazione - La normale tecnica di intubazione, in cui il tubo viene inserito nella trachea del paziente e mantenuto in loco per gonfiaggio di un palloncino a tenuta.

Sono stati seguiti quattordici interventi, di cui nove con maschera laringea, quattro con intubazione e uno con maschera facciale (tab. 2).

La tecnica con maschera facciale è stata eseguita una sola volta in quanto, indipendentemente dalle scarse indicazioni terapeutiche nei casi in questione, si è riscontrata una concentrazione molto elevata di protossido (TWA = 520 ppm), e di isofluorano (54,9 ppm), superiori ai limiti di sicurezza, come già discusso.

Per ogni intervento è stata compilata una scheda che riporta i dati salienti dello stesso e l'andamento

della concentrazione dei gas in funzione del tempo. Sono stati anche indicati gli eventi quali intubazione, estubazione, cariche dell'isofluorano, ecc., che rendono ragione di eventuali variazioni istantanee nelle misure. Per ogni équipe è stata anche calcolata la dose media ponderata nel tempo, indicata con il simbolo "u".

Intervento n.	Dose media Isofluorano in ppm	Tipo di maschera
1	1,39	Laringea
2	4,62	Laringea
3	1,39	Laringea
4	2,66	Laringea
5	3,21	Laringea
6	3,44	Laringea
7	54,91	Facciale
8	2,78	Laringea
9	10,7	Laringea
10	1,56	Laringea
11	0,67	Intubazione
12	0,65	Intubazione
13	2,79	Intubazione
14	6,76	Intubazione

Conclusioni

Dall'esame dei risultati si può rilevare come le maschere laringee, a fronte di un minor traumatismo dovuto all'inserimento, comportano un rilascio di gas anestetici del tutto paragonabile a quello dell'intubazione classica, in termini di dose ponderata.

Tuttavia ciò è vero solo quando il posizionamento della maschera è perfetto. In effetti un posizionamento imperfetto, almeno entro certi limiti, non ha grosse controindicazioni per quanto riguarda la ventilazione del paziente, ma comporta un sensibile aumento del rilascio di anestetici.

La misura della concentrazione di forane nell'aria espirata dal paziente è stata anzi di grande aiuto nel verificare il corretto posizionamento delle maschere.

Per quanto riguarda l'intubazione classica, si è dimostrato fattore vincolante il gonfiaggio del pallonetto di tenuta. In un caso la concentrazione del gas nell'aria espirata è infatti diminuita da 10,2 ppm a 0,73 ppm in seguito a gonfiaggio dello stesso con altri 7 cc di aria. Dall'esame complessivo dei dati ottenuti si possono inoltre trarre alcune considerazioni sugli indirizzi di prevenzione da esposizione agli anestetici gassosi.

Per quanto riguarda il blocco operatorio della Clinica Ortopedica e Traumatologica, si può considerare che il sistema di aerazione è efficiente nella rimozione dei gas tra un turno e l'altro, tuttavia per garantire una situazione di sicurezza del personale esposto, evitando il superamento dei limiti, si devono osservare alcune norme comportamentali ed accorgimenti tecnici.

In particolare:

- Il corretto posizionamento delle maschere laringee e dei tubi endotracheali si è dimostrato fattore fondamentale e limitante la dispersione ambientale dei gas.
- La procedura di caricamento dell'evaporatore di isoflurano può costituire una seria fonte di inquinamento. In questa fase si sono infatti verificate perdite, specialmente quando la carica avveniva ad evaporatore ancora parzialmente pieno. Sarebbe quindi opportuno attendere il quasi completo svuotamento dello stesso prima di procedere al rabbocco.
- Si deve evitare, per quanto possibile, di staccare i tubi di collegamento dell'apparecchiatura anestesiológica con gli erogatori aperti.
- È necessario procedere, con l'analizzatore di gas, ad un controllo periodico di tutte le bocchette ed i raccordi dell'impianto di erogazione centralizzato del protossido d'azoto.
- Si devono controllare i circuiti, i tubi, i raccordi e gli stessi apparecchi erogatori, nonché la perfetta chiusura dei flaconi degli anestetici alogenati.
- Una volta stabilita la mappa spaziale della distribuzione del gas, si deve limitare, per quanto possibile, la permanenza senza motivazione del personale nelle zone a più alta concentrazione.
- Ove fosse necessario, deve essere installato un sistema di captazione puntuale ed eliminazione dei gas.
- Si deve stabilire un piano di prevenzione per i rischi da gas anestetici, facendo rispettare normative e limiti guida. Verifiche potranno essere effettuate, sia con controlli periodici ambientali che tramite il servizio già attivo di controllo sanitario sul personale esposto, computerizzando e trattando statisticamente i dati rilevati.

Si ritiene pertanto di aver dimostrato la possibilità di implementare un efficace protocollo di controllo dei gas anestetici in sala operatoria, che sia in grado di limitare l'esposizione del personale sanitario, minimizzando e razionalizzando nel contempo i costosi interventi strutturali.

Bibliografia

[1] Imbriani M., Ghittori S., Pezzanago G., Capodaglio E. - Esposizione professionale ad Anestetici per Inalazione Quaderni di Medicina del Lavoro.

La Goliardica Pavese 1990.

[2] Capodaglio E. et al. Valutazione dell'esposizione professionale ad anestetici per inalazione.

G. Ital. Med. Lav. 1988; 10: pagine 49-55.

[3] Hildebrand F.B. Analisi Numerica

Casa Editrice Ambrosiana - 1967.

R/14-00