

# LA SPIROMETRIA IN MEDICINA VETERINARIA DEI PICCOLI ANIMALI: TEORIA E PRATICA

LORENZO NOVELLO

Medico Veterinario, Libero professionista, Padova

## Riassunto

Le alterazioni della ventilazione rappresentano una causa ben conosciuta e temuta di complicazioni in corso di anestesia generale dei piccoli animali, rispecchiando spesso scenari di frequente riscontro nei blocchi operatori e nelle unità di terapia intensiva umani.

Questo perché molti farmaci comunemente utilizzati in anestesia e sedazione, sia da soli che in associazione, possono modificare significativamente l'attività ventilatoria del paziente fino a condurlo all'insufficienza respiratoria. Quanto detto precedentemente si può facilmente verificare anche in relazione a procedure chirurgiche e posizionamenti particolari in corso di indagini diagnostiche.

In relazione a queste problematiche la tecnologia e la clinica hanno cercato negli anni di migliorare le strategie terapeutiche e l'efficacia del monitoraggio nel tentativo di garantire al paziente una ventilazione corretta ed efficace.

Capnografia e ossimetria pulsatile si sono dimostrate poco sensibili e non specifiche nel riconoscere tempestivamente alterazioni ventilatorie anche significative in corso di anestesia generale o sedazione, risultando particolarmente inadatte in molte situazioni non così infrequenti nella pratica anestesiológica veterinaria. La spirometria invece, misurando ciò che il paziente effettivamente ventila nell'unità di tempo, rappresenta il monitoraggio ideale dell'attività ventilatoria, aggiungendo informazioni insostituibili a quelle già fornite da capnografia e ossimetria pulsatile. Alla luce di ciò la spirometria Side Stream della Datex-Ohmeda rappresenta un ausilio formidabile in anestesia dei piccoli animali perché elimina gli inconvenienti che si riscontrano con altri sistemi e che impediscono misurazioni accurate nei pazienti di piccola taglia.

## Summary

*Ventilatory derangement is a well-known cause of complications in small animal anaesthesia as well as in human anaesthesia. A lot of anaesthetic drugs, alone or combined, and a lot of procedures, i.e. some anaesthetic or diagnostic or surgical procedures, may alter ventilatory pattern or cause ventilatory failure. Moreover some accidents, i.e. accidental one lung ventilation or tracheal tube obstruction, may cause ventilatory failure during anaesthesia.*

*Capnography and pulse-oxymetry lack of sensibility and specificity in detecting ventilatory problems during anaesthesia or sedation. Side Stream spirometry, by Datex-Ohmeda, measures all ventilatory parameters close to patient, giving us an in deep view of his ventilatory status. Side Stream spirometry is very useful in neonatal and paediatric patient monitoring, as well as in small animal monitoring, eliminating inaccuracy found in other systems. Technical aspects and clinical applications of ventilatory monitoring are illustrated in this paper, focusing on difference in sensibility and specificity between spirometry and capnography or pulse-oxymetry. Some brief clinical cases are included.*

*Spirometry is very accurate in detecting ventilatory derangements in intubated patients, instead of capnography and pulse-oxymetry. Side Stream spirometry by Datex-Ohmeda enable anaesthetist to measure ventilation in very small patients, giving him a new tool in anaesthesia monitoring.*

## INTRODUZIONE

Un rapporto della Società Americana di Anestesia (ASA) ha stabilito che le complicanze di origine respiratoria rappresentano la classe singolarmente più numerosa di incidenti. Analogamente, in un articolo del 1987, Graven-

stein e collaboratori evidenziano efficacemente come alcune regolazioni dell'apparecchio d'anestesia e del ventilatore possano compromettere la corretta ventilazione del paziente, mettendone a repentaglio la sicurezza in corso d'anestesia, fornendo alcuni importanti accenni al paziente pediatrico.

Anche se la situazione in medicina umana non è certamente raffrontabile con la situazione in medicina veterinaria date le notevoli diversità nelle strategie anestesio-

“Articolo ricevuto dal Comitato di Redazione il 7/2/2002 ed accettato per pubblicazione dopo revisione il 15/3/2002”.

giche, tuttavia essa ci permette di focalizzare tutta una serie di problematiche specifiche che si possono riscontrare anche nell'anestesia dei piccoli animali. Va ricordato poi a tale proposito il risultato di uno studio multicentrico sulla mortalità intraoperatoria nel Regno Unito, eseguito da Dodman nel lontano 1977, che sottolinea come il mancato controllo delle vie aeree, e quindi una ventilazione insufficiente, sia una delle tre cause più frequenti di arresto cardiocircolatorio in corso di anestesia nei piccoli animali.

In un paziente sedato o anestetizzato, seppur intubato, si può mantenere una ventilazione ottimale solamente se si ha la possibilità di conoscere, e quindi di modificare al bisogno, i vari parametri ventilatori: la misurazione della ventilazione prende il nome di spirometria (Tab. 1).

Sebbene la spirometria sia stata inventata da Hutchinson nel lontano 1846, essa non è mai diventata una tecnica utilizzata di routine in anestesia e terapia intensiva, a causa della sua complessità, nemmeno in medicina. Solo negli ultimi anni si è assistito ad un notevole sviluppo della tecnologia e ad un rinnovato interesse da parte di alcuni settori specialistici della medicina, fattori concomitanti che hanno portato inevitabilmente all'immissione sul mercato di strumenti di monitoraggio sempre più piccoli e versatili. Tale rapida evoluzione è stata resa possibile soprattutto da un rapido progresso nella tecnologia dei sensori, componenti di importanza cruciale in qualsiasi apparecchio destinato al monitoraggio spirometrico.

Gli apparecchi più moderni quindi, oltre a fornire le classiche misurazioni in forma numerica del volume espiratorio e della frequenza respiratoria, misurano e visualizzano in forma d'onda molti altri parametri relativi a flussi, pressioni e volumi, consentendo una valutazione completa ed accurata dello stato ventilatorio del paziente.

È pur vero però che la maggior parte degli apparecchi utilizzati per il monitoraggio della ventilazione sono posti lontano dal paziente e quindi possono non esprimere dei valori reali. Tale problematica, già presente nel paziente adulto, risulta di ancora maggior importanza nel paziente neonatale e pediatrico, in cui i volumi sono più piccoli e quindi la possibilità di errore è maggiore, e si ripresenta a maggior ragione anche in medicina veterinaria dei piccoli animali.

La spirometria Side Stream della Datex-Ohmeda è attualmente l'unica disponibile sul mercato che esegue la misurazione dei parametri ventilatori con un prelievo vicino al paziente, e precisamente al tubo tracheale, eliminando i problemi legati alla misurazione lontano dal paziente di cui si è accennato precedentemente.

## SEDAZIONE E VENTILAZIONE

Qualsiasi farmaco induca sedazione od anestesia può indurre delle alterazioni della ventilazione, spesso non apprezzabili clinicamente.

Tali alterazioni della ventilazione possono anche essere indipendenti dai farmaci utilizzati e conseguire ad attività usualmente eseguite in soggetti sedati od anestetizzati, quali ad esempio particolari posizionamenti, procedure diagnostiche e/o terapeutiche specifiche, ecc.

Tra i molti farmaci abitualmente utilizzati a tale scopo in medicina veterinaria, e potenzialmente in grado di alterare l'attività ventilatoria del soggetto, ricordiamo:

- alfa-2 agonisti, benzodiazepine, ketamina, tiopentale, propofol da soli o in associazione, tra i sedativi e gli ipnotici;
- gli oppioidi, soprattutto gli agonisti derivati della morfina, tra gli analgesici;
- i bloccanti neuromuscolari, e talvolta gli anestetici locali, tra gli altri farmaci correlati.

Le principali alterazioni causate dai farmaci interessano la frequenza respiratoria e soprattutto i volumi respiratori (tidalico e, di conseguenza, minuto) e si sommano alla diminuzione della Capacità Funzionale Residua (FRC) normalmente associata all'anestesia: se non corrette possono condurre a gravi squilibri anche potenzialmente letali.

In base a queste premesse è facile comprendere come la maggior parte dei piccoli pazienti veterinari, quando in anestesia o in sedazione, non tragga beneficio dalla sola somministrazione di ossigeno ma necessiti altresì di un idoneo supporto ventilatorio.

La ventilazione assistita, quindi, si prefigge come obiettivi il miglioramento degli scambi gassosi, l'aumento del volume polmonare e la riduzione del lavoro respiratorio (obiettivi *fisiologici*), e di conseguenza la prevenzione di ipossiemia, ipercapnia, ipertensione endocranica e atelettasie, e la riduzione del consumo di ossigeno sistemico e miocardico (obiettivi *clinici*). Il raggiungimento di tali obiettivi presuppone obbligatoriamente la conoscenza approfondita delle condizioni del paziente e quindi delle sue necessità ventilatorie, la consapevolezza del significato dei valori di normalità dei principali parametri ventilatori e della rapida mutevolezza delle condizioni cliniche nel paziente sedato o in anestesia, la consapevolezza che l'iperdistensione polmonare è un importante fattore di danno polmonare e va assolutamente evitata erogando al paziente volumi e pressioni corretti.

Dato quindi il presupposto che l'obiettivo della ventilazione sia la normocapnia, anche se con le dovute eccezioni, tale condizione va ricercata intervenendo, quando necessario, sulle variabili della ventilazione, ricordando sempre che i valori di riferimento per la specie e la taglia sono puramente indicativi e che ogni nostro intervento, di qualsiasi natura esso sia, va accuratamente adattato alle necessità e alle risposte del singolo paziente. In quest'ottica si comprende come la spirometria risulti utile non solo durante ventilazione controllata od assistita, ma anche durante ventilazione spontanea. Quando il paziente respira spontaneamente essa fornisce infatti informazioni sull'adeguatezza della ventilazione misurando volumi corrente e minuto espiratori, frequenza respiratoria, e CO<sub>2</sub> di fine espirazione (ETCO<sub>2</sub>).

Nel presente articolo descriveremo caratteristiche ed applicazioni cliniche della spirometria facendo riferimento,

**Tabella 1**  
**Utilità della spirometria nel paziente in anestesia o sedazione (intubato)**

La Spirometria può essere utilizzata nei seguenti casi:

- Ventilazione controllata
- Ventilazione assistita:
  - manuale
  - meccanica
- Ventilazione spontanea

quando non specificato diversamente, all'apparecchio Datex-Ohmeda Capnomac Ultima, monitor multiparametrico che permette il monitoraggio di: ossimetria pulsatile; capnografia Side Stream; concentrazione di ossigeno, protossido ed agenti anestetici alogenati; MAC; spirometria Side Stream.

## LA SPIROMETRIA

La misurazione della ventilazione prende il nome di spirometria e si attua mediante uno strumento chiamato spirometro.

I moderni spirometri per il monitoraggio clinico del paziente hanno la possibilità di misurare e di derivare (o calcolare) moltissimi parametri, e rappresentano una naturale evoluzione tecnologica dei precedenti modelli che permettevano solamente il monitoraggio dei volumi espiratori e della frequenza respiratoria. Tali possibilità di monitoraggio assumono un'importanza fondamentale nel paziente ventilato meccanicamente, dal momento che una quantità notevole di parametri e regolazioni, quali ad esempio volume corrente, ventilazione minuto, frequenza respiratoria, tempo di pausa, PEEP, rapporto I:E, influenzano la ventilazione.

Parametri attualmente disponibili sono: volume corrente inspiratorio ed espiratorio, volume minuto inspiratorio ed espiratorio, pressione di picco delle vie aeree, pressione tele-inspiratoria o di plateau, pressione tele-espiratoria o PEEP, volume espirato nel primo secondo di espirazione, rapporto tra tempo inspiratorio ed espiratorio, compliance dinamica espressa in ml/cmH<sub>2</sub>O, frequenza respiratoria. Di tutti questi parametri sono inoltre disponibili i *trend* o *andamento nel tempo in forma grafica* e la registrazione automatica dei valori in forma numerica ad intervalli di tempo stabiliti dall'operatore. Oltre a tali parametri visualizzati in forma numerica sono disponibili, in tempo reale, anche i flussi e le pressioni delle vie aeree visualizzati in forma di tracciati continui, e i *loop* o *curve* pressione/volume e flusso/volume. Prenderemo ora in esame parametri e tracciati continui, spiegando per sommi capi modalità di misura e significato di ciascuno.

La modalità di misura, per tutti i parametri, è Side Stream: il campionamento avviene cioè vicino al paziente (generalmente al tubo tracheale) con un particolare dispositivo chiamato D-lite® (Pedi-lite® il dispositivo per pazienti pediatrici, cioè con volumi correnti compresi tra 15 e 300 ml) il quale è connesso attraverso un doppio tubo di campionamento all'apparecchio, all'interno del quale avviene la misurazione.

La differenza principale del monitor Datex-Ohmeda, ri-

spetto ai moderni sistemi correntemente utilizzati sugli apparecchi d'anestesia, consiste nel fatto che questi ultimi eseguono il campionamento, e quindi la misurazione dei parametri, lontano dal paziente (perlopiù all'interno dell'apparecchio d'anestesia): ciò porta ad errori anche notevoli nella misurazione, errori dovuti principalmente all'interposizione tra il paziente e l'unità di campionamento del sistema rappresentato dal circuito paziente (quello che connette il paziente all'apparecchio d'anestesia) e dal circuito interno dell'apparecchio d'anestesia stesso.

## Volume corrente o tidale (TV)

Vengono misurati ad ogni atto il volume sia inspiratorio che espiratorio, che in ventilazione controllata risultano differenti dal volume corrente impostato o dal volume corrente espiratorio misurato dall'apparecchio d'anestesia per i motivi precedentemente esposti.

## Volume minuto (MV)

Vengono misurati il volume sia inspiratorio, cioè erogato ai polmoni, che espiratorio, cioè espirato dal paziente, in un minuto. Volume corrente, volume minuto e frequenza respiratoria sono correlati l'un l'altro secondo l'equazione  $MV = RR \times TV$ : la ventilazione minuto, cioè, viene ottenuta sommando tutti i volumi correnti di un minuto.

## Frequenza respiratoria (RR)

Misura il numero di atti respiratori in un minuto.

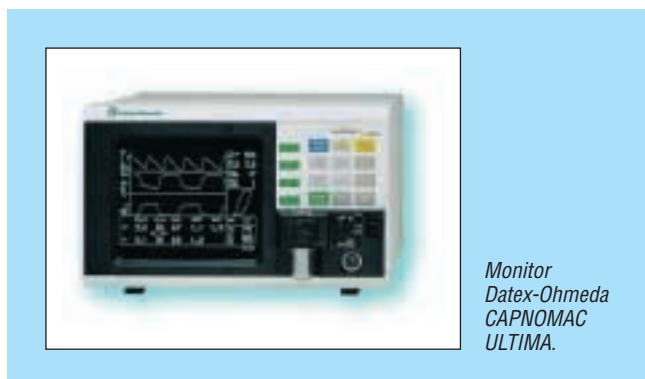
## Pressioni delle vie aeree

Vengono misurate la pressione di picco (Ppeak), la pressione raggiunta alla fine della fase inspiratoria o "pressione di plateau" (Pplat) e la pressione positiva di fine espirazione (PEEP).

La Ppeak è la pressione massima registrata nelle vie aeree durante il ciclo respiratorio, e assume importanza fondamentale in corso di ventilazione meccanica in quanto, se correttamente impostata, permette di evitare traumi da sovradiensione polmonare.

La Pplat è la pressione registrata nelle vie aeree alla fine della fase inspiratoria e permette, nella sua visualizzazione in forma di tracciato continuo, di evidenziare la pausa a fine inspirazione. Quest'ultima viene talvolta applicata nell'intento di favorire la distribuzione dei gas negli alveoli e quindi di migliorare l'efficienza degli scambi respiratori.

La PEEP (Positive End Expiratory Pressure) o pressione tele-espiratoria è la pressione che resta nelle vie aeree del paziente al termine dell'atto respiratorio ed è visualizzabile, oltre che come valore numerico, anche sul tracciato continuo. Essa viene applicata in condizioni cliniche particolari e con obiettivi ben precisi, e pertanto per comprenderne l'utilità e i principi che ne regolano l'applicazione rimandiamo alla consultazione di letteratura specializzata, come ad esempio un testo di anestesia oppure di ventilazione.



Monitor  
Datex-Ohmeda  
CAPNOMAC  
ULTIMA.

## Rapporto inspirazione:espirazione

Il rapporto I:E è la relazione temporale che intercorre tra inspirazione ed espirazione. Il valore tipico rapporto I:E 1:2 significa che il tempo espiratorio è il doppio del tempo inspiratorio. Se la frequenza respiratoria (RR) è 10 atti/min e I:E è 1:2, in assenza di pausa inspiratoria, il tempo inspiratorio è 2 secondi ed il tempo espiratorio è 4 secondi.

## Compliance

La compliance è un numero e misura la distensibilità di tutto il sistema toraco-polmonare, ma in condizioni standard dipende in massima parte dalle caratteristiche degli alveoli: in altre parole misura la capacità del sistema toraco-polmonare di modificare il proprio volume quando viene applicata una data pressione. Il monitoraggio del valore di compliance permette all'anestesista di seguire, respiro per respiro, le modificazioni che inevitabilmente si verificano durante la ventilazione meccanica del paziente.

La compliance viene visualizzata sullo schermo del monitor sia come valore numerico, la cui unità di misura è ml/cmH<sub>2</sub>O, sia come loop. Nella visualizzazione loop quando la compliance diminuisce l'inclinazione del loop pressione-volume tende verso l'asse orizzontale, ovvero è necessaria una maggiore pressione per erogare ai polmoni il volume dato. La formula per il calcolo della compliance è:

Compliance = volume tidale / pressione tele-inspiratoria – pressione tele-espiratoria

## Resistenza

La resistenza è la forza che tende ad ostacolare il flusso. Il parametro V 1.0 (%) è il volume espirato dal paziente nel primo secondo della fase espiratoria e indica la capacità del paziente di espirare normalmente. Il monitoraggio di V 1.0 (%) permette di controllare respiro per respiro le modificazioni delle resistenze delle vie aeree durante l'anestesia. Un aumento della resistenza delle vie aeree indica generalmente un'ostruzione delle vie respiratorie, fenomeno che può essere dovuto a presenza di secrezioni, broncospasmo, oppure inginocchiamento del tubo endotracheale. È necessario, soprattutto nel paziente critico, individuare precocemente la causa di aumento delle resistenze delle vie aeree al fine di evitare la sovradistensione polmonare e la diminuzione della disponibilità periferica di ossigeno (quest'ultima scarsamente evidenziabile con il monitoraggio dell'ossimetria pulsatile).

## Loop e tracciati

La rappresentazione grafica sia dei tracciati continui del flusso e della pressione sia dei loop pressione/volume e flusso/volume permette di individuare facilmente le variazioni nello stato ventilatorio del paziente. I loop contengono le stesse informazioni dei tracciati continui ma sono più facilmente interpretabili perché sfruttano la capacità del cervello umano di riconoscere un modello. Spesso è più facile cogliere un'alterazione in un unico tracciato chiuso, di cui tra l'altro si può memorizzare la forma standard per quel paziente

in quelle condizioni, piuttosto che in più tracciati lineari, e quindi aperti, contemporaneamente.

La Figura 1 presenta i tracciati continui di pressione e flusso in condizioni di ventilazione controllata standard e i relativi loop pressione/volume e flusso/volume, evidenziandone le componenti principali e associandole al ciclo ventilatorio. I loop permettono di identificare in modo rapido ed efficace le alterazioni di parametri come compliance e resistenza delle vie aeree, alterazioni che altrimenti risulterebbero non facilmente riconoscibili. Un loop "fisiologico" del paziente può essere conservato in memoria e venire rapidamente richiamato per un confronto con il loop attuale alla ricerca di eventuali alterazioni clinicamente significative.

Un rapido riconoscimento di uno stato evolutivo nella situazione ventilatoria del paziente permette di approntare velocemente delle manovre correttive prevenendo pericolosi scompensi.

## Trend

Qualsiasi moderno apparecchio di monitoraggio dispone di trend grafici e di trend numerici, i quali anche nel caso della spirometria Side Stream rappresentano una insostituibile fonte d'informazioni.

Mentre i trend grafici permettono di evidenziare con rapidità e precisione anche piccole alterazioni che si manifestino in corso di anestesia, i trend numerici invece forniscono dati esatti degli stessi parametri nello stesso intervallo temporale.

I trend quindi rappresentano una fonte d'informazione inesauribile e permettono di "recuperare" quanto accaduto anche a distanza di tempo, rivelando quindi una preziosa utilità sia per rivedere eventualmente il caso clinico a posteriori sia per compilare la cartella anestesiológica del paziente.

Esiste infatti la possibilità di collegare l'apparecchio di monitoraggio ad una stampante e trascrivere su carta tutto ciò che è stato registrato.

## APPLICAZIONI CLINICHE

Sebbene la CO<sub>2</sub> di fine espirazione (ETCO<sub>2</sub>) venga spesso proposta come un indicatore affidabile della ventilazione, non bisogna tuttavia dimenticare che essa è fortemente influenzata da alcune variabili, tra le quali ricordiamo perfusione periferica e quindi stato del cardiovascolare, temperatura del paziente, volumi respiratori. Tali variabili, già molto importanti nel paziente in ventilazione spontanea, assumono un'importanza anche maggiore nel paziente in ventilazione controllata. La CO<sub>2</sub> di fine espirazione (ETCO<sub>2</sub>) rappresenta quindi un indicatore indiretto della ventilazione, e ci può fornire un quadro attendibile dello stato ventilatorio del paziente solo a patto che vengano rispettate alcune premesse.

La spirometria al contrario offre la possibilità di misurare la ventilazione e pertanto, come tutti gli indicatori diretti, risulta assai più precisa e assai più rapida nel fornire al medico informazioni utili quando si debba decidere la strategia ventilatoria più appropriata per il paziente.

Per meglio comprendere l'insostituibile utilità della spirometria in campo clinico, con particolare riferimento alla pratica anestesiológica quotidiana e non quindi alla sola ricerca clinica, si ricorrerà ad alcuni brevi esempi clinici



## Caso 1. Ingincchiamento del tubo tracheale

In un cane sottoposto a chirurgia maxillofaciale in anestesia inalatoria e ventilazione controllata, improvvisamente durante l'intervento suona l'allarme che segnala una "pressione tele-inspiratoria (Ppeak) elevata". Il colpo

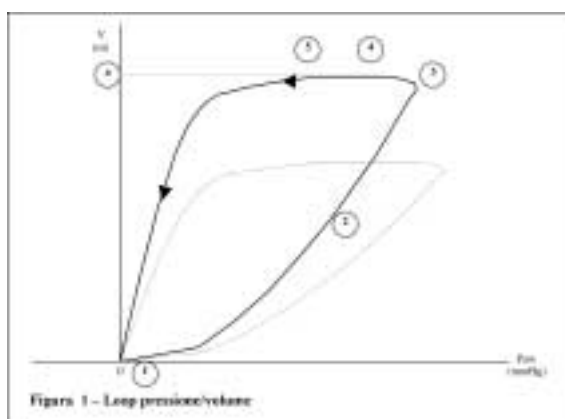


Figura 1 - Loop pressione/volume



Figura 1 - Tracciato continuo della pressione



Figura 1 - Loop flusso/volume

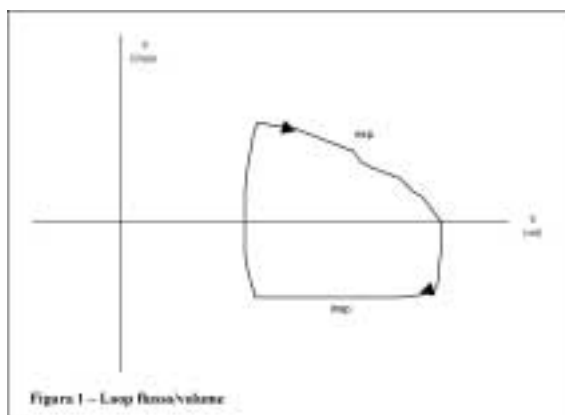


Figura 1 - Tracciato continuo del flusso

d'occhio sui loop pressione/volume e flusso/volume oltre all'analisi dei dati numerici della spirometria permettono di riconoscere una situazione di ostruzione delle vie aeree, come si può vedere in Figura 2. Si possono notare l'elevata pressione tele-inspiratoria ed il ridotto volume corrente, a cui segue una riduzione drammatica della compliance, riscontri strumentali caratteristici di un ingincchiamento del tubo tracheale e che sono riconoscibili con un semplice colpo d'occhio sul loop pressione/volume. Il loop flusso/volume evidenzia il caratteristico aumento della resistenza delle vie respiratorie.

Un rapido controllo al di sotto dei teli chirurgici permette di individuare un ingincchiamento del tubo tracheale probabilmente dovuto ad uno spostamento della testa del paziente in seguito alle manovre chirurgiche.

Nel caso di un paziente in ventilazione spontanea il riscontro più evidente sarebbe stato una riduzione marcata ed improvvisa del volume corrente con conseguente modificazione significativa del loop pressione/volume (Fig. 2 bis).

Tale situazione è difficilmente riconoscibile in tempi brevi se non si dispone del monitoraggio spirometrico, dal momento che:

- la testa del paziente non è facilmente accessibile all'anestesista per la presenza del campo operatorio;
- la diagnosi clinica di una diminuzione del volume corrente (riduzione dell'espansione della gabbia toracica) è molto spesso assai difficile, soprattutto nel cane e nel gatto, per molteplici ragioni;
- il monitoraggio capnografico (ETCO<sub>2</sub>) può, in questo caso, non fornirci alcuna indicazione utile, mentre l'ossimetria pulsatile non risulta di alcun aiuto;
- le possibili cause di aumento della pressione tele-inspiratoria sono molteplici e non tutte facilmente e rapidamente riconoscibili.

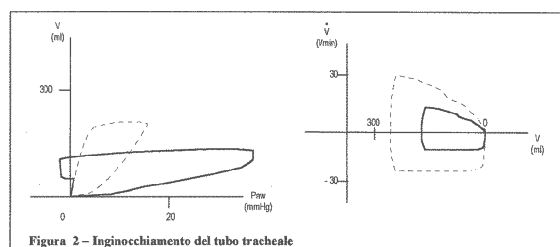


Figura 2 - Ingincchiamento del tubo tracheale

	CO <sub>2</sub> (mmHg)	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	MAC	RR
ET	37	87	0	0.89	10
FI	1	I-E 5.6	0	0.96	85
					Sp O <sub>2</sub> 98

	insp	exp	Ppeak	PEEP	IE
TV (ml)	135	129	(cmH <sub>2</sub> O) 42	(cmH <sub>2</sub> O) 1	1:2.7
WV (l/min)	1.2	1.2	Pplat (cmH <sub>2</sub> O) 40	V 10 (%) 47	C (ml/cmH <sub>2</sub> O) 3

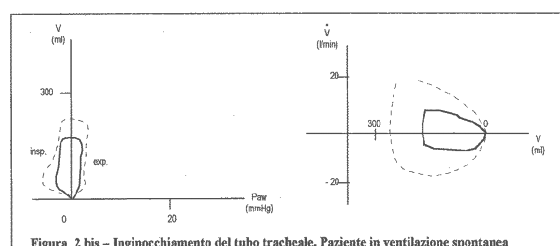


Figura 2 bis - Ingincchiamento del tubo tracheale. Paziente in ventilazione spontanea

## Caso 2. Accidentale ventilazione monopolmonare

Un gatto da sottoporre a chirurgia oculistica, per l'esecuzione della quale il chirurgo ha richiesto l'utilizzo di un farmaco bloccante neuromuscolare, viene mantenuto in anestesia inalatoria e ventilazione controllata. Una volta che il paziente è stato collegato all'apparecchio d'anestesia ed è stato preparato per l'intervento, il chirurgo sceglie il posizionamento più idoneo per l'intervento e successivamente l'anestesista controlla posizione e pervietà del tubo tracheale di Murphy prima che venga preparato il campo chirurgico. Subito prima di iniziare l'intervento, attraverso i teli chirurgici già fissati, il chirurgo decide di modificare leggermente la posizione della testa del paziente. A questo punto la spirometria restituisce i loop e i valori della Figura 3, mentre l'ossimetria pulsatile (con  $\text{FiO}_2$  del paziente pari a 82%) e la capnografia risultano invariate.

Il loop a linea tratteggiata rappresenta la situazione precedente allo spostamento del paziente quando il tubo tracheale è correttamente posizionato ed entrambi i polmoni sono ventilati, mentre il loop a linea continua rappresenta la situazione dopo lo spostamento quando il tubo tracheale è accidentalmente scivolato verso il basso e viene ventilato un solo polmone. In questo caso di ventilazione di un solo polmone a parità di volume corrente la pressione tele-inspiratoria (Ppeak) ha raggiunto 21  $\text{cmH}_2\text{O}$ , rispetto ai 10  $\text{cmH}_2\text{O}$  in situazione normale.

Tale situazione è difficilmente riconoscibile in tempi brevi se non si dispone del monitoraggio spirometrico, dal momento che:

- la diagnosi clinica di intubazione monopolmonare (espansione di un solo emitorace, con murmure respiratorio omolaterale) può risultare difficile, e viene resa spesso problematica dalla presenza del campo chirurgico;
- il monitoraggio capnografico ( $\text{ETCO}_2$ ) può, in questo caso, non fornirci alcuna indicazione utile;
- l'ossimetria pulsatile è un indicatore indiretto utile ma spesso tardivo (rischio di sovradistensione polmonare), a patto che il paziente non venga ventilato con percentuali inspiratorie di ossigeno elevate ( $\text{FiO}_2$

superiore al 70-80%); in tal caso si dimostra un indicatore assai poco sensibile;

- le possibili cause di aumento della pressione tele-inspiratoria sono molteplici e non tutte facilmente e rapidamente riconoscibili.

## Caso 3. Perdita tra il sensore Side Stream e il paziente; perdita dalla cuffia

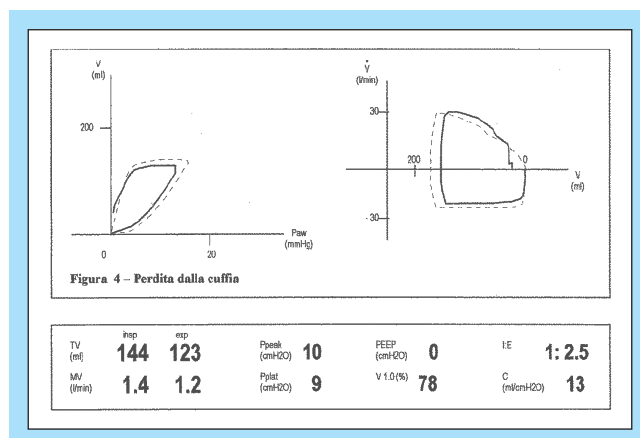
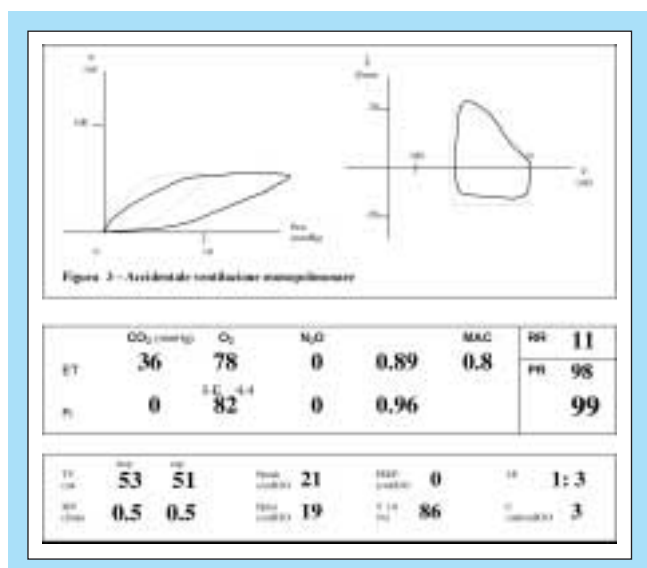
La comparsa di perdite nel circuito di anestesia è evento molto comune e difficilmente rilevabile in assenza di monitoraggio spirometrico. La perdita più comune avviene per una scarsa tenuta della cuffia tracheale o a seguito dell'utilizzo di un tubo tracheale sprovvisto di cuffia (come nel caso di pazienti di dimensioni esigue): nel caso di un paziente in ventilazione controllata vi sarà perdita di gas durante l'inspirazione che porterà ad una notevole differenza tra volume corrente inspiratorio e volume corrente espiratorio, caratterizzata graficamente in modo chiaro ed immediato da un loop aperto (Fig. 4).

## Caso 4. Insufficiente rilassamento muscolare v/s paziente che inizia a respirare spontaneamente

Il loop pressione/volume è un indicatore molto sensibile dell'adattamento del paziente all'apparecchio d'anestesia, tanto da dimostrarsi più sensibile del monitoraggio della curarizzazione in pazienti in cui vengano utilizzati farmaci di blocco neuromuscolare.

Quando il paziente non è ben adattato all'apparecchio d'anestesia, indipendentemente dalla causa, si possono notare delle irregolarità nel loop pressione/volume come mostrato in Figura 5, effetto di movimenti diaframmatici non sincroni con l'apparecchio stesso.

Il loop della Figura 6, invece, indica che il paziente è disadattato, cioè in altre parole respira contro l'apparecchio d'anestesia: è un fenomeno normale al termine di un'anestesia condotta in ventilazione controllata, e ci indica quando passare ad una modalità di ventilazione di tipo assistito, ma va assolutamente evitato in corso d'anestesia perché provoca riempimento irregolare dei polmoni, con tutto ciò che ne consegue, e può interferire con l'atto operatorio. È simile, ma non uguale, al loop di un paziente in ventilazione assistita con trigger inspiratorio.



## Caso 5. Utilità della spirometria durante ventilazione manuale

La spirometria permette di controllare l'adeguatezza della ventilazione nel paziente in respiro spontaneo e si è rivelata utile nell'apprendimento della tecnica corretta di ventilazione manuale od assistita (apnee transitorie, risveglio, ecc.).

In corso di ventilazione assistita manuale l'insufflazione deve avvenire dopo che ha avuto inizio una normale inspirazione ad opera del paziente. In questo modo si riescono a mantenere volumi e flussi adeguati in un paziente che pur respirando spontaneamente presenta depressione respiratoria dal momento che non riesce ad espandere correttamente.

La Figura 7 mostra un loop registrato precedentemente, durante ventilazione controllata, e il loop attuale in ventilazione assistita manuale. Si può notare come l'insufflazione manuale al momento sbagliato non dia luogo ad un aumento del volume corrente, esitando in una ventilazione insufficiente.

La Figura 8 mostra una ventilazione manuale eseguita con successo: con tale monitoraggio strumentale i tempi e le modalità di applicazione dell'insufflazione manuale risultano intuitivi, laddove non lo sono in caso di monitoraggio clinico.

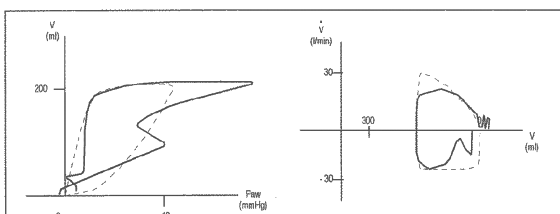


Figura 5 - Paziente non adattato al ventilatore

TV (ml)	210	204	P <sub>peak</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	22	PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	-2	IE	1:0.7
MV (l/min)	2.0	2.0	P <sub>plateau</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	21	V <sub>I</sub> (%)	87	C (ml/cmH <sub>2</sub> O)	9

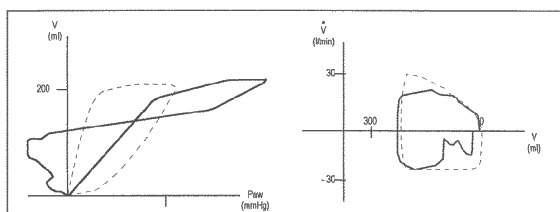


Figura 6 - Paziente che contrasta il ventilatore

TV (ml)	220	216	P <sub>peak</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	22	PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	+1	IE	1:0.7
MV (l/min)	2.0	2.0	P <sub>plateau</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	20	V <sub>I</sub> (%)	85	C (ml/cmH <sub>2</sub> O)	11

## l'arma vincente contro le otiti.

**perché...**

Surolan è l'associazione vincente di Miconazolo e Polimixina B

**perché...**

Surolan utilizza un veicolo studiato per ottimizzare la diffusione.

il prodotto non aderisce ma diffonde bene in tutto il condotto uditivo in modo da trattare in modo uniforme tutte le zone colpite.



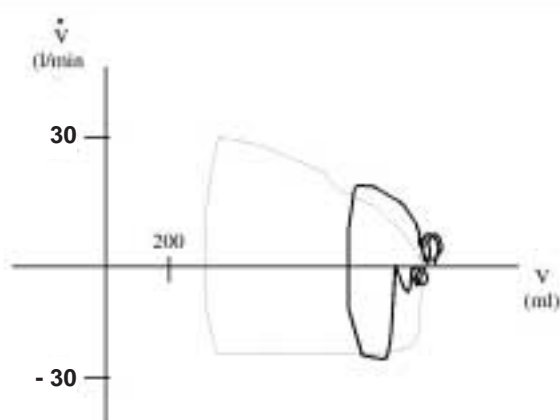
marchio registrato



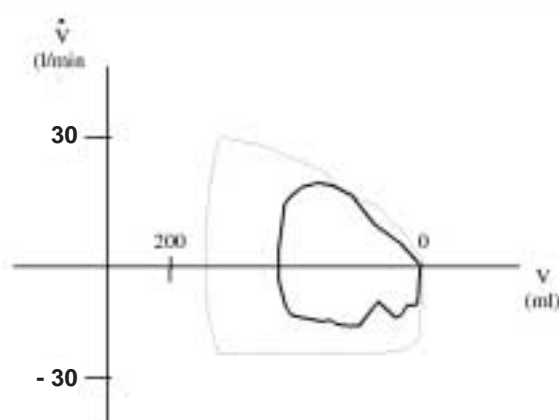
JANSSEN-CILAG SpA

Via Michelangelo Buonarroti, 23 • 20093 Cologno Monzese • Tel. 0225101 - Fax 0226708196





**Figura 7 – Ventilazione assistita manuale inefficace**



**Figura 8 – Ventilazione assistita manuale efficace**

## CONCLUSIONI

La spirometria misura i parametri della ventilazione, e quindi permette un monitoraggio sensibile ed accurato dello stato ventilatorio del paziente intubato: ciò permette di correggere prontamente situazioni ventilatorie anomale e di prevenire così complicanze secondarie.

La spirometria Side Stream, attualmente commercializzata solo da Datex-Ohmeda, eseguendo il campionamento vicino al paziente, permette di eliminare gli inconvenienti che si verificano con gli apparecchi di concorrenza quando si esegue il monitoraggio in pazienti di piccole dimensioni (pediatrici e neonatali): ciò risulta di fondamentale importanza alla luce delle dimensioni dei nostri pazienti, assimilabili a quelle di un neonato o di un bambino.

La spirometria poi mostra la sua insostituibile utilità ed efficacia in situazioni particolari, quali ad esempio depressione respiratoria, ostruzioni delle vie aeree, broncospasmo, ventilazione monopolmonare, deconnessione del paziente dall'apparecchio d'anestesia, paziente che contrasta le manovre ventilatorie e ventilazione manuale assistita, come è stato in parte illustrato nei casi clinici.

## Ringraziamenti

Si ringrazia il Sig. Mario Infanti (RESMI Medical srl, via S. Crispino 24, 35010 Perarolo di Vigonza - PD) per la fornitura dell'apparecchio Datex-Ohmeda Capnomac Ultima utilizzato per il monitoraggio clinico nel corso dello studio e per il supporto tecnico.

Si ringrazia ISVRA – Italian Society of Regional Anaesthesia and Pain Medicine ([www.isvra.org](http://www.isvra.org)) per il supporto scientifico e tecnico.

## Note

L'autore dell'articolo dichiara di non avere interessi economici nello studio eseguito.

## Parole chiave

Anestesia, complicanze, Loop, pressione delle vie aeree, Side Stream, spirometria, ventilazione, volume minuto.

## Key words

Anaesthesia, complications, Loop, airway pressure, Side Stream, spirometry, ventilation, minute ventilation.

## Bibliografia

1. Bardoczky GI, de Vries J, Meriläinen P, et al. Side Stream Spirometry. Datex Division Instrumentarium Corp., Helsinki Finland.
2. Bardoczky, Hollander. Continuous monitoring of the flow-volume loops and compliance during anaesthesia. J Clin Monit 1992; 8(3):251-252.
3. Bedford PGC. Small animal anaesthesia. The increased risk patient. Balliere Tindall, 1991.
4. Dodman NH. Feline anaesthesia survey. J Small Anim Pract 1977; 18:653-658.
5. Gravenstein N, et al. Tidal volume changes due to the interaction of anaesthesia machine and anaesthesia ventilator. J Clin Monit 1987; 3(3):187-190.
6. Hartsfield SM. Airway management and ventilation. In: Thurmon JC, Tranquilli WJ, Benson GJ (eds). Lumb & Jones' anaesthesia. William & Wilkins, 1996, pp 515.
7. Hedenstierna G. Fisiologia cardiorespiratoria applicata: modificazioni respiratorie in corso di anestesia. In: Romano E (ed). Anestesia generale e speciale. Torino: UTET, 1997, pp 12-17.
8. McDonnell W. Respiratory system. In: Thurmon JC, Tranquilli WJ, Benson GJ (eds). Lumb & Jones' anaesthesia. William & Wilkins, 1996, pp 115.
9. Nunn JF. Applied respiratory physiology. Butterworths: London 1993, 4th edition, pp 403-413.
10. Paddleford RR, Harvey RC. Anesthesia for selected diseases. In: Thurmon JC, Tranquilli WJ, Benson GJ (eds). Lumb & Jones' anaesthesia. William & Wilkins, 1996, pp 766.
11. Romano E, Auci E. Il sostegno meccanico della ventilazione. In: Romano E (ed). Il malato critico. Torino: UTET, 2000, pp 252-291.
12. West JB. Respiratory physiology. The essentials. Lippincott, 2000.