

Appunti dr. Pasquale Longobardi

Tricontinental Scientific Meeting on Diving and Hyperbaric Medicine

La Reunion (F) 22-29 settembre 2013

Medicina subacquea

Lettura magistrale

J. Kot "Saturation decompressions – it's oxygen that drives, not inert gas"

La somma dei gas (ossigeno, gas inerte, anidride carbonica) non equivale alla pressione ambiente, il che determina una "finestra" dell'ossigeno che facilita il trasporto dei gas inerti. Nel sistema polacco (Polish system, 2000), il valore acqueo non conta per il computo della pressione totale dei gas.

Alcuni esperti (Le Pechon, Kot) ritengono che la variazione della pressione massima tollerata del gas equivalente equivale alla pressione parziale dell'ossigeno inspirata ($\Delta P_{max} = P_{iO_2}$)

La metanalisi dei modelli decompressivi evidenzia che ogni trenta anni circa c'è una significativa modifica dei coefficienti di desaturazione ($T_{1/2}$) senza che questo modifichi significativamente la probabilità di incidente da decompressione (pDCI). E' stato valutato che il massimo tempo di emisaturazione ($T_{1/2}$) per l'uomo è 360-420 min

I modelli che si basano sul rapporto tra pressione parziale dei gas inerti rispetto alla pressione esterna, consentono una risalita immediata alla superficie, dopo saturazione, da 9-12 metri. L'Autore ha calcolato che questo è correlato con una pDCI del 25-50%. Il modello elaborato dall'Autore (Polish system, 2000), prevede un $\Delta P = 0,200 \times P_1 - 0,120$; con una decompressione diretta (DD) dopo saturazione in aria possibile da 2,5 metri e una risalita diretta da 2,8 bar respirando ossigeno (ΔD^{2-8}) da 5,6 metri.

Quando si utilizza il concetto della ottimizzazione della finestra di ossigeno (extended oxygen window), nella prima parte della decompressione da saturazione ci può essere una velocità di risalita più rapida.

RD Vann nel 1984 disse che per le saturazioni più profonde la velocità di risalita deve essere più lenta di quanto abitualmente utilizzato per saturazioni meno profonde.

Le soste profonde nella decompressione da saturazione in aria non possono eccedere (*dipendono dalla*) la P_{iO_2}

La velocità di decompressione dipende da P_{iO_2} e dal tempo di emisaturazione massimo ($t_{1/2max}$), non dal tipo di gas inerte respirato.

Il concetto di Equivalent Inert Gas Depth (EAD) è sbagliato dal punto di vista fisiologico. In una decompressione da saturazione dalla profondità di 40 metri, con respirazione di aria

arricchita in ossigeno o eliox, aumentando la PiO_2 da 0,4 a 0,8 atm raddoppia la velocità di risalita (si dimezzano i tempi di risalita) ma la PiO_2 si riduce solo dell'8%.

Session 3

O-09 JE Blatteau "Validation of a submarine rescue decompression procedure from saturation exposure up to 6 ATA in man"

La decompressione lenta in aria con periodi di respirazione in ossigeno riduce la probabilità di incidente da decompressione.

Quando non ci sia l'esigenza operativa di accelerare la decompressione, questa deve essere la procedura di prima scelta, utilizzando un range di pressioni nel sottomarino tra 2,8 e 6 bar (18-50 metri)

O-10 M. Sayer "Decompression management of 43 model of dive computer: single wave exposures to between 15 and 50 msw"

In Europa ci sono 50 modelli di computer, nessuno dei quali pubblica il modo esatto con il quale viene calcolata la decompressione e ci sono pochi test indipendenti che li valutano. Anche le norme per la certificazione dei computer non tengono conto del modello decompressivo. I principali produttori sono Mares, SUUNTO e Oceanic.

L'Autore ha testato 43 computer con immersione singola quadra tra 15 e 30 metri con un tempo di decompressione totale tra 0 e 30 minuti (situazione che si verifica frequentemente nell'attività subacquea professionale).

Nel 94,9% dei computer testati la differenza dei tempi di decompressione era entro $\pm 10\%$. Nel 1% dei computer però la variazione era superiore al 25% (30 o più minuti) rispetto al tempo medio calcolato dagli altri computer. Per esempio, nella immersione alla profondità di 15 metri la variazione massima del No Decompression Time (NDT) è stata di 24,3 minuti tra il computer più permissivo e quello più conservativo.

I computer dal più conservativo al meno conservativo sono: Mares Icon HD; Mares con algoritmo Wienke RGBM; Uwatech con algoritmo Buhlmann; Suunto con algoritmo RGBM; i meno conservativi (più permissivi) sono gli Oceanic con algoritmo Buhlmann/DSAT.

Su 1031 ore di lavoro, ci sono stati 28 cambi di batterie e 19 blocchi specialmente a causa delle batterie. Quindi se i computer fossero utilizzati per immersioni professionali sarebbe necessario avere in immersione almeno due computer (come misura correttiva del rischio di malfunzionamento batteria).

In generale, maggiore è il tempo in immersione più affidabile è il calcolo della decompressione (meno probabilità di DCI).

Siamo in era digitale ma molto c'è da fare per i computer subacquei.

O-011 AO Brubakk “JENCODEC – the digital diver”

In immersioni si produce iperossia (radicali liberi) e bolle. I radicali liberi sono la causa di diverse patologie. La loro nocività è contrastata da numerosi scavengers. Il danno è a livello dell'endotelio ed è mediato dal monossido di azoto (NO). Una sessione di esercizio fisico (che aumenta il NO) 24 ore prima di una immersione con stress decompressivo, riduce significativamente il grado doppler di bolle dopo l'immersione rispetto al gruppo controllo dove non sia stata effettuata l'esercizio fisico.

L'Autore ha elaborato un software “JENCODEC – the digital dive” che tiene conto di tutte le possibili variabili, anche quelle ambientali ed elabora un programma personalizzato di decompressione. In caso di incidente elabora una analisi delle possibili cause dell'incidente.

O-012 J. Witte “Oxygen diver PBMCs show significant less damage after an exposure to hyperbaric hyperoxia, the generated DNA damage is due to the oxygen concentration”

Mentre in polimorfonucleati (PBMCs) isolati (in cultura) il danno al DNA è correlato con la pressione parziale dell'ossigeno, in vivo i subacquei che si immergono respirando frequentemente miscele ricche di ossigeno hanno meno danno al DNA rispetto a chi si immerge in aria. L'effetto protettivo si annulla quando l'intervallo tra immersioni successive supera le tre settimane.

O-013 D. Linnarsson “Stratified inhomogeneity revisited: lung diffusing capacity with increased gas density”

In otto subacquei, con respirazione di miscela normossica, è stata valutata la capacità di diffusione polmonare per il NO (10 ppm a 1 ata, la quantità contenuta in una sigaretta). La capacità di diffusione dipende dalla conduttività del gas respirato e dalla barriera alveolo capillare.

E' stata rilevata una riduzione della diffusione del gas nella periferia del polmone con l'aumento della densità del gas. Questa riduzione è compensata da una efficace penetrazione, per convezione, del gas nella periferia polmonare. Nella misurazione della capacità di diffusione polmonare per il NO (DL40) il calcolo della componente relativa alla membrana alveolo capillare può essere sottostimata.

O-014 D. Madden “Exercise after SCUBA Diving increases the incidence of arterial gas embolism”

23 subacquei si sono immersi a 18 metri per 47 minuti; immediatamente dopo la emersione è stata effettuata ecocardio toracico (TTE). Hanno effettuato sforzo con cicloergometria mentre veniva osservata la eventuale arterializzazione delle bolle e, quando il grado di bolle era elevato, è stato somministrato ossigeno.

Si sono rilevati 3 shunt destra/sinistra (d/s) a riposo, 12 shunt d/s durante sforzo, in 8 subacquei non vi era shunt d/s. Dove necessario, la somministrazione di ossigeno ha immediatamente bloccato lo shunt d/s rispetto alla respirazione di aria.

Lo sforzo facilita lo shunt d/s senza aumentare la conta delle bolle (lo sforzo non aumenta le bolle ma apre il passaggio)

Possibili bias sono la rilevazione solo del Forame Ovale Pervio (FOP) e che nella ecocardiografia si perdeva spesso la finestra durante lo sforzo e il respiro pesante.

In conclusione anche uno sforzo lieve (25% VO₂ max) come nuotare dal punto di emersione alla barca indossando l'attrezzatura può attivare uno shunt d/s altrimenti latente.

Session 4

O-15 R. Arieli "Evolution of bubbles from gas micronuclei formed on the luminal aspect of ovine large blood vessels"

Hills ha dimostrato la idrofobicità di una superficie immersa in acqua. Gli autori hanno verificato che tutti i vasi sanguigni arteriosi (aorta, vena polmonare, atrio sinistro) e venosi (vena cava superiore, arteria polmonare, atrio destro) di pecora esposti a 10,13 bar e decompressi hanno prodotto bolle che sono durate meno di due minuti, qualcuna fino a 18 minuti.

O-16 JP. Imbert "Does the oxygen window control the size of pre-existing micro-bubbles?"

La formazione delle bolle in immersione dipende da quattro fattori: accumuli di gas sull'endotelio (gas pocket), pre condizionamento, condizioni del subacqueo, variabili dell'immersione (ambientali)

La formazione delle bolle dipende dalla miscela respirata. la finestra dell'ossigeno consente una differenza di 70 millibar nella pressione arterovenosa dei gas utile per veicolare i gas inerti.

L'innesco delle bolle può essere dovuto a microbolle preesistenti alla immersione. In merito a tale aspetto, gli studi di Yount sulla formazione delle bolle in gelatina hanno il bias che la gelatina è un materiale inerte, mentre l'organismo del subacqueo è vivente.

La formazione delle bolle dipende anche dalla nano fisica; in condizioni reali è difficile elaborare modelli matematici che spieghino la forma delle bolle considerando la deformazione per la pressione esterna (la nano fisica prevede prevalentemente bolle sferiche, difficilmente simili a quelle reali). Quindi la legge di Boyle Mariotte non è applicabile per spiegare l'evoluzione delle bolle in una immersione reale.

Le bolle si formano immediatamente dopo l'inizio della risalita.

Il preconditionamento con ossigeno riduce la formazione delle bolle. Hanno effetto protettivo la sauna che determina vasodilatazione neuromediata; la vibrazione che determina vasodilatazione attraverso il monossido di azoto (NO); l'esercizio fisico che determina vasodilatazione per entrambi i meccanismi.

Session 5

O-25 M. Mattiuzzo "Influence of hyperbaric pressure on the performance of two types of salbutamol metered dose inhalers"

L'utilizzo di Ventolin® a 4 bar comporta la perdita del 20% della quantità insufflata. Salamol® può essere utilizzato con sicurezza anche in ambiente iperbarico.

O-26 M. Pieri "Analysis of accident in DAN Europe DSL data base and gradient factor evaluations"

DAN ha elaborato 58.256 profili di immersioni. 75% maschi, 25% donne. Età media 35,6 anni. Profilo immersioni: profondità tra 5 e 192 metri, media 30,56 mt(± 12,6 mt). Miscela respirata: 91,3% aria, 5,14% OEA, 3,56% trimix. Gli autorespiratori a riciclo non sono stati considerati. Con l'analisi doppler il picco bolle (bubble wave) si ha tra 30 e 60 minuti dopo l'emersione. L'analisi del Gradient Factor (GF), inteso come percentuale del valore M, evidenzia che gli incidenti sono avvenuti nell'ambito di immersioni con profilo decompressivo conservativo (80% GF). Nel 2012 l'analisi di 181 DCI aveva rilevato che gli incidenti avvenivano nella zona grigia del GF 0,74 -0,xx (media 0,75). Nel 2013 l'analisi è arrivata a considerare 260 DCI, il GF medio a rischio è 0,79 (cioè gli incidenti avvengono pur rispettando le indicazioni del computer quando si raggiunge il 79% del valore M – massima saturazione tollerata dal tessuto pilota). Non è stata rilevata differenza tra modelli compartimentali e modelli a controllo delle bolle. L'età media dei subacquei incidentati è 42 anni. La profondità media degli incidenti era tra 40-45 metri. Non vi è correlazione significativa per età e profilo di immersione. C'è differenza tra i sessi: maschi 0,03% DCI; donne 0,08%. Nella discussione J.P. Imbert precisa l'importanza dell'errore umano e chiede dati in merito ma l'analisi evidenzia che gli incidenti sono prevalentemente immeritati.

O-28 JE Blatteau "Prevention and treatment of decompression illness using in-water recompression: relevance of a training program for fisherman divers in Vietman"

Nei pescatori subacquei vietnamiti che si immergono in bassa profondità e in maniera ripetitiva. E' stata utilizzata la ricompressione in acqua per trattare 24 incidenti da decompressione (DCI). Otto sono state trattate con ossigeno a una profondità ≤ 10 metri per un tempo ≤ 90 minuti. 16 incidenti sono stati trattati con respirazione in aria a una profondità ≤ 10 metri per 2-6 ore. Risultati: dieci incidenti con dolore articolare sono stati trattati con il 100% di successo; 10 incidenti neurologici sono stati trattati con la risoluzione di 4 casi/4 che hanno respirato ossigeno; mentre solo 2 casi/6 sono migliorati respirando aria. Non ci sono stati problemi nella gestione della decompressione in acqua.

O-29 A. Sieber “Redundant pO₂ and pCO₂ and gas monitoring system for rebreathers comprising 2 galvanic pO₂ sensors, one optical pO₂ sensor and one dual wavelength pCO₂ sensor”

Come fattore correttivo per supplire all'eventuale malfunzionamento dei sensori per O₂ e CO₂ si aumenta il numero dei sensori a 2-4 ma il problema può essere – oltre a un guasto al funzionamento del sensore pO₂ - anche un blocco del solenoide, un guasto al microprocessore che controlla i dati. Per il sensore della CO₂ il malfunzionamento può essere dovuto a guasto al filtro, bypass del filtro o problemi meccanici (pendulum breather).

I sensori sono galvanici o ottici. I primi sono affidabili e poco costosi. L'autore auspica che, in futuro, possano essere così economici da poterli cambiare a ogni immersione.

L'Autore propone, per il momento, un nuovo approccio basato su un doppio sensore per la pO₂, uno galvanico e uno ottico, un sensore galvanico per la CO₂ con membrana idrofobica e un microprocessore per il controllo dei dati.

Il sensore galvanico per l'ossigeno lavora con un voltaggio variabile e viene misurata la corrente del sensore: la curva dipende da diverse variabili, incluse le caratteristiche chimiche del sensore.

La tecnologia del sensore ottico per l'ossigeno è basata su pigmenti di colore fluorescente. L'ossigeno attiva la fluorescenza (rosso), per lo più utilizzato per l'ipossia (ppO₂ < 0,2), qualche volta testato fino a una ppO₂ > 1 bar. Un filtro rosso permette di selezionare solo la parte del grafico correlata con la ppO₂. Il controllo avviene sul voltaggio della cella (0,1 mVolt) e il risultato dipende dalla temperatura.

Il sistema è stato certificato secondo le norme EN14413, EN250, EN13139.

In conclusione piuttosto che aumentare il numero di sensori dello stesso tipo, l'Autore suggerisce di applicare diversi metodi. La spettroscopia basata sia sulla voltmetria che sulla impedenza permette di valutare con sicurezza eventuali errori dei sensori. La pO₂ può essere attualmente e facilmente controllata con i sensori ottici, questi potrebbero funzionare anche per il controllo della CO₂

Sessione 8: subacquea

O-44 I. Eftedal “Applying genomics tools in studies of barophysiology”

La risposta infiammatoria intracellulare è complessa. Al termine della cascata di segnali, quando è attivato il NF-kB esso produce IL-1b IL-8 CD86 (effettori della risposta infiammatoria e immunitaria)

Il gene Serpine1 è attivato nel tessuto vascolare di ratti esposti a immersioni simulate (a secco con respirazione in aria). Il suo prodotto, la PAI1, è un marcatore biologico di stress fisiologico nell'immersione. Il suo incremento indica l'evoluzione verso la formazione di trombi (attivazione della coagulazione).

La transcriptomica crea una immagine bidimensionale della situazione e richiede molto tempo per essere eseguita. In realtà è necessario individuare un metodo che consenta di considerare contemporaneamente quattro variabili: cellule, tessuto, corpo e tempo

O-45 K. Hansen “An MRI/CT/PET-compatible pressure chamber for barometric research. Development and validation”

Presentata una piccola camera iperbarica per ricerche di laboratorio costruita con materiale non magnetico (poliuretano, polietilene) che può essere inserita negli impianti per la TAC, RMN, PET. I test dimostrano che funziona e i risultati sono affidabili.

O-46 A. Bliznyuk “Hyperbaric pressure effects on NMDA receptor variants”

La sostanza GluN1 ha un ruolo importante nel determinare la corrente attraverso N-methyl-D-aspartate receptor (NMDAR). L'aumento della corrente reduce la conduttività. È stato dimostrato che l'alta pressione (5 e 10.1 MPa / 50-100 bar), attraverso GluN1, determina un aumento dell'accesso del calcio nella cellula e questo facilita l'insorgenza della sindrome neurologica da alta profondità.

O-47 D. Cialoni “Genetic predisposition to acute respiratory symptoms in breath-hold divers

C'è una predisposizione individuale su base genetica all'edema polmonare durante apnea. L'anomalia genetica (polimorfismo G894T, T786C) interferisce con la sintesi del monossido di azoto a livello endoteliale (eNOS). L'anomalia T786C è associata anche con la patogenesi delle malattie cardiovascolari.