

## **Nozioni elementari sui modelli di ventilazione**

U. Corbanese



**Conegliano, Novembre 2003**

## **INTRODUZIONE. Che cosa fa il ventilatore?**

Il ventilatore sostituisce, in parte od in tutto, l'attività dell'insieme sistema nervoso - muscoli respiratori - gabbia toracica nell'assicurare un sufficiente volume minuto di ventilazione alveolare. In particolare si sostituisce ai muscoli respiratori nel produrre la differenza di pressione transpolmonare che permette ai polmoni di riempirsi d'aria.

I muscoli inspiratori contraendosi normalmente provocano una diminuzione della pressione intrapleurica (di qualche cm H<sub>2</sub>O) che trasmettendosi al polmone lo fanno a sua volta espandere. Il ventilatore meccanico al contrario aumenta la pressione nelle vie aeree forzando l'aria nei bronchi. In entrambi i casi si produce un aumento del volume polmonare che nel primo caso si verifica con minima o assente variazione della pressione nel torace, nel secondo caso invece si accompagnerà ad un aumento della pressione endotoracica direttamente proporzionale alle resistenze nelle vie aeree (come nell'asma), ed inversamente proporzionale alla distensibilità del complesso polmone-parete toracica (compliance). I pazienti sani in anestesia e quelli con malattie del sistema nervoso centrale hanno una compliance normale (80-100 mL /cm H<sub>2</sub>O), quelli in edema polmonare, con gravi deformità della colonna o fibrosi polmonare hanno una distensibilità ridotta (< 30-40), gli enfisematosi possono avere una distensibilità aumentata.

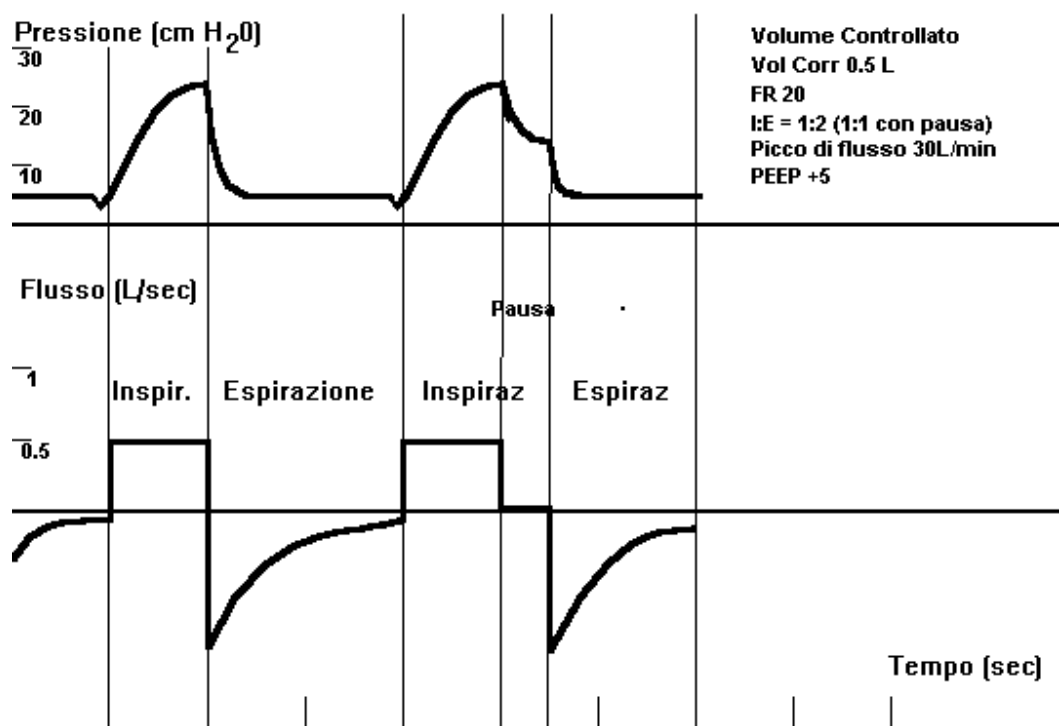
Il ventilatore è invece inutile nella fase di espirazione che avviene passivamente. Può addirittura ostacolare l'espirazione se la fase espiratoria è troppo breve, provocando un progressivo accumulo di gas nei polmoni con un aumento inapparente della pressione endotoracica che si chiama autoPEEP. Ciò avviene più frequentemente nei pazienti con resistenze nelle vie aeree alte, o quando la frequenza respiratoria è aumentata.

Tradizionalmente si distinguono ventilatori generatori di flusso, nei quali il flusso di gas si mantiene costante indipendentemente dalle resistenze del paziente (resistenze interne al ventilatore superiori a quelle nelle vie aeree) (ventilatori volumetrici), e generatori di pressione in cui il flusso è variabile e fortemente influenzato dalle resistenze del sistema respiratorio (fluidici). I ventilatori moderni impiegati in Rianimazione e nella Ventilazione Invasiva Domiciliare (VID) sono sostanzialmente dei generatori di flusso ma possono essere utilizzati anche come generatori di pressione, i ventilatori dei nostri apparecchi d'anestesia sono dei fluidici controllati da computer, e nonostante possano ventilare sia a volume che a pressione controllata, mantengono i limiti dei fluidici. In modo schematico il ventilatore è quindi una pompa (pensate ad una specie di stantuffo che si muove avanti ed indietro in un cilindro), connessa al paziente da un sistema di tubi e valvole che consentono il ritmico gonfiarsi e sgonfiarsi dei polmoni.

Per comprendere meglio i modi nei quali vengono ventilati i pazienti è opportuno introdurre il significato di alcuni dei parametri che possono essere regolati sui nostri ventilatori, osservando un tracciato delle curve di pressione e flusso nelle vie aeree del paziente (figura 1): alla fine di questo testo un glossario definisce i termini in corsivo nel testo.

**Flusso:** È il volume di fluido (gas nel nostro caso) che passa attraverso un condotto nell'unità di tempo. Si misura generalmente in L/min o L/sec. Per esempio, se il flusso di picco di un respiratore è di 1 L/sec (60 L/min), questo significa che per avere un Volume Corrente di 500 mL il Tempo Inspiratorio deve durare 0.5 sec. Nei ventilatori è sovente possibile modificare nel tempo il flusso istantaneo ottenendo curve di flusso di forma diversa, ma più comunemente si usa un'onda quadrata, cioè con flusso costante durante tutto l'inspirio. Nei ventilatori degli apparecchi d'anestesia in uso presso il nostro Ospedale e in quelli domiciliari raramente il flusso è regolabile, ma se ne può calcolare il valore conoscendo tidal volume, frequenza respiratoria e rapporto I:E.

**Frequenza respiratoria:** (FR) Numero di atti respiratori al minuto. Possiamo distinguere una Frequenza Impostata (o mandatoria od obbligatoria), che è quella erogata dal ventilatore sia che il paziente lo voglia oppure no (come in volume controllato), ed una Frequenza Spontanea che è quella dovuta agli sforzi del paziente. In alcuni modelli di ventilazione nei quali al paziente è concesso di re-



**Figura 1: Andamento nel tempo (in ascissa ad ogni tacca corrisponde 1 sec) di Pressione e Flusso in un paziente ventilato in volume controllato senza e con pausa inspiratoria**

spirare spontaneamente tra gli atti mandatori (SIMV per es.) le caratteristiche degli atti mandatori e spontanei possono differire moltissimo in termini di flussi, pressioni, volumi correnti.

**Volume corrente:** (Vol Corr) Volume di gas che entra ed esce dai polmoni ogni atto respiratorio (Ingl. *Tidal volume*).

**Volume minuto:** (Vol Min) Volume di gas che entra ed esce dai polmoni durante un minuto. Il dato impostato può essere calcolato moltiplicando Volume Corrente x Frequenza Respiratoria.

**Periodo respiratorio:** È un concetto teorico che si adatta bene soprattutto ai pazienti in ventilazione controllata, curarizzati. È il tempo necessario a completare inspirazione (compresa la pausa inspiratoria, se c'è) ed espirazione. Si misura in sec, e si calcola dividendo 60 per la frequenza impostata. Con 15 di frequenza respiratoria il periodo è pertanto di 4 sec. È utile per farsi un'idea del rapporto inspirazione/espirazione.

**Rapporto inspirazione/espirazione:** (I:E) Rapporto che esprime come il periodo respiratorio è suddiviso nelle sue due componenti: tempo inspiratorio e tempo espiratorio. Quanto più alto è il picco di flusso tanto più piccolo è il rapporto I:E. In respiro spontaneo nei pazienti sani tempo inspiratorio ed espiratorio all'incirca si equivalgono: I:E = 1:1. In ventilazione meccanica ordinariamente la fase inspiratoria (che è attiva) è tenuta più breve della fase espiratoria che è passiva, questo per consentire la fuoriuscita dai polmoni di tutto il volume corrente (I:E = 1:2). Questo è particolarmente necessario nei pazienti con resistenze delle vie aeree elevate (asmatici) in cui si usano lunghi tempi espiratori per consentire il completo svuotamento dei polmoni sovradistesi (I:E ≈ 1:3 - 1:5) riducendo la PEEP intrinseca tipicamente elevata presente in questo tipo di pazienti. Al contrario, quando vi sono gravi problemi di ossigenazione, un rapporto I:E invertito (I:E ≈ 2:1) può, aumentando la pressione media delle vie aeree, contribuire a migliorare l'ossigenazione: in questo caso la PEEP intrinseca va attentamente monitorata in quanto questo tipo di ventilazione la fa aumentare molto. Aumentare la fase inspiratoria (ridurre il picco di flusso) fa generalmente diminuire la pressione di picco inspiratorio mentre non necessariamente riduce la pressione media. D'altra parte l'uso di un alto

picco di flusso ( rapporto I:E piccolo cioè I:E $\leq$ 1:3) può aiutare ad adattare un paziente molto dispnoico.

**Pressione di picco:** (PPicco) Massima pressione nelle vie aeree raggiunta durante l'insufflazione. È un parametro rilevante nelle ventilazioni a volume controllato: un suo aumento può stare ad indicare la comparsa di problemi acuti gravi, anche di tipo meccanico: broncospasmo serrato, ostruzioni del tubo tracheale, pneumotorace iperteso! Se la pressione di picco raggiunge il limite massimo di pressione impostato il ventilatore apre immediatamente la valvola espiratoria: questo è praticamente l'unico caso in cui in ventilazione a volume controllato il volume corrente ed il volume minuto stabiliti non vengono raggiunti causando ipoventilazione. Attualmente si tende a non permettere alla pressione di picco di superare i 35 cm H<sub>2</sub>O (ed a quella di plateau i 30 cm H<sub>2</sub>O), per evitare di danneggiare il polmone e ridurre il rischio di barotrauma (pneumomediastino, pneumotorace ecc) e questo ha portato ad ampliare le indicazioni delle ventilazioni a pressione controllata.

**Pressione di plateau:** (o di pausa)(PPausa) è la pressione nelle vie aeree alla fine della pausa inspiratoria (se c'è la pausa).

Quando non è impostata la pausa, la PPausa si misura con una manovra di occlusione a fine dell'inspirazione. E' un dato molto importante perché, a differenza della pressione di picco che è soprattutto sensibile alla riduzione del calibro delle vie aeree (e del tubo), questa ci dà un'idea delle condizioni del parenchima polmonare. Sarà infatti alta nei polmoni duri (ARDS, edema polmonare), normale nei polmoni sani (postoperati di elezione), bassa negli enfisematosi. È parametro indispensabile per misurare la compliance statica.

**PEEP:** Positive End Expiratory Pressure. La pressione nelle vie aeree alla fine dell'espirazione e fino al successivo inspirio. Misurata prossimalmente (cioè vicino alla bocca del paziente).

**Trigger:** E' il meccanismo che permette al paziente di ottenere dal ventilatore un atto respiratorio aggiuntivo. Nei ventilatori tradizionali il trigger si attiva quando, tentando un inspirio, il paziente porta la pressione delle vie aeree al di sotto del valore impostato. I ventilatori più recenti invece hanno trigger attivati anche da variazioni di flusso nel circuito respiratorio: questi ultimi sistemi sono più sensibili dei precedenti e *dovrebbero* ridurre lo sforzo del paziente. Se c'è una PEEP intrinseca la depressione nelle vie aeree che il paziente deve creare per avere un atto respiratorio aggiuntivo è uguale alla somma della PEEP intrinseca e della sensibilità impostata del trigger: se PEEP intrinseca è molto alta (anche 20-25 cm H<sub>2</sub>O negli asmatici), il paziente potrà non essere capace di "triggerare" il ventilatore!

Con in mente questi concetti andiamo a vedere in pratica i modelli di ventilazione più comuni.

### **Ventilazione meccanica a VOLUME CONTROLLATO (figura1)**

Viene impostato un *volume corrente* ed una *frequenza respiratoria* (Bennett 7200, Servo 300, Amadeus, apparecchi d'anestesia) o un *volume minuto* ed una *frequenza respiratoria* (Servo 900 C), FIO<sub>2</sub> ed eventualmente *PEEP*. Il flusso è generalmente costante (quadro) durante l'inspirazione, la pressione nelle vie aeree aumenta progressivamente fino alla chiusura della valvola inspiratoria. Anche se spesso non indicato in cartella, viene **di fatto** settato anche un rapporto I:E ed eventualmente una pausa inspiratoria. Questo tipo di ventilazione garantisce l'erogazione del volume corrente impostato anche a costo di raggiungere pressioni nelle vie aeree molto elevate: in questo senso può causare lesioni da barotrauma (pneumotorace iperteso) che possono mettere a IMMEDIATO RISCHIO la vita del paziente, per cui si consiglia di regolare l'allarme di pressione massima nelle vie aeree non troppo in alto (non più di 45 - 50 cm H<sub>2</sub>O). Infatti, quando la pressione nelle vie aeree raggiunge il limite prefissato l'insufflazione cessa e la valvola che consente l'espirazione si apre consentendo alla pressione intratoracica di scendere. Il raggiungimento del limite massimo di pressione è l'unica situazione nella quale una ventilazione a volume controllato non garantisce il tidal ed il volume minuto.

La presenza di una pausa (che spesso non usiamo) riduce ulteriormente il tempo espiratorio, e può pertanto favorire il formarsi di una *PEEP intrinseca*.

Al paziente viene in genere concesso di avviare dei cicli respiratori attivando un sistema di sensori denominato *trigger*: in questo caso si parla di ventilazione Assistita/Controllata.

Questo tipo di ventilazione è appropriata solo per i pazienti ben adattati al ventilatore: siccome la macchina garantisce di erogare il *volume corrente* nel corso del *tempo inspiratorio* impostato, il tempo inspiratorio diviene comunque un dato non variabile e quindi, se il paziente porta la sua frequenza al di sopra di quella impostata, i nuovi atti andranno complessivamente a ridurre i tempi espiratori. Mentre Bennett 7200, Servo 300 e Amadeus segnalano atto per atto il *rapporto I:E*, sul Servo 900C manca la possibilità di monitorare questo importante parametro. Può pertanto mancare la possibilità di monitorare questo importante parametro, ciononostante questa situazione deve essere sospettata. Per esempio se impostiamo una *frequenza respiratoria* di 20 ed un I:E di 1:2 ed il paziente "*triggera*" fino a portare la frequenza a 30/min il vero rapporto I:E non sarà più 1:2 ma 1:1. La riduzione del *tempo espiratorio* potrà causare un ostacolo all'espirazione con sovradistensione del polmone che atto per atto non riesce a svuotarsi completamente portando al fenomeno dell'iperinflazione dinamica ed alla formazione della *PEEP intrinseca*.

*A che cosa stare attenti?*

Per i motivi sopra riportati incrementi della pressione massima nelle vie aeree devono essere segnalati perché potrebbero essere la spia della comparsa di complicanze temibili (broncospasmo, ostruzione del tubo, PN<sub>X</sub>). L'aumento stabile di *frequenza respiratoria* e *volume minuto* spia di disadattamento al ventilatore vanno valutate soprattutto alla luce del loro effetto sul ciclo respiratorio, con la possibilità di creazione di *PEEP intrinseche* elevate soprattutto in pazienti già con problemi di resistenze respiratorie elevate (Asma, COPD).

*Settaggio*

**Vol Corr x FR (Vol Min / FR, Servo 900C)**

**O<sub>2</sub>**

**(PEEP)**

**I:E**

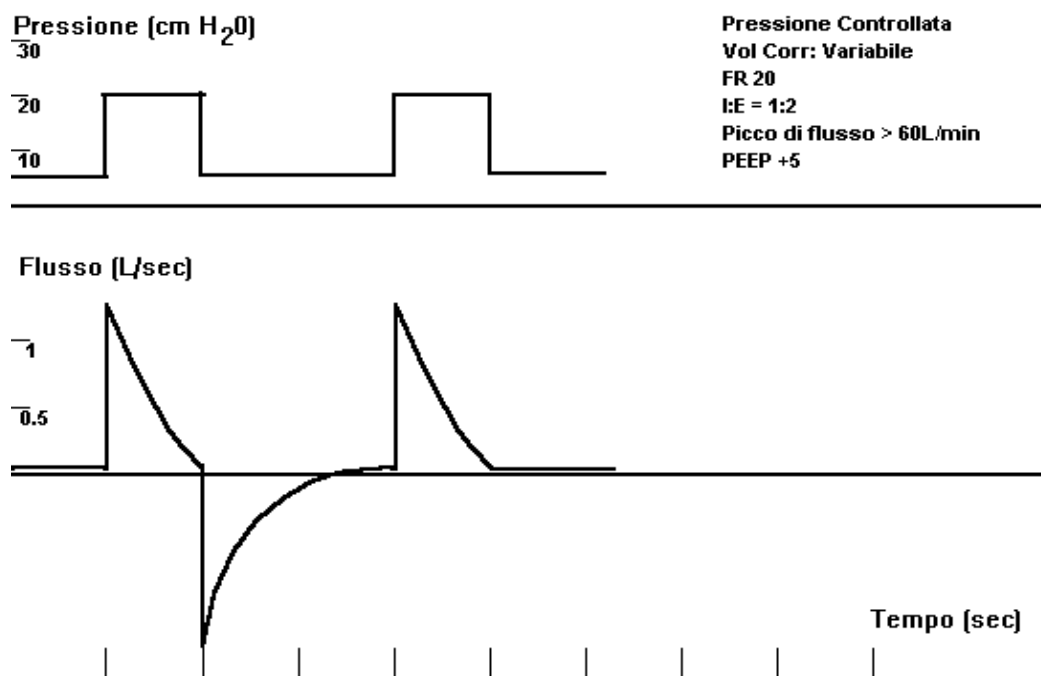
*Monitoraggio periodico*

**Vol Min**

**(PEEP)/PPicco**

## **Ventilazione meccanica a PRESSIONE CONTROLLATA** (figura 2)

Viene impostata una *Pressione Controllata* (Bennett 7200, Servo 300, Amadeus, apparecchi d'anestesia) o una *Pressione Inspiratoria* (Servo 900C), una *Frequenza Respiratoria* ed un *Rapporto I:E*, *FIO<sub>2</sub>* ed eventualmente *PEEP*. La pressione rimane costante durante tutta l'inspirazione, il flusso alto all'inizio decresce progressivamente nel tempo. Il ventilatore garantisce che la pressione nelle vie aeree non superi il valore impostato. Questo dovrebbe ridurre i rischi di barotrauma (PN<sub>X</sub>), e sembra possa ottenere una migliore ossigenazione grazie al fatto che il flusso inspiratorio è decelerato. Va sottolineato che il ventilatore non garantisce volume corrente e volume minuto che pertanto vanno attentamente monitorati regolando gli allarmi di *Volume Minuto* minimo e massimo molto vicini al valore desiderato. Infatti, se le *resistenze delle vie aeree* aumentano (broncospasmo, ostruzione tubo) e/o se la *compliance* (peggioramento ARDS) si riduce, a parità di pressione di pressurizzazione il *volume corrente* si ridurrà portando, in assenza di aumento della frequenza respiratoria, ad ipoventilazione. Al contrario, la riduzione delle *resistenze* (tubo tracheale sostituito con tracheotomia) e/o l'aumento della *compliance* (risoluzione di un edema polmonare) porterà ad un aumento di *volume corrente* e *volume minuto*. Come per il volume controllato, questo tipo di ventilazione è appropriata



**Figura 2: Ventilazione a pressione controllata**

solo per i pazienti ben adattati al ventilatore: siccome la macchina garantisce di erogare la *pressione controllata* nel corso del *tempo inspiratorio* impostato, il tempo inspiratorio diviene comunque un dato non variabile e quindi, se il paziente porta la sua frequenza al di sopra di quella impostata i nuovi atti andranno complessivamente a ridurre i tempi espiratori (vedi sopra: volume controllato). Va segnalato che con questo tipo di ventilazione possono essere gestite situazioni di ventilazione dove la tenuta pneumatica del circuito è insufficiente (cuffie rotte, tubi non cuffiati in pazienti pediatrici ecc).

*A che cosa stare attenti?*

Per i motivi sopra riportati variazioni di *volume minuto* rispetto ai valori ottenuti con il settaggio iniziale indicano variazione o delle resistenze delle vie aeree e/o della compliance toracica, e quindi vanno segnalate, anche per il rischio di andar incontro ad ipo- o iper-ventilazione. L'aumento stabile di frequenza respiratoria, spia di disadattamento al ventilatore, va segnalato soprattutto alla luce del loro effetto sul ciclo respiratorio con la possibilità di creazione di PEEP intrinseche elevate soprattutto in pazienti già con problemi di resistenze respiratorie elevate (Asma, COPD).

*Settaggio*

**PC x FR (PS x FR, Servo 900C)**

**O<sub>2</sub>**

**(PEEP)**

**I:E**

*Monitoraggio periodico*

**Vol Min**

**FR**

## Ventilazione con SUPPORTO DI PRESSIONE

Viene impostata una *pressione di supporto*, la  $FIO_2$  ed eventualmente una *PEEP*. L'atto respiratorio viene iniziato da un tentativo del paziente di inspirare, il ventilatore eroga immediatamente un flusso inspiratorio molto grande fino ad ottenere la pressione di supporto impostata, questa pressione viene mantenuta costante per tutto il tempo durante il quale il paziente inspira o finché il flusso inspiratorio, che come in tutti i modi pressometrici è decelerato, non scende al di sotto all'incirca del 20% del flusso di picco iniziale. È importante che il *trigger* sia regolato adeguatamente, tenendo eventualmente conto dell'autoPEEP del paziente, in modo che questi abbia la possibilità di "pilota-re" il suo ventilatore. La frequenza respiratoria dipende dal paziente, ed in particolare dal *drive* respiratorio centrale (dal suo "*bisogno d'aria*"). Il *volume corrente*, come nella pressione controllata, dipende dalle *resistenze delle vie aeree* e dalla *compliance*, e quindi la pressione di supporto va regolata in modo da ottenere il *volume corrente* e la *frequenza respiratoria* appropriati. Generalmente aumentando la pressione di supporto e quindi il volume corrente, la frequenza respiratoria tende a calare. In questo modello di ventilazione non si può valutare facilmente il rapporto I:E, anche se a frequenze respiratorie elevate questo tende ad aumentare creando problemi di iperinflazione dinamica e PEEP intrinseca. In linea di massima non è un modello di ventilazione adatto a polmoni a bassa compliance od alte resistenze, ma piuttosto a pazienti non completamente dipendenti dal ventilatore, con *drive* respiratorio conservato (e non curarizzati) e che quindi sono in grado, interagendo col ventilatore, di ottenere una ventilazione. Questo modello è particolarmente utile nell'applicazione della ventilazione non invasiva, o nello svezamento dalla ventilazione meccanica. (NB: per la rappresentazione grafica fare riferimento alla figura 2, tenendo conto che la durata del singolo respiro e la frequenza degli atti sono completamente regolate dal paziente).

### *A che cosa stare attenti?*

Essendo un modo di ventilazione spontaneo, se il paziente cessa di respirare per qualsiasi motivo può andare incontro ad ipoventilazione quindi bisogna tenere sotto controllo il volume minuto, regolando appropriatamente gli allarmi. Solo Bennett 7200, Servo 300 e Amadeus possiedono una modalità di ventilazione d'apnea che protegge il paziente. Analogamente volume minuto e frequenza respiratoria vanno tenuti sotto controllo in quanto spie di variazioni delle resistenze respiratorie e della compliance.

Settaggio  
**PS**  
**O<sub>2</sub>**  
**(PEEP)**

Monitoraggio periodico  
**Vol Min**  
**FR**

## Ventilazione a VOLUME GARANTITO REGOLATO A PRESSIONE (*Servo 300*)

Si impostano *volume corrente* preferito, *frequenza respiratoria*, *rapporto I:E*,  $FIO_2$ , ed eventualmente *PEEP*. Questo modello ventilatorio pressometrico dovrebbe unire i vantaggi della ventilazione a pressione controllata con la certezza del volume minuto garantita dal volume controllato. Il ventilatore monitorizza in continuo la meccanica respiratoria del paziente ed eroga la minima pressione necessaria ad ottenere il *volume corrente* prefissato. Se il volume minuto del paziente supera del 50% quello impostato il ventilatore inizia a ridurre il supporto pressorio, e, al contrario, se il volume minuto cade il ventilatore cerca di ripristinarlo aumentando progressivamente il supporto. Per ottenere il massimo vantaggio in termini di sicurezza da questo modo pressometrico è opportuno regolare

l'allarme di pressione massima a 5 (max 10) cm H<sub>2</sub>O al di sopra del valore di pressurizzazione che ottiene il *volume corrente* desiderato.

Il sistema sembra funzionare nella maggior parte dei casi, tuttavia se il paziente ha problemi seri la risposta automatica del ventilatore può accelerare l'aggravamento del paziente.

*A che cosa stare attenti?*

Condividendo molte delle caratteristiche sia dei modelli volumetrici che dei pressometrici, le raccomandazioni sono sostanzialmente la somma di quelle per la controllata volumetrica e pressometrica. Differentemente da queste però in questo modello ventilatorio la macchina cambia il suo settaggio al variare delle condizioni del paziente (delle *resistenze* o della *compliance*, per esempio) per cui, a distanza di un'ora i parametri ventilatori possono essere diversissimi e può essere difficile capire come si è arrivati a quel punto.

*Settaggio*

**Vol Corr x FR**

**O<sub>2</sub>**

**(PEEP)**

**I:E**

*Monitoraggio periodico*

**Vol Min**

**(PEEP)/PPicco**

**FR**

### **Ventilazione a VOLUME ASSISTITO** (*Servo 300*)

Si impostano un *volume corrente* ed una *frequenza respiratoria* desiderata, la FIO<sub>2</sub> ed eventualmente una *PEEP*. Il ventilatore come nella precedente modalità cerca di ottenere, variando la pressione di pressurizzazione, il volume corrente ed il volume minuto desiderati: differentemente dal modo precedente però è il paziente che decide la frequenza respiratoria: e quindi è una modalità da utilizzare solo nei pazienti capaci di attivare il *trigger* del ventilatore. La frequenza impostata in realtà serve solo come sicurezza per impedire che vengano erogati *volumi correnti* eccessivi, in quanto se l'inspirazione si prolunga oltre l'80% del periodo respiratorio impostato con la frequenza, l'inspirazione viene terminata.

*A che cosa stare attenti?*

Condividendo molte delle caratteristiche della pressione di supporto gli aspetti cui fare attenzione sono gli stessi di quest'ultima. Differentemente dalla pressione di supporto però, in questo modello ventilatorio la macchina cambia il suo settaggio al variare delle condizioni del paziente (delle *resistenze* o della *compliance*, per esempio) per cui a distanza di un'ora i parametri ventilatori possono essere diversissimi e può essere difficile capire come si è arrivati a quel punto. Nei Servo 300 dell'ultima generazione è presente la funzione automode che utilizza, in caso di apnea, il Volume Garantito Regolato a Pressione con i parametri identici a quelli inseriti per il volume assistito..

*Settaggio*

**Vol Corr x FR**

**O<sub>2</sub>**

**(PEEP)**

*Monitoraggio periodico*

**Vol Min**

**(PEEP)/PPicco**

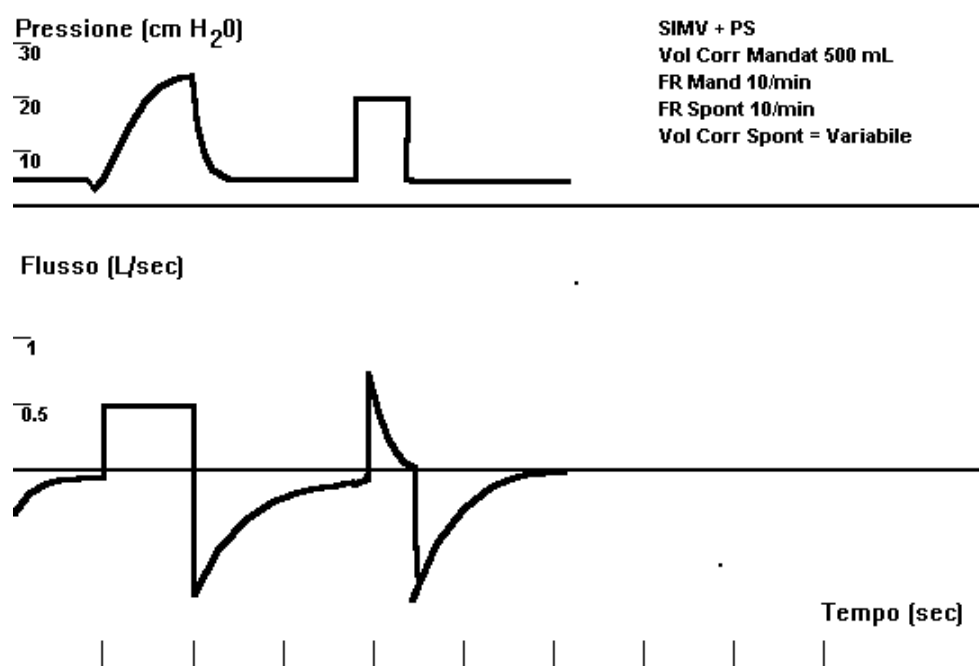
**FR**



## Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation (SIMV)

È una modalità di ventilazione che nella nostra Rianimazione non viene praticamente mai usata: ma vi sono centri che la utilizzano sistematicamente in tutti i pazienti. Ne parlerò solo per dare i concetti generali. È nata per svezzare i pazienti dal ventilatore, consentendo loro di respirare autonomamente (come in CPAP) ma garantendo comunque un *volume minuto* minimo con degli atti mandatori (inizialmente a volume controllato). In pratica si impostavano alcuni atti volumetrici, e tra questi il paziente era libero di respirare spontaneamente attorno al valore di PEEP impostato. Man mano che il paziente migliorava, si poteva ridurre la frequenza mandatoria fino a poter estubare il paziente. Il sistema fu migliorato sincronizzando gli atti mandatori con il trigger, fu possibile “aiutare” i respiri spontanei con la pressione di supporto e così via. Il modello è apparso accattivante fin da subito, e le successive modifiche lo hanno migliorato, ma in realtà nessuno ha dimostrato che accorciasse davvero lo svezzamento dal ventilatore.

Il settaggio del Servo 900C per ottenere questa modalità richiede la conoscenza di come funziona il ventilatore e qualche calcolo per essere eseguita con vantaggio per il paziente ed in sicurezza.



**Figura 3: Ventilazione in SIMV con Pressione di Supporto (il primo è un atto mandatorio volumetrico mentre il secondo è un atto spontaneo pressometrico).**

## QUALI SONO LE COMPLICANZE DELLA VENTILAZIONE MECCANICA?

Come abbiamo visto la ventilazione meccanica inverte, in modo anti-fisiologico, i regimi pressori all'interno del torace, elevando, talora in maniera rilevante, la pressione intratoracica. Ne consegue

una riduzione del ritorno venoso proporzionale alla pressione nelle vie aeree, che provocando una situazione di ipovolemia relativa (con ipotensione e ipoperfusione), che può rendere necessario un rimpiazzo volmico e favorire ritenzione idrica e formazione di edemi.

Tuttavia le complicanze più temibili sono quelle che per varie cause compromettono l'efficacia della ventilazione stessa (soprattutto nei pazienti completamente dipendenti), e quelle associate a danno grave del parenchima polmonare. (quando si verificano le complicanze in genere si attivano uno o più allarmi del ventilatore che possono aiutare ad identificare il problema).

#### **L'ostruzione del tubo o della cannula** (da secrezioni, incrostazioni ecc)

Provoca aumento delle pressioni di picco e ipoventilazione del paziente

Il paziente deve essere rapidamente aspirato, la cannula disostruita sostituendo la controcan- nula. Può essere utile aumentare per qualche tempo l'ossigeno.

Se correttamente impostati, per primo suonerà l'allarme di alta pressione, poi quello di Volume Minuto Minimo

#### **Sposizionamento della cannula** (per improvvise trazioni, colpi di tosse ecc)

Provoca aumento delle pressioni di picco e ipoventilazione del paziente

La cannula va riposizionata con cautela dopo aver sgonfiato la cuffia (che andrà successiva- mente rigonfiata.)

Se correttamente impostati, per primo suonerà l'allarme di alta pressione, poi quello di Volume Minuto Minimo

#### **Deconnessione dal Ventilatore ed estubazione/decannulazione accidentali** (per improvvise tra- zioni, colpi di tosse ecc)

Provoca ipoventilazione del paziente.

Ricollegare il paziente o, in caso di estubazione/decannulazione, chiamare il medico ed inizia- re a ventilare in maschera al 100%, eventualmente tappando lo stoma nei tracheotomizzati.

Se correttamente impostati, per primo suonerà l'allarme di bassa pressione, poi quello di Vo- lume Minuto Minimo

#### **Malfunzionamento del Ventilatore**

Può provocare un gran numero di problemi diversi.

**Quando vi è il minimo dubbio che il ventilatore non funzioni scollegare il paziente e ven- tilarlo con ambu ed O<sub>2</sub> al 100%.** A paziente stabilizzato con ambu, il ventilatore andrà ri- controllato ed il paziente andrà ricollegato al ventilatore solo dopo che se ne è accertato il cor- retto funzionamento.

#### **Barotraumi** (pneumotorace, pneumomediastino)

Sono complicanze insidiose e pericolose dovute generalmente a elevati picchi di pressione nelle vie aeree (da colpi di tosse, malfunzionamenti della macchina, ostruzione di tubi ecc).

La comparsa di pressioni elevate nelle vie aeree che si mantengono dopo disostruzione della cannula, la comparsa di enfisema sottocutaneo e/o di asimmetrie del collo e dell'espansione del torace sono indicazioni a informare immediatamente il medico di guardia.

## GLOSSARIO

**COMPLIANCE:** E' il contrario dell'elastanza. Esprime la facilità del polmone a lasciarsi espandere (ml/cm H<sub>2</sub>O). E' bassa nell' ARDS ed edema polmonare (< 30 ml/cm H<sub>2</sub>O), alta nell'enfisema (> 100): normalmente è almeno 60. Compliance basse significano che lo sforzo fatto dai muscoli respiratori per espandere il polmone sarà molto alto, che il paziente si affaticherà presto e quindi ridurrà progressivamente il *volume corrente* spontaneo. Nei modi pressometrici compliance basse richiederanno pressioni di pressurizzazione ( $\cong$  pressione di picco) elevate per mantenere *volume corrente* e *minuto* a parità di tempo inspiratorio. La compliance si calcola dividendo il volume corrente espirato per la differenza tra Ppausa e PEEP totale (PEEP esterna + auto PEEP).

**FLUSSO:** E' il volume di fluido (gas nel nostro caso) che passa attraverso un condotto nell'unità di tempo. Si misura generalmente in L/min o L/sec. Per esempio, se il flusso di picco di un respiratore è di 1 L/sec, questo significa che per avere un *Volume Corrente* di 500 ml il *Tempo Inspiratorio* deve durare 0.5 sec. Nei ventilatori è sovente possibile modificare nel tempo il flusso istantaneo ottenendo curve di flusso di forma diversa (curve decelerate nelle quali il flusso è massimo all'inizio e minimo alla fine, sinusoidali con flusso che prima sale e poi scende, quadrate con flusso costante durante tutto l'inspirio: quest'ultimo settaggio è quello ordinariamente usato in tutti i nostri ventilatori quando di usa il volume controllato).

**FREQUENZA RESPIRATORIA:** (FR) Numero di atti respiratori al minuto. Possiamo distinguere una Frequenza Impostata (o mandatoria od obbligatoria) che è quella erogata dal ventilatore sia che il paziente lo voglia oppure no (come in volume controllato), ed una Frequenza Spontanea che è quella dovuta agli sforzi del paziente. In alcuni modelli di ventilazione nei quali al paziente è concesso di respirare spontaneamente tra gli atti mandatori (SIMV per es.) le caratteristiche degli atti mandatori e spontanei possono differire moltissimo in termini di flussi, pressioni, volumi correnti.

**PEEP INTRINSECA (o auto PEEP):** Pressione nelle vie respiratorie distali. Per essere misurata è necessario eseguire una manovra di occlusione (PEEPi) a fine espirazione. E' importante perché è la vera PEEP del paziente. Siccome il ventilatore non è in grado di svelarla, va sempre ricercata. (E' un indice di aumentate resistenze respiratorie e/o di un tempo espiratorio troppo corto, può rendere impossibile al paziente di triggerare il ventilatore).

**PRESSIONE CONTROLLATA (PC) e/o INSPIRATORIA e/o di SUPPORTO (PS):** Nei modi di ventilazione pressometrici sono i valori di pressione ai quali viene portata, e mantenuta, la pressione delle vie aeree durante l'inspirazione.

**PRESSIONE DI PICCO:** (PPicco) Massima pressione nelle vie aeree raggiunta durante l'insufflazione. E' un parametro rilevante nelle ventilazioni a volume controllato: un suo aumento può stare ad indicare la comparsa di problemi acuti gravi, anche di tipo meccanico: brocospasmo serrato, ostruzioni del tubo tracheale, pneumotorace iperteso! Se la pressione di picco raggiunge il limite massimo di pressione impostato il ventilatore apre immediatamente la valvola espiratoria: questo è praticamente l'unico caso in cui in ventilazione a volume controllato il *volume corrente* ed il *volume minuto* stabiliti non vengono raggiunti causando ipoventilazione. Attualmente si tende a non permettere alla pressione di picco di superare i 35 cm H<sub>2</sub>O, e a quella di plateau i 30 cm H<sub>2</sub>O, per evitare di danneggiare il polmone e ridurre il rischio di barotrauma (pneumomediastino, pneumotorace ecc), e questo ha portato ad ampliare le indicazioni delle ventilazioni a pressione controllata.

**PEEP:** Positive End Expiratory Pressure. La pressione nelle vie aeree alla fine dell'espirazione e fino al successivo inspirio come regolata dal ventilatore. Misurata prossimalmente.

**PERIODO RESPIRATORIO:** E' un concetto teorico che si adatta bene soprattutto ai pazienti in ventilazione controllata curarizzati. E' il tempo necessario a completare inspirazione (pausa inspiratoria, se c'è) ed espirazione. Si misura in sec, e si calcola dividendo 60 per la frequenza impostata (vedi figura 1). Con 20 di frequenza respiratoria il periodo è pertanto di 3 sec. E' utile per farsi un'idea del *rapporto inspirazione:espirazione*.

**PRESSIONE MEDIA:** E' la media delle pressioni all'interno delle vie aeree durante l'intero periodo respiratorio. E' influenzata l'andamento pressorio durante tutto il ciclo respiratorio ma in modo particolare da *PEEP* e *PEEP intrinseca*. Si ritiene che l'ossigenazione nei pazienti con patologie respiratorie sia proporzionale a questa pressione. La pressione media

ha inoltre un grosso effetto sull'emodinamica in quanto, quando elevata, compromette il ritorno venoso causando una specie di ipovolemia.

**PRESSIONE DI PLATEAU:** (o di pausa)(PPausa) è la pressione nelle vie aeree alla fine della pausa inspiratoria (se c'è la pausa). Quando non è impostata la pausa si misura con una manovra di occlusione a fine dell'inspirazione, che dovrebbe durare almeno ½ sec. E' un dato molto importante perché, a differenza della pressione di picco che è soprattutto sensibile alla riduzione del calibro delle vie aeree (e del tubo), questa ci dà un'idea delle condizioni del parenchima polmonare. Sarà, infatti, alta nei polmoni duri (ARDS, edema polmonare), normale nei polmoni sani (operati di elezione), bassa negli enfisematosi. E' parametro indispensabile per misurare la *compliance*.

**RAPPORTO INSPIRAZIONE:ESPIRAZIONE: (I:E)** Rapporto che esprime come il *periodo respiratorio* è suddiviso nelle sue due componenti: *tempo inspiratorio* e *tempo espiratorio*. Quanto più alto è il *picco di flusso* tanto più piccolo è il rapporto I:E.

In respiro spontaneo nei pazienti sani, tempo inspiratorio ed espiratorio si equivalgono: I:E= 1:1. In ventilazione meccanica ordinariamente la fase inspiratoria (che è attiva) è tenuta più breve della fase espiratoria che è passiva, questo per consentire la fuoriuscita dai polmoni di tutto il *volume corrente* (I:E =1:2). Questo è particolarmente necessario nei pazienti con resistenze delle vie aeree elevate (asmatici) in cui si usano lunghi tempi espiratori per consentire il completo svuotamento dei polmoni sopradistesi (I:E = 1:3 -1:5) riducendo la *PEEP intrinseca*, tipicamente elevata in questo tipo di pazienti. Al contrario, quando vi sono gravi problemi di ossigenazione, un rapporto I:E invertito (I:E = 2:1) può, aumentando la *pressione media* delle vie aeree, contribuire a migliorare l'ossigenazione: in questo caso la *PEEP intrinseca* va attentamente monitorata in quanto questo tipo di ventilazione la può far aumentare molto. Va rilevato inoltre che le ventilazioni a rapporto invertito sono particolarmente mal tollerate dal paziente, richiedendo generalmente pesante sedazione e curarizzazione. Aumentare la fase inspiratoria (≅ ridurre il picco di flusso) fa generalmente diminuire la *pressione di picco* inspiratorio mentre non necessariamente riduce la *pressione media*. D'altra parte l'uso di un alto picco di flusso (rapporto I:E piccolo: I:E ≤ 1:3) può aiutare ad adattare un paziente molto dispnoico.

**RESISTENZA DELLE VIE AEREE:** E' la resistenza al flusso in- ed espiratorio dei gas attraverso le vie aeree del paziente (ed il tubo tracheale). La resistenza è tanto maggiore quanto più lungo il percorso del gas (per es. il tubo), e tanto minore quanto più è grosso il condotto (per es. il tubo). Raddoppiare il diametro del tubo riduce le resistenze di 16 volte, dimezzare la lunghezza del tubo riduce le resistenze di 8 volte (Legge di Poiseuille-Hagen).

**TEMPO ESPIRATORIO:** Fase durante la quale la valvola inspiratoria del ventilatore è chiusa, quella espiratoria è aperta, flusso presente negativo (cioè dal paziente all'esterno).

**TEMPO INSPIRATORIO:** Fase durante la quale la valvola espiratoria del ventilatore è chiusa. Comprende l'inspirazione vera e propria (valvola inspiratoria aperta, valvola espiratoria chiusa, flusso inspiratorio presente e positivo), e la pausa inspiratoria se c'è (valvola inspiratoria ed espiratoria chiuse, flusso zero).

**TRIGGER:** E' il meccanismo che permette al paziente di ottenere dal ventilatore un atto respiratorio aggiuntivo. Nei ventilatori tradizionali (Servo 900C) il trigger si attiva quando, tentando un inspirio, il paziente porta la pressione delle vie aeree al di sotto del valore impostato. I ventilatori più recenti invece hanno anche trigger attivati anche da variazioni di flusso nel circuito respiratorio: questi ultimi sistemi sono più sensibili dei precedenti e dovrebbero ridurre lo sforzo del paziente accelerando il tempo di risposta del ventilatore. Se c'è una *PEEP intrinseca* la depressione nelle vie aeree che il paziente deve creare per avere un atto respiratorio aggiuntivo è uguale alla somma della *PEEP intrinseca* e della sensibilità impostata del trigger: se la *PEEP intrinseca* è molto alta (anche 20-25 cm H<sub>2</sub>O negli asmatici, il paziente potrà non essere capace di triggerare il ventilatore!

**VOLUME CORRENTE:** (Vol Corr) Volume di gas che entra ed esce dai polmoni ogni atto respiratorio (Ingl. TIDAL VOLUME [TV]).

**VOLUME MINUTO:** (Vol Min) Volume di gas che entra ed esce dai polmoni durante un minuto. Il dato impostato può essere calcolato moltiplicando *Volume Corrente x Frequenza Respiratoria*.