

---

# LA FLUSSIMETRIA LASER-DOPPLER NELLA VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA AL TRATTAMENTO OTI DI GRAVI LESIONI TRAUMATOLOGICHE DEGLI ARTI

C. LONGONI - G. GERACI - R. FERANI - GM. MARCHESI \*

- Policlinico San Marco di Zingonia (BG)

- Istituto Iperbarico di Zingonia (BG)

\* I Servizio Anestesia e Rianimazione Ospedali Riuniti Bergamo

ARCHIVIO RUOCCO

## INTRODUZIONE

**F**ra le terapie utilizzate per prevenire le complicanze di gravi traumi degli arti e per permettere l'attuazione di una strategia conservativa è ormai accettato l'impiego dell'ossigenoterapia iperbarica (O.T.I.) di cui sono noti gli effetti clinici legati all'incremento della  $PO_2$  tissutale che riattiva i processi di difesa e di rigenerazione tissutale.

Il miglioramento della tensione di ossigeno e del metabolismo cellulare viene verificato, in corso di terapia, mediante misurazione transcutanea della  $PtcO_2$  e della  $PtcCO_2$  che indicano variazioni di contenuto di  $O_2$  e  $CO_2$  tissutali, ma che non rilevano in modo diretto le variazioni di flusso distrettuale. Anche se, in iperbarismo, si possono ottenere pressioni parziali di ossigeno plasmatico elevatissime tanto da sostenere la vita in assenza di emoglobina, le tensioni di ossigeno a livello tissutale dipendono anche dalla circolazione regionale. È errato pensare che l'ossigeno possa raggiungere tessuti e cellule in quantità sufficienti al fabbisogno metabolico in assenza di un minimo flusso circolatorio. Il flusso, infatti, è un fattore estremamente importante nella ossigenazione tissutale e cellulare, sia in condizioni normobariche che iperbariche. Poiché la regolazione artero-venulo-capillare è influenzata, in modo diretto o mediato, dalla  $PO_2$  interstiziale abbiamo ricercato una metodica con cui rilevare la risposta microcircolatoria negli arti traumatizzati e quelli controlaterali indenni di pazienti sottoposti ad O.T.I.

## FLUSSIMETRIA LASER-DOPPLER (LDF)

Lo studio della microcircolazione è molto complesso in quanto capillari cutanei sono altamente reattivi ad ogni stimolo meccanico, termico e pertanto le tecniche attuate durante lo studio possono essere esse stesse causa di artefatti. Tra le differenti metodiche disponibili per la valutazione del microcircolo, negli ultimi anni ha assunto un particolare interesse la flussimetria laser-doppler. Essa costituisce un notevole passo avanti nella valutazione del microcircolo. La non invasività del metodo, la sua maneggevolezza, la possibilità di studiare vasi di diametro inferiore a  $50 \mu$ . la possibilità di effettuare registrazioni continue, ne fanno un metodo di scelta nella diagnostica emodinamica

di uso corrente. Con questa metodica un sottile raggio di luce monocromatica generato da un laser a bassa potenza è trasportato da una sonda a fibre ottiche alla porzione di tessuto in esame. La luce è diffusamente riflessa ed è in parte assorbita dal volume di tessuto illuminato. Il fascio di luce colpendo le cellule ematiche in movimento subirà un effetto doppler (variazione della lunghezza d'onda), mentre la porzione di fascio che colpirà le strutture statiche non subirà alcuna variazione. La frequenza e l'ampiezza dell'effetto doppler sono direttamente in relazione al numero ed alla velocità delle emazie, indipendentemente dalla direzione del movimento. La sonda di misurazione incorpora anche due gruppi di fibre ottiche che trasportano la parte del raggio luminoso riflesso ai fotorilevatori ove è convertito in segnale elettronico. La luce riflessa è composta da lunghezze d'onda differenti e variate o meno per effetto doppler; solo quelle che hanno subito l'effetto doppler sono captate dai sensori e pertanto il segnale di fondo è soppresso. L'apparecchio, in definitiva, rileva un segnale correlato solo con il movimento delle emazie che viene indicato come flusso ed è definito come il prodotto di emazie in movimento in un determinato volume per la loro velocità media. La misurazione del flusso con LDF deve essere eseguita in condizioni ambientali e posturali standardizzate. Il valore dell'ematocrito deve essere sempre tenuto presente: marcate sue variazioni determinano alterazioni della lettura. Altri particolari, come ad esempio il chiedere al paziente di sostenersi in modo da evitare oscillazioni e piccoli movimenti durante le rilevazioni del flusso, sono importanti per ottenere uno studio qualitativamente buono. La sonda va posizionata sulla cute senza compressione, previa detersione, mediante un supporto biadesivo; anche minime pressioni possono alterare i valori di lettura. L'uso di una sonda morbida e flessibile associata a fibre particolarmente sottili permette di evitare gran parte degli artefatti dovuti a piccoli movimenti del paziente.

## MATERIALI E METODI

Il nostro studio è iniziato nell'ottobre 1991, ma per la necessità di verificare la metodica nei traumatizzati ed in condizioni iperbariche, abbiamo ad oggi valutato solo 25 pazienti affetti da gravi traumi degli arti: 15 ar-

ti inferiori e 10 superiori. I pazienti erano 18 di sesso maschile, 7 di sesso femminile con età compresa tra i 16 ed i 49 anni. Dal nostro studio sono stati esclusi tutti i soggetti affetti da qualsiasi patologia od alterazione biumorale nota e in terapia farmacologica: abbiamo valutato solo soggetti sani o considerati a priori tali. Tutti hanno eseguito sedute OTI a 2,8 ATA, costituite da 3 periodi di respirazione in O<sub>2</sub> di 20 min. ciascuno, intervallati da pause in aria di 3 min. più i tempi tecnici di compressione/decompressione. Per la verifica di una corretta somministrazione dell'ossigeno, che deve essere il punto di partenza di qualsiasi considerazione, abbiamo misurato durante il trattamento ossiperbarico la FiO<sub>2</sub> in maschera, misurazione eseguita ponendo in comunicazione una presa analisi della maschera con l'ossimetro posizionato all'esterno della camera iperbarica. La metodica che proponiamo prevede la rilevazione continua della PtcO<sub>2</sub> e della PtcCO<sub>2</sub> pre, durante e post O.T.I. e della LDF almeno pre e post O.T.I., considerando non essenziale tale indagine durante il trattamento, dopo averne, però, realizzato la tecnica di esecuzione e verificata la sovrapposizione del tracciato in camera iperbarica con quello eseguito nell'immediato periodo post-trattamento. Entrambi i tipi di rilevazione sono stati attuati sugli arti traumatizzati e sui controlaterali interni. Abbiamo utilizzato per le valutazioni transcutanee di PO<sub>2</sub> e PCO<sub>2</sub> l'apparecchio Kontron Nicrogas 7640 in grado di fornire valori fino a 9gg mmHg, dotato di batteria a 12 Volt e quindi idoneo all'utilizzo anche all'interno della camera iperbarica e per la LDF, in un primo tempo, il Periflux PFG con scrivente, dotato di un raggio laser He-Ne della potenza di 2 mW e di lunghezza d'onda di 632,8 µ e con possibilità d'indagine limitata ad un volume di tessuto corrispondente ad un'emisfero del diametro di 1 mm. Questo apparecchio dispone di una sola sonda d'indagine, per cui la valutazione flussimetrica dei due arti, il traumatizzato e l'indenne, è stata fatta necessariamente in sequenza l'una dopo l'altra. In un secondo tempo, abbiamo avuto a disposizione il Periflux System 4000 che essendo dotato di due sonde permette la valutazione contemporanea dei due arti.

La registrazione doppler è stata effettuata in una sala a temperatura costante, con variazioni inferiori a 2 gradi C, secondo un identico protocollo, su pazienti climatizzati alle condizioni ambientali per circa 15 minuti e dopo stabilizzazione del tracciato. La valutazione del microcircolo dell'arto traumatizzato e di quello sano prevede l'analisi di: 1) Flusso di base a riposo (B.R.F.) rilevabile dall'apparecchio come unità di perfusione (P.U.). Quest'ultimo è un valore arbitrario e varia da strumento a strumento; e non è possibile, quindi, paragonare i tracciati di uno stesso soggetto, eseguiti, con due apparecchi diversi. 2) Ampiezza delle onde sincrone con le sistoli cardiache. 3) Presenza e numero delle variazioni periodiche del B.R.F. che sono correlate con la capacità di autoregolazione del microcircolo (vasomotion). Secondo molti Autori, avendo il flusso basale della cute un valore dinamico più

che statico, è preferibile una sua valutazione dopo test di provocazione; prova dell'iperemia reattiva post-ischemica, prova di stimolo del calore, prova del freddo. Noi condividiamo questa impostazione, ma è anche vero che durante il nostro studio era tecnicamente impossibile eseguire i test di provocazione; basti pensare al semplice posizionamento, su un arto gravemente traumatizzato, di un bracciale per la prova dell'ischemia. Noi abbiamo confrontato il flusso cutaneo dell'arto traumatizzato con il flusso dell'arto controlaterale indenne, appunto, per avere un termine di paragone.

## RISULTATI

L'analisi dei tracciati LDF pre e post OTI ci ha indotto a suddividere i soggetti esaminati in tre gruppi.

### a) I° gruppo

Un primo gruppo (tab. n 1), rappresentato da 11 soggetti, presenta un tracciato LDF pre OTI dell'arto traumatizzato notevolmente elevato rispetto all'arto controlaterale idenne, ma con basso voltaggio delle onde sincrone e scarsa od assente vasomozione.

La valutazione transcutanea della PO<sub>2</sub> e della PCO<sub>2</sub> segnala un PtcO<sub>2</sub> basale media di 20,67 ± 19,65 mmHg ed una PtcCO<sub>2</sub> media di 52,67 ± 14,99.

Durante trattamento OTI abbiamo registrato un aumento della PtcO<sub>2</sub> > 500 mmHg (media dei valori 884,67 ± 197,90 con un Δ rispetto al basale di 864,00 i 203,29) ed un decremento della PtcCO<sub>2</sub> entro un range di normalità (media 29,56 ± 9,97 con un Δ rispetto ai valori basali di 23,11 ± 11,19).

Il tracciato LDF post-OTI presenta una significativa riduzione del BRF dell'arto traumatizzato ed un ripristino della attività vasomotoria del microcircolo con presenza di onde simili per forma e voltaggio al trac-

	PtcO <sub>2</sub> BASALE	PtcO <sub>2</sub> MAX.	PtcCO <sub>2</sub> BASALE	PtcCO <sub>2</sub> MIN.	BRF PRE OTI	BRF POST OTI
M.C.	10	546	64	24	45	25
M.A.	19	999	49	26	40	20
M.L.	59	999	45	17	65	15
R.G.	11	999	47	32	40	25
B.U.	49	538	59	43	55	35
F.F.	11	884	34	21	48	26
M.G.	01	999	85	43	100	30
F.M.	11	999	47	31	40	15
G.L.	15	999	44	29	60	45
G.D.	13	886	56	35	20	6
B.B.	18	999	62	38	55	32

Tab. n. 1 - Primo gruppo

ciato dell' arto controlaterale indenne.

Si é passati da un flusso medio basale di PU 51,30  $\pm$  21,24 ad un flusso di PU 24,20  $\pm$  11,08 con un  $\Delta$  27,10  $\pm$  18,29.

Tutti i soggetti di questo gruppo hanno avuto un esito prognostico favorevole.

### b) II° gruppo

Un secondo gruppo (vedi tab. n 2) di 7 pazienti, anch'essi caratterizzati da un PtcO<sub>2</sub> notevolmente bassa (13,33  $\pm$  14,60 mmHg) ed una PtcCO<sub>2</sub> elevata (67,33  $\pm$  40,05) presenta al tracciato LDF pre-OTI un BRF inferiore a quello dell' arto controlaterale indenne ed una scarsa presenza di attività vasomotoria.

Anche qui si é avuto il miglioramento durante OTI dei valori di O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> tissutali rispetto ai basali (media PtcO<sub>2</sub> 771,17  $\pm$  317,17 con un  $\Delta$  di 757,83  $\pm$  313,05, media PtcCO<sub>2</sub> 31,50  $\pm$  7,50 con un  $\Delta$  di 35,83  $\pm$  34,31).

Il tracciato LDF post-OTI ha mostrato un' aumento significativo del BRF dell' arto traumatizzato ed una vasomotion piu effiace. Si é passati da un BRF di PU 26,67  $\pm$  26,01 ad un BRF di PU 57,50  $\pm$  38,70 con un  $\Delta$  di 30,83  $\pm$  19,60.

Anche tutti i pazienti di questo gruppo hanno avuto esito positivo.

	PtcO <sub>2</sub> BASALE	PtcO <sub>2</sub> MAX.	PtcCO <sub>2</sub> BASALE	PtcCO <sub>2</sub> MIN.	BRF PRE OTI	BRF POST OTI
V.P.	2	999	145	43	10	20
Z.B.	10	346	64	24	5	10
G.M.	41	900	37	24	60	90
C.B.	11	999	47	32	15	55
R.R.	01	384	69	37	10	60
P.G.	15	999	42	29	60	110
V.L.	14	999	52	32	13	32

Tab. n. 2 - Secondo gruppo

### c) III° gruppo

Il terzo gruppo di 7 pazienti presenta una situazione emodinamica e metabolica locale gravemente compromessa (PtcO<sub>2</sub>, PtcCO<sub>2</sub> > 100) che non varia significativamente dopo trattamento OTI.

Anche il tracciato LDF non varia e mantiene un segnale di flusso estremamente basso o nullo. I pazienti di questo gruppo hanno esito prognostico sfavorevole.

Per quanto riguarda la risposta all' esposizione iperossica e post trattamento OTI degli arti indenni, contrariamente ad alcuni Autori, abbiamo ottenuto risposte estremamente variabili, consistenti sia in un aumento che in un decremento del BRF postOTI rispetto al preOTI indipendentemente dalla pressione di trattamento e pur avendo raggiunto valori di PtcO<sub>2</sub> prossimi o superiori a 999mmHg, limite di lettura dell' ap-

parecchio.

## CONCLUSIONI

E' sostenuto ormai da anni che la respirazione di ossigeno iperbarico provoca vasocostrizione: ciò vale per vasi non danneggiati irreversibilmente. Questo fenomeno é fondamentale per ridurre l' edema locale e favorire il drenaggio linfatico. La riduzione del circolo porterà, infatti, ad una minore stasi nel territorio venoso, ad una minor compressione dei vasi linfatici, ad un miglior drenaggio della zona lesa.

La riduzione dell' edema, portando ad una riduzione dello stato ipossico nei tessuti, determina un minor effetto compressivo sul microcircolo e quindi una migliore nutrizione tissutale. Il circolo vizioso: trauma - edema - ipossia - vasodilatazione edema-ischemia é la patogenesi caratteristica dei traumi nei compartimenti non espansibili, tipico negli arti.

L' ossigeno iperbarico contrasta efficacemente la formazione di edema associato a condizioni di ischemia ed ipossia tissutale, senza agire in senso costrittivo sui capillari, cutanei, distretto da noi indagato, ma riducendo il flusso arterioso, ripristinando la normale funzione capillare e quindi migliorando l' ossigenazione tissutale.

Le conoscenze fino ad oggi acquisite ci portano a ritenere utile l' impiego della L.D.F. solo se associata a misurazioni transcutanee dell' O<sub>2</sub> e della CO<sub>2</sub> tissutali. L' ampliamento della casistica e dell' indagine di differenti tessuti ci potrà meglio chiarire come durante trattamento OTI la cute ed altri tessuti sani rispondano all' iperossia mediante chiusura degli sfinteri e riduzione del flusso capillare.

Nei tessuti lesionati l' iperossia non modifica tale flusso se non si ha un netto e stabile aumento della PtcO<sub>2</sub>, mentre migliora il flusso nei casi in cui si presenta stasi venosa od edema.

Si può ipotizzare l' utilizzo delle due metodiche per una valutazione dello stadio evolutivo delle lesioni da schiacciamento: ipossia - vasodilatazione - edema - ischemia.

Tale stadiazione potrà rendere possibile l' applicazione di protocolli terapeutici multidisciplinari quali provvedimenti chirurgici (fasciotomie, posture in scarico, osteosintesi precoci ecc..) e schemi di trattamento OTI differenziato in funzione delle risposte strumentali. Pazienti che presentano lesioni prevalentemente ischemiche senza esposizione osteomuscolare o sepsi preferibilmente andranno trattati a dosi minori di O<sub>2</sub> (2,2 ATA 1-2 trattamenti die) sempre che la risposta ossimetrica mostri un sufficiente incremento.

Per contro pazienti che mostrano grave edema o segni di infezione presente o potenziale vanno trattati a dosaggi maggiori (2,8 ATA 2 trattamenti die).

Le valutazioni combinate delle risposte gas analitiche tissutali e laser doppler periferiche durante OTI possono inoltre avere valore prognostico con una buona approssimazione.

---

## SUMMARY

The skin microcirculation is altered in serious traumatic events. In the present study 25 subjects with severe traumatic lesion in the limbs underwent on combined techniques: laser-doppler fluxometry and transcutaneous gas analysis to evaluate their effectiveness in the lesion staging and in estimation of the responsiveness to hyperbaric oxygen therapy.

## RIASSUNTO

La microcircolazione viene alterata in gravi situazioni traumatiche. In recenti studi da noi eseguiti su 25 soggetti affetti da importanti lesioni traumatiche agli arti sono stati sottoposti a tecniche combinate con laser doppler flussimetria e gas-analisi trascutanea in modo da poter valutare l'efficacia dell'ossigeno terapia iperbarica. Si ipotizza l'impiego del laser Doppler per la stadiazione dell'evoluzione degli schiacciamenti degli arti in associazione alla gasanalisi trascutanea.

---

## BIBLIOGRAFIA

- Barcher B. *Hyperbaric oxygen therapy: a critical review*. Undersea and Hyperbaric Medical Society. Bethesda Maryland 1977.
- Belcaro C. *Flussimetria laser-doppler e microcircolazione*. Ed. Minerva medica 1989.
- Boccalon H., Venerandi M.C. *Introduction a la velocimetrie doppler au laser. Etude de la vascularisation cutanee*. J. Mal Vasc., 1984 9, 11-16
- Del Guercio R., Leonardo C. *Laser doppler esperienze applicative*. Congresso Nazionale Gruppo Italiano di Studio sul laser-doppler Napoli Dicembre 1991
- Hammarlund C., Castenfors J. *Dermal vascular response hyperoxia in healthy volunteers*. Hyp. Med. Proceedings 2 European Conference on Hyperbaric Medicina Basilea luglio 1989.
- Holloway G.A. Watkins D.W. *Laser-doppler measurement of cutaneous blood flow*. J. Invest - Dermatol 1977, 69, 306, 309.
- Longoni C., Bortolotti G. *Misurazione dell'ossigeno tissutale in OTI*. Giornale di Medicina Critica - Terapia Antalgica 2: 211 - 215; 1990.
- Maurel A., Hamon P. *Flux microcirculatoire cutane etudie par laser-doppler. Etude sur une population de 100 sujets volontaires seins* La Presse Medicale n° 26, pg. 1205. 1991.
- Strauss M.B. *Role of hyperbaric oxygen therapy in acute ischemias and crush injuries orthopedic perspective* HBO Rev. 2: 87 - 106, 1981.
- Strauss N.B. Hargens A.R. *Delayed use of hyperbaric oxygen for treatment of a model anterior compartment syndrome*. J. Orthop. Res 4: 108 - 111. 1986.
- Wattel F; Mathieu D. *Oxygenotherapie hyperbare et reanimation*. Ed. Masson 1990.
-