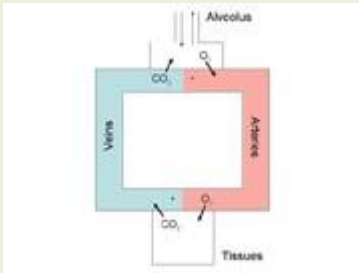


Immersione e produzione di CO₂



Il tema della produzione/ritenzione di CO₂ durante le immersioni è un tema che interessa sia i subacquei in circuito aperto che quelli in circuito chiuso. In Italia si "chiacchera" molto sull'argomento, però purtroppo si trovano gran poche argomentazioni scientifiche a riguardo. Il Dr. Simon Mitchell, ha tenuto una lezione molto interessante sulle dinamiche di produzione e smaltimento della CO₂ durante le attività subacquee, in relazione all'incidente di Dave Shaw.

PRODUZIONE ED ELIMINAZIONE DELLA CO₂

Il nostro organismo per funzionare consuma l'ossigeno presente nell'aria che respiriamo e produce anidride carbonica (CO₂) come prodotto di scarto.

Come si può vedere dalla foto sopra, attraverso gli alveoli, i polmoni cedono l'ossigeno al sangue, che parte in soluzione e parte legato all'emoglobina, si occupa di trasportarlo verso i tessuti che lo utilizzano. I tessuti raccolgono l'ossigeno lo bruciano e restituiscono anidride carbonica al sangue che con lo stesso sistema la riporta verso i polmoni dove viene espulsa.

Questo processo è normalmente in equilibrio, così tanto ossigeno viene importato, tanta CO₂ viene espulsa, in modo che ad ogni istante la quantità di questi due gas nel sangue rimane costante.

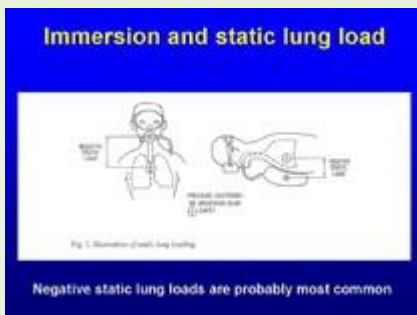
Il nostro corpo tiene costantemente sotto controllo la quantità di CO₂ presente nel sangue e utilizza questo dato per variare il ritmo respiratorio così da velocizzare, quando necessario, il processo di smaltimento, per mantenere sempre allo stesso livello le quantità di CO₂ presente nel sangue.

Questo sistema è molto semplice e funzionale nella vita di tutti i giorni, però da per scontato che ad un aumento del ritmo respiratorio corrisponda un aumento dello smaltimento della CO₂ nel sangue, situazione che non è sempre verificata, soprattutto in ambito subacqueo.

Il venir meno di questo presupposto, porta ad ottenere l'effetto esattamente contrario a quello sperato, ovvero un ulteriore accumulo di CO₂, che può, se non corretto in tempo essere fatale al subacqueo.

Vediamo ora nel dettaglio in che modo la subacquea altera il normale processo respiratorio, rendendo non sempre correlato l'aumento del ritmo respiratorio con lo smaltimento della CO₂.

Il volume di gas che viene ispirato, non viene utilizzato totalmente per la respirazione, in quanto solo all'interno dei polmoni è possibile lo scambio del gas, mentre nella trachea e nelle altre zone morte il gas rimane inutilizzato. È evidente che a parità di volume di gas inspirato, la respirazione è tanto meno efficiente quanto maggiori sono questi spazi morti. I subacquei in genere, ma soprattutto quelli che adoperano sistemi a circuito chiuso, aumentano notevolmente gli spazi morti, poiché sommano a quelli naturali quelli introdotti dalle attrezzature, andando a ridurre la normale efficienza dei singoli atti respiratori.



Un altro fattore che influenza la respirazione è il così detto carico statico che si applica ai polmoni.

Questa situazione è dovuta alla differente pressione che c'è tra l'aria erogata e quella all'interno dei polmoni.

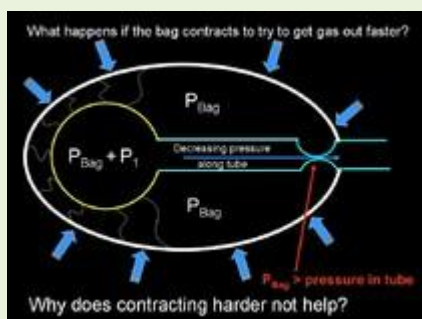
Nel caso a sinistra della figura, vediamo un carico NEGATIVO, in quanto il gas respirato dal sub ha una pressione MINORE di quello presente all'interno dei polmoni che si trovano ad una profondità maggiore rispetto all'erogatore.

Tale situazione porta intuitivamente ad una maggiore difficoltà di respirazione, in quanto il gas deve essere spinto all'interno dei polmoni per vincere la maggiore pressione.

Oltre al fattore sopra descritto, un carico negativo porta anche ad un indurimento dei polmoni, ad una

congestione del flusso sanguigno e ad un incremento della probabilità di collasso delle vie aeree (come vedremo più avanti), tutti fattori che ostacolano il normale processo di scambio di gas. Nel caso di carico POSITIVO (nella foto a destra) la situazione è sicuramente migliore e in alcuni casi si ha anche qualche leggero beneficio nello scambio gassoso.. A questi fattori si aggiunge SEMPRE il lavoro di estrazione caratteristico di ogni erogatore che aumenta con la profondità e con la densità della miscela respirata. Con l'aumento della pressione la densità del gas respirato aumenta e con la densità aumenta anche lo sforzo necessario ad inspirarlo a causa dell'attrito sulle pareti. Già a 30mt di profondità la massima ventilazione volontaria si dimezza fino a ridursi ad 1/4 del normale a 150mt. Questo significa che un sub che cerca di respirare alla massima velocità possibile, a 30mt riesce a muovere metà del volume d'aria che muoverebbe in superficie con un relativo dimezzamento dello scambio gassoso associato. Un altro effetto dovuto all'aumento della densità del gas e il collasso degli alveoli durante l'espirazione del gas che ne impedisce la fuoriuscita con conseguente mancanza di eliminazione di CO₂.

COLLASSO DEGLI ALVEOLI



Come si può vedere dalla figura, un alveolo si può approssimare ad un tubo non rigido con una sorta di palloncino attaccato ad una sua estremità, il tutto collegato mediante connessioni non rigide ad una borsa esterna che si rilassa durante l'espirazione e si espande durante l'inspirazione.

Questo semplice modello ci permette di fare alcune considerazioni sulle varie pressioni in gioco.

Se il tubo è chiuso (non vi è fuoriuscita di gas) la pressione all'interno del palloncino è banalmente la stessa che si trova all'interno del tubo (P₁). Se liberiamo l'uscita del tubo e l'aria comincia a defluire facendo sgonfiare il palloncino, notiamo che la pressione decresce progressivamente più ci si allontana dal palloncino a causa dell'attrito dell'aria sul tubo che ne rallenta il flusso con consecutivo calo della pressione, pertanto la PressioneTubo (P_t) < PressionePalloncino (P₁).

Durante la normale inspirazione la borsa si espande aumentando il volume del palloncino (a cui è connessa mediante delle stringhe) che aspira l'aria all'interno dell'alveolo, mentre con l'espirazione la borsa si rilassa e il palloncino grazie alla sua elasticità si contrae generando una pressione P₁. Durante la fase di espirazione forzata, alla normale pressione P₁ dovuta all'elasticità del palloncino si esercita anche la pressione P_{bag} generata dalla volontaria contrazione della borsa, che si esercita sia sul palloncino che sul tubo.

Se P_{bag} è molto maggiore di P₁ e il gas è molto denso si ha che la pressione agli estremi del tubo P_t è < P_{bag} e pertanto l'alveolo collassa impedendo al gas di uscire con tanta più forza quanto più forte cerco di espirare.

Lo sforzo respiratorio produce CO₂ ma il collasso dell'alveolo non ne permette lo smaltimento andando così ad aumentare quello presente in circolo.

CONCLUSIONI

Durante questo breve articolo abbiamo visto come durante un'immersione in aperto o in chiuso, più aumenta la profondità più la respirazione viene ostacolata, con conseguente aumento della CO₂ presente nel sangue.

Si è anche visto che lo stimolo naturale è quello di aumentare il ritmo respiratorio, ma che tale procedura spesso porta ad un risultato apposto a quello voluto (collassamento degli alveoli).

Diventa pertanto fondamentale che un subacqueo, e a maggior ragione un subacqueo tecnico viste le maggiori profondità in gioco, sia estremamente vigile rispetto al proprio ritmo respiratorio, cercando SEMPRE di adattare lo sforzo al ritmo e non viceversa in quanto si è visto che all'aumentare della profondità la massima ventilazione forzata cala e pertanto l'aumento del ritmo non serve a nulla,

anzi peggiora la cosa.

L'aumento della CO₂ nel sangue genera un circolo che ne porta i livelli oltre la soglia tollerabile dall'organismo in tempi brevissimi causando la MORTE per ipercapnia, pertanto la finestra entro cui è possibile intervenire azzerando lo sforzo e risalendo di quota è molto stretta, poichè quando i livelli hanno superato una soglia critica l'organismo non risponde più correttamente e risulta impossibile uscire autonomamente dalla situazione.

Nel caso estremo di Dave Shaw, a -290mt dalla registrazioen dell'incidente si vede che dalla comparsa dei primi segni di aumento della respirazione alla morte sono passati meno di tre minuti in cui Dave non ha minimamente cercato di contrastare il problema.

Un'altra considerazione importante riguarda la densità del gas che aumenta inesorabilmente con la profondità, pertanto conviene utilizzare degli erogatori che abbiano un basso lavoro di estrazione e miscele con una adeguata frazione di elio, che essendo molto più piccolo dell'azoto, a parità di pressione risulta essere molto meno denso.