

La saturimetria

L. IACOBELLI, A. LUCCHINI, E. ASNAGHI, M. NESCI

OXYGEN SATURATION MONITORING

Pulse-oximeter is described as the most important technological proceeding for monitoring the patients' safety during anesthesia, after surgery and in emergency. This opinion was widely confirmed in the 1990s when pulse-oximeter has been definitively introduced in the standard for base monitoring in the OR and has been proposed for routine use also in the ICU. In this paper we consider the importance, in the cardiovascular, respiratory and brain parameters monitoring, of continuous oximetry of mixed venous blood (SVO₂) and blood venous saturation in the internal jugular vein (SjvO₂).

Key words: **Oximetry - Intensive care units - Oxygen.**

Fisiologia

Durante il passaggio attraverso i capillari sistemici, il sangue arterioso cede ossigeno ai tessuti e si arricchisce di anidride carbonica da questi prodotta, divenendo sangue venoso; la pressione parziale dell'ossigeno del sangue diminuisce progressivamente da un valore di PaO₂ = 100 mmHg, ad un valore di PvO₂ = 40 mmHg; la saturazione dell'emoglobina parimenti diminuisce da un valore di SatO₂ = 97% a SvO₂ = 75%

Indirizzo per la richiesta di estratti: A. Lucchini - Servizio di Anestesia e Rianimazione, Azienda Ospedaliera San Gerardo, Via Solferino, 16 - 20052 Monza (MI).
E-mail: alberto.lucchini@saprem.it

*Servizio di Anestesia e Rianimazione
Azienda Ospedaliera San Gerardo, Monza*

circa; *viceversa*, la pressione di anidride carbonica aumenta da PaCO₂ = 40 mmHg a PvCO₂ = 46 mmHg.

Il contenuto arterioso di ossigeno è dato dalla somma dell'ossigeno trasportato dall'emoglobina e quello disciolto nel plasma. L'emoglobina trasporta approssimativamente 1,39 ml/g di ossigeno, mentre l'ossigeno disciolto nel plasma è direttamente proporzionale alla sua pressione parziale come descritto nella formula PaO₂ × 0,0031 ml/mm Hg.

Lo stesso principio matematico è applicato per la pressione parziale di ossigeno del sangue venoso misto (PvO₂) e per il contenuto di ossigeno del sangue venoso misto (CvO₂); anche il CvO₂ è dato quasi per intero dall'ossigeno trasportato dall'emoglobina e dipende dalla saturazione del sangue venoso misto.

Pulsioossimetria

Il pulsioossimetro è un monitor per la misurazione continua, non invasiva della saturazione di ossigeno arterioso e della frequenza cardiaca.

La saturazione arteriosa viene determina-

ta misurando e confrontando la quantità di luce trasmessa attraverso i tessuti ad uno spettrofotometro da due diodi con una lunghezza d'onda compresa tra 650 e 940 nm.

La luce non viene assorbita solo dal sangue arterioso, ma anche da quello venoso, dai tessuti e dai pigmenti cutanei, quindi per isolare il sangue arterioso, viene considerata solamente la componente pulsatile. La variazione dell'assorbimento luminoso dipende in realtà dal volume del letto vascolare che, tra sistole e diastole di ciascuna pulsazione, permette di isolare un segnale di assorbimento legato all'onda del polso e prodotto dal sangue arterioso.

La saturazione di ossigeno arterioso (SaO_2) viene definita come rapporto tra emoglobina ossigenata (HbO_2) ed emoglobina totale ($\text{HbO}_2 + \text{Hb} + \text{altre: carbossiemoglobina, metaemoglobina, sulfoemoglobina}$).

Diverse quantità di luce vengono assorbite dalla HbO_2 e dalla Hb: la luce generata dalla sonda passa attraverso il tessuto e viene trasformata in segnale elettronico dal fotorilevatore.

Il segnale elettronico viene trasmesso all'ossimetro e amplificato; il circuito dell'ossimetro elabora il segnale, trasformando i dati di intensità della luce in valori di SaO_2 e frequenza cardiaca. Un display a cristalli liquidi visualizza i dati del paziente e le informazioni relative allo stato dell'ossimetro.

Il pulsiossimetro può essere applicato in qualunque sede purché questa permetta di orientare i LED e il fotodetector in modo diametralmente opposto al tessuto arterializzato; l'ossimetro tuttavia non può funzionare se lo spessore di questo tessuto attenua la luce prima che raggiunga il detector. Le sedi preferite, con maggior sensibilità, sono le dita, l'alluce, l'orecchio, le labbra ed il naso.

Le sonde più comunemente usate per la lettura della SpO_2 sono: sonde a clip, sonde a dito, sonde a orecchio, sonde flessibili e sonde "soft".

La scelta della sonda deve essere essenzialmente basata sul principio di una adeguata copertura del fotorilevatore, è quindi fondamentale usare un dito che meglio lo

copre e si alloggia in modo corretto nella metà inferiore della sede della sonda, in quanto la luce ambientale è un fattore che altera la lettura del pulsiossimetro.

Sono innumerevoli i fattori che possono interferire con la lettura del pulsiossimetro.

Il *movimento* tende a ridurre la differenza di assorbimento delle due lunghezze d'onda; questa apparente desaturazione è dovuta esclusivamente ai movimenti del sensore. In questo caso è importante un confronto con la frequenza cardiaca rilevata al monitor.

Le *unghie smaltate* possono causare artefatti dal momento che assorbono le stesse lunghezze d'onda del pulsiossimetro, motivo per cui lo smalto andrebbe rimosso prima del monitoraggio, anche se il segnale sembra normale.

Un cattivo posizionamento del sensore può provocare *stasi venosa* e condizionare, per la presenza di più intense pulsazioni venose, la lettura di un basso indice di saturazione.

La carbossiemoglobina non viene differenziata dall'ossiemoglobina per cui la frazione di Hb satura viene soprastimata. È ovvio che nei pazienti ad alto rischio di *intossicazione da monossido di carbonio* e negli itterici la saturazione arteriosa deve essere misurata con ossimetria in laboratorio e non con pulsiossimetro.

La pulsiossimetria è irrealizzabile durante la *rianimazione cardiopolmonare* perché le compressioni toraciche producono una sovrapposizione del polso arterioso e venoso.

Un monitoraggio prolungato o una determinata condizione del paziente possono richiedere il cambiamento periodico della posizione della sonda; questa manovra deve essere eseguita ogni quattro ore e comunque ogni volta che si rilevano irritazioni cutanee o indebolimento della circolazione.

Monitoraggio della saturimetria venosa

La saturimetria venosa rappresenta un parametro molto importante in tutti quei

pazienti a rischio di squilibrio del trasporto dell'ossigeno: pazienti con disfunzioni cardiopolmonari, con insufficienza respiratoria, pazienti in terapia con farmaci che possono interferire con la loro capacità di trasporto di ossigeno, pazienti rianimati per condizioni di shock ed infine, pazienti che richiedono supporto emodinamico con isotropi, vasodilatatori e vasopressori.

Il monitoraggio della saturimetria venosa viene utilizzato nei pazienti che presentano fattori di rischio, clinicamente stabili, per assicurare che l'omeostasi del trasporto d'ossigeno sia mantenuta; nei pazienti che diventano instabili la SvO_2 è un precoce allarme dell'iniziale squilibrio del trasporto di ossigeno, nei pazienti sottoposti a terapia per instabilità emodinamica o respiratoria la SvO_2 ha importanza come indicatore dell'adeguatezza della terapia.

Valori normali di SvO_2 (0,68-0,77) suggeriscono un equilibrio tra l'ossigeno disponibile ai tessuti e l'ossigeno consumato dai tessuti. Un brusco decremento della SvO_2 al di sotto del 65% esprime la rottura di questo equilibrio che può essere causato da una riduzione di CO , della SaO_2 dell'HgB o da un aumento di VO_2 ; nei pazienti critici può essere una concomitanza di questi fattori a determinare ogni variazione della SvO_2 .

Fisiologicamente il processo di trasporto di ossigeno consiste nel carico di O_2 da parte dei globuli rossi, nella sua liberazione ai tessuti, nella sua utilizzazione in periferia e nel suo ritorno con il sangue desaturato al cuore destro.

Il consumo di ossigeno calcolato dall'equazione di Fick è la quantità di ossigeno consumata dai tessuti e rappresenta quindi un meccanismo di protezione affinché le cellule possano soddisfare le loro richieste. Normalmente la richiesta e il consumo di ossigeno si equivalgono, ma quando la richiesta di ossigeno è molto elevata si ha la condizione di anaerobiosi e acidosi lattica.

La SvO_2 rappresenta il valore medio della saturazione venosa in O_2 del sangue proveniente da tutti i tessuti perfusi; perciò i tessuti ad alto flusso ma a bassa estrazione di O_2 (rene) avranno una maggiore rilevanza sulle variazioni della SvO_2 di quelli con bas-

so flusso ma con un'estrazione che può divenire anche molto alta (miocardio).

Il monitor

La spettrometria a riflessione è la tecnica più comunemente usata per l'ossimetria venosa. Il fascio di fibre ottiche è contenuto nella parete del catetere da arteria polmonare. Attraverso il ramo di emissione viaggiano particolari lunghezze d'onda corrispondenti alla massima riflessione dell'ossiemoglobina e desossiemoglobina; quando i globuli rossi vengono investiti da questo fascio la luce viene riflessa e trasmessa al sistema attraverso il ramo ricevente. Il microprocessore misura la riflessione di ciascuna lunghezza d'onda per derivare la quantità dell'ossiemoglobina e della Hgb totale e quindi il loro rapporto.

Le possibili cause di una alterata SvO_2 possono ricercarsi in cause tecniche, aumento della SvO_2 , riduzione del segnale luminoso, traccia della pressione polmonare smorzata, quali:

- scorretto posizionamento del catetere;
- migrazione della punta in un segmento distale dell'arteria polmonare;
- formazione di fibrina lungo il lume del catetere.

Qualora si verificassero alterazioni della SvO_2 , lavare energicamente il catetere e calibrare il monitor.

La calibrazione gioca un ruolo molto importante nella corretta interpretazione della traccia; dovrebbe essere verificata ogni volta che il monitor è staccato dal catetere, quando c'è il sospetto di una misurazione errata e in ogni caso ogni 24 ore per assicurare la stabilità del sistema.

Saturazione giugulare

La misura della saturazione venosa nel sangue refluo del bulbo della vena giugulare interna ($SjvO_2$), è una tecnica per monitorare l'ossigenazione cerebrale globale e il rapporto tra substrati energetici disponibili e fabbisogno metabolico cerebrale.

È un monitoraggio semplice, utile e poco invasivo per controllare gli effetti della terapia impostata sul riequilibrio del bilancio tra domanda/offerta di ossigeno al cervello.

I disturbi del flusso ematicocerebrale (CBF), ed in particolare l'ischemia, sono la causa della maggior parte dei processi patologici che coinvolgono l'encefalo. Il cervello umano dipende infatti, per la sua integrità funzionale e strutturale pressoché totalmente dal metabolismo aerobio del glucosio.

Pertanto il controllo dell'ossigenazione cerebrale è di fondamentale importanza per minimizzare i danni cerebrali secondari, principalmente ipossici/ischemici, nei pazienti con grave danno neurologico.

La $SjvO_2$ rimane in un range di normalità fino a quando il flusso è proporzionale alle richieste metaboliche cerebrali, ma ogni disturbo che aumenti il metabolismo cerebrale e/o diminuisca l'apporto di O_2 determina una riduzione di $SjvO_2$. Per contro, qualora si determini una riduzione di consumo e/o un aumento di apporto di O_2 ne consegue un aumento di $SjvO_2$.

La saturazione venosa giugulare media dell' O_2 nei soggetti normali è 62%, con un range di 55-71%. Le cause più frequenti di riduzione di $SjvO_2$ sono l'ipertensione endocranica, l'ipotensione arteriosa e l'ipocapnia; altre cause che alterano la $SjvO_2$ sono determinate dall'aumento del metabolismo cerebrale: febbre, crisi epilettiche, sedazione non adeguata con disadattamento al supporto ventilatorio e alle manovre di nursing.

Una elevata $SjvO_2$ può essere determinata da diversi fattori: iperemia cerebrale, altera-

ta capacità di estrazione di ossigeno da parte del parenchima danneggiato e dalla presenza di aree perfuse ma infartuate, anatomia del sistema venoso giugulare, rapida aspirazione del campione di sangue¹⁻⁵.

Riassunto

Il pulsiossimetro viene descritto come il più importante progresso tecnologico mai realizzato nel campo del monitoraggio della sicurezza del paziente in anestesia, nel postoperatorio e nell'emergenza.

Questa opinione è stata ampiamente confermata nel 1990 quando il pulsiossimetro è stato definitivamente introdotto negli standard di base del monitoraggio in sala operatoria ed è stato proposto di routine anche nelle unità di terapia intensiva.

In questa sede ci occuperemo dell'importanza, per valutare parametri cardiovascolari, respiratori e cerebrali, con l'impiego della ossimetria continua del sangue venoso misto (SvO_2) e della saturazione venosa nel sangue refluo del bulbo della vena giugulare interna ($SjvO_2$).

Parole chiave: Pulsiossimetria - Saturazione - Ossimetria.

Bibliografia

1. Civetta JM. Intensive Care Unit and practical pulmonary function tests. 1978.
2. Rasanen J, Downs JB, Malec DJ, DeHaven B, Garner WL. Real-time continuous estimation of gas exchange by dual oximetry. *Intensive Care Med* 1988;14(2):118-22.
3. Shippy MB, Petterson MT, Whitman RA, Shivers CR. A clinical evaluation of the BTI Biox II Ear Oximeter. *Respir Care* 1984;29:730-5.
4. Andrews PJD, Murugavel S, Deehan S. Conventional multimodality monitoring and failure to detect ischemic cerebral blood flow. *J Neurosurg Anesthesiol* 1996;8:220-6.
5. Cormio M, Valadka AB, Robertson CS. Elevated jugular venous oxygen saturation after severe head injury. *J Neurosurg* 1999;90(1):9-15.