

Il monitoraggio emodinamico volumetrico



SEDA S.p.A.

Via Tolstoj 7

20090 Trezzano S/N (Milano)

Tel 02/48424.1; Fax 02/48424290

sito internet: www.sedaitaly.it

certificazione UNI EN ISO 9001:2000

Introduzione

Già da alcuni anni la disponibilità di sistemi per la valutazione emodinamica che permettono la misura dei parametri volumetrici ha contribuito a modificare il tradizionale approccio al paziente, basando l'osservazione clinica e le decisioni terapeutiche su parametri specifici e non fuorvianti anche nei contesti più difficilmente interpretabili come sono i pazienti critici.

Pilastri del monitoraggio volumetrico sono, oltre alla gittata cardiaca, il volume di sangue intratoracico (ITBV = Intra Thoracic Blood Volume) e l'acqua polmonare (EVLW = Extra Vascular Lung Water).

Il primo rappresenta accuratamente il precarico cioè il riempimento delle camere cardiache; il secondo è una misura della quantità di liquido accumulato nel distretto polmonare sotto forma di edema intracellulare, interstiziale e alveolare.

Nel seguito verrà presentato e discusso il metodo alla base della determinazione di ITBV e EVLW.

La termodiluizione transpolmonare

La termodiluizione transpolmonare è un metodo per il calcolo dei parametri emodinamici basata sull'analisi della curva di termodiluizione rilevata a valle del sistema cuore-polmoni.

Gli accessi necessari per la valutazione del paziente sono un catetere venoso centrale ed un catetere arterioso per termodiluizione.

Per la via venosa centrale non esiste alcun tipo di limitazione o di requisito particolare.

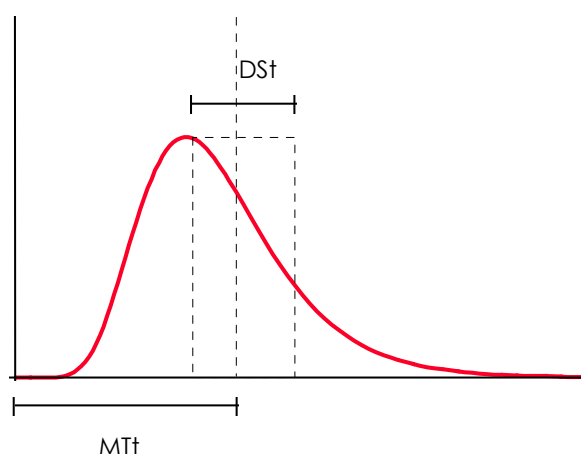
Per la via arteriosa si utilizza tipicamente il cateterismo dell'arteria femorale ma, in particolari condizioni, è possibile anche il monitoraggio attraverso l'arteria ascellare o radiale.

La procedura di misurazione consiste nell'iniettare un bolo da 15cc (riducibile fino a 3cc nel caso di pazienti pediatrici) di fisiologica o glucosata nella via venosa centrale.

Il risultato dell'analisi permetterà di ottenere i parametri considerati "di base" per una valutazione dello stato emodinamico: portata cardiaca, volume di sangue intratoracico (precarico) e volume di acqua polmonare.

Analisi della curva di termodiluzione

Il bolo di soluzione, una volta iniettato, attraversa tutto il sistema cardio-polmonare fino a raggiungere il termistore posto sulla punta del catetere arterioso che permette quindi di rilevare una curva di termodiluzione. Di questa curva è possibile misurare tre grandezze: l'area sottesa per il calcolo della portata cardiaca; il tempo di attraversamento medio (MTt) e la costante di discesa della curva (DSt).



Il tempo medio di attraversamento è il tempo che "mediamente" l'indicatore impiega per raggiungere il termistore. Se infatti l'indicatore compare, per esempio, dopo 10 secondi e si osserva per un minuto, si può dire che "mediamente" l'indicatore è passato dopo un tot di tempo determinato con la seguente formula:

$$MTt = \frac{\int c(t)dt}{\int c(t)dt}$$

Il DSt coincide sostanzialmente con la costante di tempo del ramo discendente della curva di termodiluzione. Il ramo discendente della curva può essere scritta come una funzione esponenziale

$$y = e^{-kt}$$

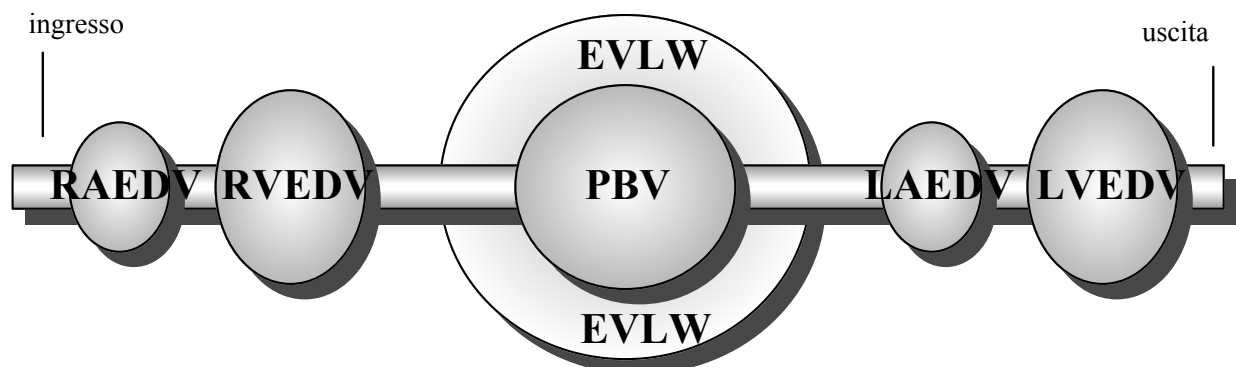
e quindi $DSt = 1/k$.

Il modello cardio-polmonare

Dal punto di vista del metodo, il sistema cuore-polmoni viene rappresentato come una sequenza di camere di mescolamento che rappresentano in sequenza l'atrio ed il ventricolo destro, il polmone, l'atrio ed il ventricolo sinistro.

E' da notare come il polmone, pur non essendo una camera di mescolamento in senso stretto, sia comunque modellizzato in questo modo dal momento che la scomposizione-ricomposizione del flusso ematico operata nel passaggio arteria polmonare-capillari polmonari-vene polmonari di fatto risulta assimilabile al mescolamento che si ottiene in una camera cava.

Il comparto polmonare risulta inoltre costituito da una camera interna e da una camera esterna che rappresentano rispettivamente il letto capillare polmonare e gli spazi extravascolari a livello polmonare. Tra le due camere è interposta una barriera (analoga alla parete dei vasi capillari polmonari) che permette lo scambio termico.



$$V_{tot} = RAEDV + RVEDV + PBV + EVLW + LAEDV + LVEDV$$

$$V_{polm} = PBV + EVLW$$

Con riferimento allo schema cuore-polmoni, il MTt viene utilizzato per il calcolo del volume accessibile all'indicatore compreso tra il sito di iniezione del bolo freddo e la punta del catetere. Nel caso in questione lo spazio accessibile al freddo è costituito dagli spazi intravascolari totali e dal liquido polmonare extravascolare (dal momento che la membrana capillare polmonare consente gli scambi termici)

$$V_{tot} = ITTV = C.O. * MTt$$

Il DSt fornisce invece il volume della camera di mescolamento più grande tra quelle attraversate dall'indicatore. Nel caso di iniezione del bolo freddo in vena centrale e rilevazione in arteria sistemica, la camera di mescolamento più grande è data dall'insieme degli spazi intra ed extra vascolari polmonari

$$V_{polm} = PTV = C.O. * DSt$$

Con questo tipo di analisi della curva di termodiluizione misurata in arteria sistemica, è possibile misurare oltre alla portata cardiaca, il volume di sangue contenuto nelle camere cardiache e nei grossi vasi a fine diastole (Global End Diastolic Volume):

$$GEDV = V_{tot} - V_{polm}$$

Il GEDV è un ottimo indice del precarico cardiaco.

Sulla base del GEDV è stato sviluppato un algoritmo per la stima del volume di sangue intratoracico, cioè del volume di sangue contenuto nel comparto toracico (ITBV*), e del volume di acqua polmonare, cioè del comparto polmonare extravascolare (EVLW*).

Si è osservato infatti che tra GEDV e ITBV misurati con la tecnica del doppio indicatore (con l'impiego del verde di indocianina) esiste una correlazione molto alta (a seconda delle pubblicazioni 0.95-0.99). Ciò consente, a partire dal valore di GEDV di ricavare, per mezzo dell'equazione della retta di regressione, il valore di ITBV*:

$$ITBV^* = a * GEDV + b$$

dove a e b sono i coefficienti della retta di regressione.

Se è possibile calcolare l'ITBV*(=volume del comparto intravascolare), diventa possibile stimare anche il volume di acqua polmonare (EVLW) come differenza tra il volume accessibile all'indicatore freddo (ITTV = comparti toracici intra ed extra vascolari) ed il comparto toracico intravascolare (ITBV*):

$$EVLW^* = ITTV - ITBV^*$$

Questo metodo è stato validato confrontandolo con il metodo standard per la misura dell'ITBV (metodo del doppio indicatore – vedi riferimenti bibliografici) e si è osservata un'approssimazione di circa il 10%, del tutto accettabile dal punto di vista clinico.

Significato fisiopatologico di ITBV e EVLW

Il volume di sangue intratoracico (ITBV) comprende il volume cardiaco telediastolico (GEDV, corrispondente da 2/3 a 3/4 dell'ITBV) e il volume di sangue polmonare (PBV).

Nel torace hanno sede tre volumi variabili che, a causa della limitata capacità di espansione del torace, possono influenzarsi reciprocamente: il volume di sangue intratoracico, il volume di gas intratoracico e il volume di acqua polmonare extravascolare. Un potenziale quarto spazio può essere legato alla presenza di tumori, contusioni o versamenti.

Per comprendere meglio l'importanza clinica dell'ITBV, è necessario definire i concetti di ipovolemia relativa e ipervolemia relativa:

- L'ipo/ipervolemia assoluta è indicata da una deviazione della volemia totale TBV dalla normalità, mentre il rapporto ITBV/TBV può rimanere nella norma.
- La ipo/ipervolemia relativa è caratterizzata da un valore normale di TBV e da un rapporto ITBV/TBV fuori norma.

Il valore di ITBV può essere primariamente ridotto a seguito di una ipovolemia assoluta, per es. dovuta a shock emorragico, oppure aumentato a causa di una ipervolemia assoluta legata ad una somministrazione eccessiva di fluidi iatrogenici.

Un volume di sangue intratoracico ridotto con ipovolemia relativa può essere dovuto a PEEP non adeguate, auto PEEP, pneumotorace, edema polmonare massivo (EVLW abnormemente elevato), edema pleurico o a combinazione di queste stesse cause.

In numerosi studi l'ITBV si è dimostrato essere un indicatore del precarico molto più preciso rispetto alla pressione venosa centrale o alla pressione capillare polmonare incuneata. Anche nel confronto diretto con il volume telediastolico ventricolare destro, l'ITBV si dimostra un parametro più sensibile e preciso.

Lichtwark-Aschoff et al. hanno dimostrato che l'ITBV rappresenta lo stato del volume di sangue circolante in pazienti critici ventilati artificialmente, e che lo standard clinico delle "pressioni di riempimento cardiaco" (pressione venosa centrale ed incuneata) non hanno alcuna correlazione con le condizioni di riempimento effettivo.

Significato fisiopatologico dell'EVLW

Il contenuto di acqua polmonare nei polmoni aumenta per insufficienza cardiaca, polmonite, sepsi, intossicazioni, ustioni, ecc.. Il valore di EVLW aumenta con l'incremento del fluido trasportato nell'interstizio a causa di un aumento della pressione intravascolare (insufficienza del

ventricolo sinistro, sovraccarico di volume) o a causa di un aumento della permeabilità vascolare polmonare alle proteine plasmatiche che, causando una modifica della pressione colloid-osmotica, produce a sua volta edema polmonare (endotossine, polmonite, sepsi, intossicazioni, ustioni).

EVLW è l'unico parametro determinabile al letto del paziente mediante il quale è possibile valutare lo stato dei polmoni in seguito ad un danno della membrana capillare. Infatti il rapporto tra volume di acqua polmonare extravascolare e volume di sangue polmonare (EVLW/PBV) è un indice preciso di permeabilità del distretto capillare polmonare. Un valore normale per questo indice è 1 e può arrivare fino a 5 nel caso di gravi danni polmonari.

I gas disciolti e gli indici di funzionalità polmonare da questi derivati, non sono specifici dell'organo dal momento che dipendono non solo dallo stato polmonare ma anche dalla perfusione e dalla ventilazione. Il coefficiente di correlazione tra il valore di EVLW e gli indici di ossigenazione è nell'ordine di $r=0.5$.

La radiografia del polmone mostra la densità totale del torace e questa è la ragione per cui dipende dal contenuto d'aria e di sangue oltre che di acqua polmonare. Inoltre gli strati di muscoli e di grasso influenzano la valutazione di densità effettuata mediante lastra polmonare.

La compliance polmonare è un parametro relativo al film di superficie attiva e non si correla col contenuto di acqua polmonare.

Alcuni lavori svolti nel recente passato hanno considerato un nuovo aspetto nella scelta del tipo di ventilazione più adatto in pazienti con insufficienza respiratoria. Zeravik et al. hanno dimostrato che in pazienti con ARDS la ventilazione ad alta frequenza migliora l'ossigenazione solo per valori elevati di edema polmonare. In un altro studio è stato dimostrato che con un valore di acqua polmonare normale o lievemente aumentato, la ventilazione a pressione di supporto si dimostra più efficace rispetto ad una ventilazione a volume controllato. Questi studi suggeriscono che per mezzo del volume di acqua polmonare si può comprendere se un paziente beneficia di una ventilazione ad alta frequenza o piuttosto da una respirazione spontanea con supporto pressorio. Una discriminazione di questo tipo non è possibile con i tradizionali criteri di valutazione, non con gli indici di ossigenazione e neppure con la compliance od altri parametri.

Il gruppo di Schuster ha esaminato in numerosi studi (Eisenberg, Mitchell, Shuller) se l'utilizzo del valore di EVLW come parametro guida nella somministrazione dei fluidi ha qualche influenza sul corso della patologia nei pazienti critici. Tutti gli studi hanno dimostrato che la conoscenza da parte del medico del valore e del trend del volume di acqua polmonare ha un'influenza positiva sul decorso della permanenza in terapia intensiva. In particolare, nell'ambito dello studio più recente con più di 100 pazienti coinvolti, è stato dimostrato che la

conoscenza del valore di EVLW porta alla riduzione dei giorni di ventilazione e di permanenza in terapia intensiva. Da questo punto di vista il monitoraggio dell'EVLW può comportare una riduzione dei costi legati ai pazienti critici. L'uso dell'EVLW per la valutazione del riempimento riduce l'edema polmonare, i giorni di ventilazione e di degenza in terapia intensiva

Conclusioni

Il metodo della termodiluizione transpolmonare permette di ottenere un quadro dell'assetto emodinamico del paziente critico basato sui valori di gittata cardiaca, volume di sangue intratoracico e acqua polmonare.

Questi parametri sono di elevato valore clinico dal momento che forniscono una indicazione specifica ed accurata delle condizioni di riempimento e di imbibizione polmonare.

Dal punto di vista dell'invasività, questo metodo fornisce un compromesso molto ragionevole dal momento che si basa sull'incanalazione di una via venosa centrale e di una via arteriosa, accessi questi molto comuni nei pazienti il cui stato presenti condizioni di criticità.

Bibliografia

1. Aschenbrenner J, Schwab R, Blümel G, Zimmermann GJ, Obermaier J, Pfeiffer UJ: Effects of spontaneous breathing, controlled PEEP ventilation without and with volume supply on intrathoracic blood volume and haemodynamic patterns in anaesthetized pigs. *Intensive Care Med* 16 (Suppl 1): P 107, 1990 (abstract)
2. Bock J, Lewis FR: Clinical relevance of lung water measurement with thermal dye technique. Lewis FR, Pfeiffer UJ (Eds.), *Practical applications of fiberoptics in critical care monitoring*, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York 1990, pp164-180
3. Eisenberg PR, Hansbrough JR, Anderson D, Schuster DP: A prospective study of lung water measurement during patient management in an intensive care unit. *Am Rev Respir Dis* 136: 662 -668, 1987
4. Hedenstierna G: What value does the recording of intrathoracic blood volume have in clinical practice?. *Intensive Care Med* 18: 137-138, 1992
5. Lewis FR, Elings VB, Hill SL, Christensen JM: The measurement of extravascular lung water with the thermal green dye indicator dilution. *Ann NY Acad Sci* 384: 393 - 410, 1982
6. Lichtwarck-Aschoff M, Beale R, Pfeiffer UJ: Intrathoracic Blood volume versus right ventricular end-diastolic volume as indicators of cardiac preload. 1993 submitted
7. Lichtwarck-Aschoff M, Beale R, Pfeiffer UJ: Central venous pressure, pulmonary artery occlusion pressure, intrathoracic blood volume and right ventricular end diastolic volume as indicators of cardiac preload. *J Crit Care* 11 (4): in press, 1996
8. Lichtwarck-Aschoff M, Zeravik J, Pfeiffer UJ: Intrathoracic blood volume accurately reflects circulatory volume status in critically ill patients with mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 18: 142- 147, 1992
9. Mitchell JP, Schuller D, Calandrino FS, Schuster D: Improved outcome based on fluid management in critically ill patients requiring pulmonary artery catheterization. *Am Rev Respir Dis* 145: 990 - 998, 1992
10. McLuckie A, Marsh M, Murdoch I: Comparison of pulmonary and femoral arterial thermodilution cardiac indices in paediatric patient following cardiac surgery. *Clinical Intensive Care* 5 (Suppl.): 28, 1994
11. Newman EV, Merrell M, Genecin A, Monge C, Milnor WR, McKeever WP: The dye dilution method for describing the central circulation. An analysis of factors shaping the time-concentration curves. *Circulation* 4: 735 - 746, 1951
12. Nielsen JB, Sjöstrand UH, Edgren EL, Lichtwarck-Aschoff M, Svensson BA: An experimental study of different ventilatory modes in piglets in severe respiratory distress induced by surfactant depletion. *Intensive Care Med* 17: 225 - 233, 1991
13. Rasinski M, Aschenbrenner J, Blümel G, Zimmermann GJ, Pfeiffer UJ: Intravascular volume status indicators: prepulmonary or total intrathoracic blood volume, which one is better? *Intensive Care Med* 16 (Suppl 1): P 108, 1990 (abstract)

14. Schuller D, Mitchell JP, Calandrino FS, Schuster, DP: Fluid balance during pulmonary edema. Is fluid gain a marker or a cause of poor outcome? *Chest* 100: 1068 - 1075, 1991
15. Sibbald WJ, Warshafski FJ, Short AK, Harris J, Lefcoe MS, Holliday RL: Thermal dye measurement of extravascular lung water in critically ill patients. *Chest* 83: 725 - 731, 1983
16. Wellhöfer H, Zeravik J, Perker M, Blümel G, Zimmermann G, Pfeiffer UJ: PEEP-induced changes of pulmonary capillary wedge pressure, prepulmonary and total intrathoracic blood volume in anesthetized dogs. In: Lewis FR and Pfeiffer UJ (Eds.), *Practical Applications of Fiberoptics in Critical Care Monitoring*. Springer-Verlag Berlin - Heidelberg - New York, pp 32 - 41, 1990
17. Zeravik J, Borg U, Pfeiffer UJ: Efficacy of pressure support ventilation dependent on extravascular lung water. *Chest* 97: 1412 - 1419, 1990
18. Zeravik J, Pfeiffer UJ: Efficacy of high frequency ventilation combined with volume controlled ventilation in dependency of extravascular lung water. *Acta Anaesthesiol Scand* 33: 568 - 574, 1989
19. Ceriani R, Sisillo E, Bortone F, Susini G. Accuracy of intrathoracic blood volume calculated with single thermodilution technique. *Intensive Care Medicine* 24 (Suppl. 1), 1998
20. Buhre W, Bendyk K, Weyland A, Kazmaier S, Schmidt M, Mursch K, Sonntag H. Assessment of intrathoracic blood volume. *Anaesthesist* 47: 51-53, 1998
21. Neumann P. Extravascular lung water and intrathoracic blood volume: double versus single indicator dilution technique. *Intensive care medicine* 25: 216-219, 1999
22. Sakka SG, Assessment of cardiac preload and extravascular lung water by single transpulmonary thermodilution. *IntensiveCare Medicine* 26: 180-187, 2000