

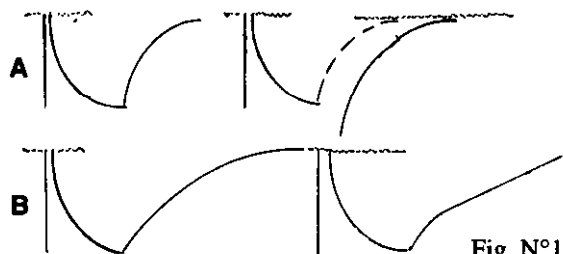
L'ASSORBIMENTO E LA ELIMINAZIONE DEI GAS IN IPERBARISMO

C. Barnini

PRESIDENTE NAZIONALE FEDERAZIONE ITALIANA ATTIVITÀ SUBACQUEE (FIAS) MILANO

Gia da tempo nello studio della Fisiologia Iperbarica si é pervenuti alla consapevolezza che non possono considerarsi speculari le curve di assorbimento e rilascio dei gas inerti dai nostri tessuti organici. Questo fatto é sempre stato attribuito a condizioni di variabilità nell'immersioni che introducevano dei fattori aggiuntivi, difficilmente quantizzabili, nell'algoritmo secondo il quale era impostato il calcolo dell'assorbimento e del rilascio del gas nei tessuti. Tutti sanno come freddo e fatica durante la permanenza a fondo possono alterare l'assorbimento dei gas, e come la contrazione muscolare a lungo mantenuta durante la decompressione sia sempre stata sconsigliata perché ritenuta responsabile di alterazioni, quanto meno distrettuali, nello scarico del gas dai tessuti interessati. Colui che s'immerge con le tabelle può tener conto di questi e di altri cosiddetti fattori di rischio e impostare prudenzialmente la decompressione con l'aggiunta di arbitrari e fittizi tempi di permanenza a fondo e/o quote maggiori di quelle reali, introducendo in tal modo un fattore di sicurezza con la speranza di controbattere e annullare i fattori di rischio (Fig. 1).

Le curve di assorbimento e di eliminazione dei gas inerti nei tessuti del nostro organismo non sono speculari (b).
La aggiunta fittizia che viene fatta al tempo di permanenza a fondo e/o alla profondità dell'immersione per compensare fattori di rischio, spostando il punto di partenza della curva di decompressione ma non ne modificano il profilo (a).



E' tutto un procedimento "a spanne" che, se al disotto delle reali necessità, può dare una im-

pressione di falsa sicurezza, se al disopra, può penalizzare impropriamente la durata dell'immersione o suggerire una curva di decompressione esuberante il ché é sempre un errore. Questo procedimento può essere applicato anche al computer, ma ciò non cambia la sostanza delle cose, e in realtà toglie al computer una delle sue caratteristiche fondamentali che é quella di lavorare usando informazioni precise ed estemporanee della situazione di carico e scarico dei gas dai nostri tessuti in funzione dei parametri fondamentali di calcolo quali tempi e pressioni. Bisogna lavorare nel senso del riconoscimento dei fattori di alterazione delle curve di assorbimento e di rilascio e della loro quantificazione per poter dare al computer i coefficienti numerici di correzione degli algoritmi.

Scoprire le possibili interazioni tra i diversi fattori, i momenti di attuazione, i sensori necessari alla loro identificazione. Bisogna, in termini brevi, cercare di "umanizzare" quanto più é possibile il computer rendendolo sempre più aderente alla nostra realtà biologica. Solamente così potremo avvalerci di uno strumento che si renda garante, in una misura significativa, della nostra incolumità nella pratica subacquea, almeno per quanto concerne la compressione e decompressione. Ci aspetta un lungo e vasto lavoro di intuizione, di analisi e di raccolta e verifica dei dati per costruire, non solamente ipotesi di lavoro, ma pianificare programmi scientifici di ricerca atti a cancellare le ipotesi non più sostenibili e dar corpo a quelle che trovano rispondenza nella realtà. E' necessario il supporto delle industrie produttrici di computer, come ormai si sottolinea da più parti, e un organo ufficiale di controllo che collaudi i prototipi determinandone le caratteristiche e i limiti d'impiego.(3) (4) (Tavola rotonda del Congresso di Basilea Settembre 1992).

Le ipotesi sulle cause della non specularità tra le curve di assorbimento e di rilascio dei gas inerti nei nostri tessuti sono quanto mai suggestive e, grazie alla moderna strumentazione d'indagine,

alcune di esse cominciano ad essere non più delle ipotesi ma delle teorie scientifiche sulle quali si lavora con buona probabilità di successo. Né illustrerò per sommi capi due di esse, perché la loro conoscenza può già fin da adesso suggerire dei comportamenti pratici atti ad evitare il peggio, e ad inquadrare una analisi critica e quindi un corretto uso del computer.

1° IPOTESI

la presenza di microbolle nella circolazione capillare polmonare, quella che provvede allo scambio dei gas con gli alveoli, altera il rapporto ventilazione/perfusione e aumenta la frazione di shunt dando luogo ad un ritorno nella grande circolazione di gas inerte che non ha potuto defluire nell'ambiente aereo esterno, alterando in tal senso la curva di desaturazione.

Questa ipotesi è stata convalidata dalla analisi della differenza della concentrazione del gas inerte tra l'aria alveolare e il sangue refluo dagli scambi polmonari e la presenza di microbolle nella arteria polmonare e l'aumento della frazione di shunt. (1) (5)

E' stata anche dimostrata la correlazione tra il profilo di decompressione, la produzione di microbolle e l'aumento della frazione di shunt. (5)

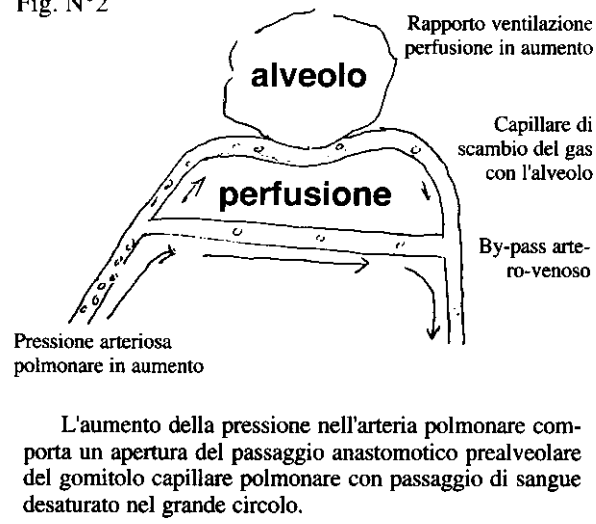
Da ciò l'indicazione ad osservare profili quadratici d'immersione evitando lo jo-jo dive e la velocità eccessiva di risalita. Per quest'ultimo fattore il computer dà l'indicazione di eccessiva velocità di risalita, ma per lo jo-jo dive non è in grado di discriminare tra il dato fisico matematico e il dato biofisico, anche perché il danno dello jo-jo dive non è un danno standard ma varia con il variare della realtà del su e giù, e quantizzarlo con numeri standard potrebbe essere fatto solo con approssimazione.

E' da osservare inoltre che il rilascio di microbolle è variabile nel tempo e quindi dovrebbe intervenire come fattore a sua volta non costante (Fig. 2).

2° IPOTESI

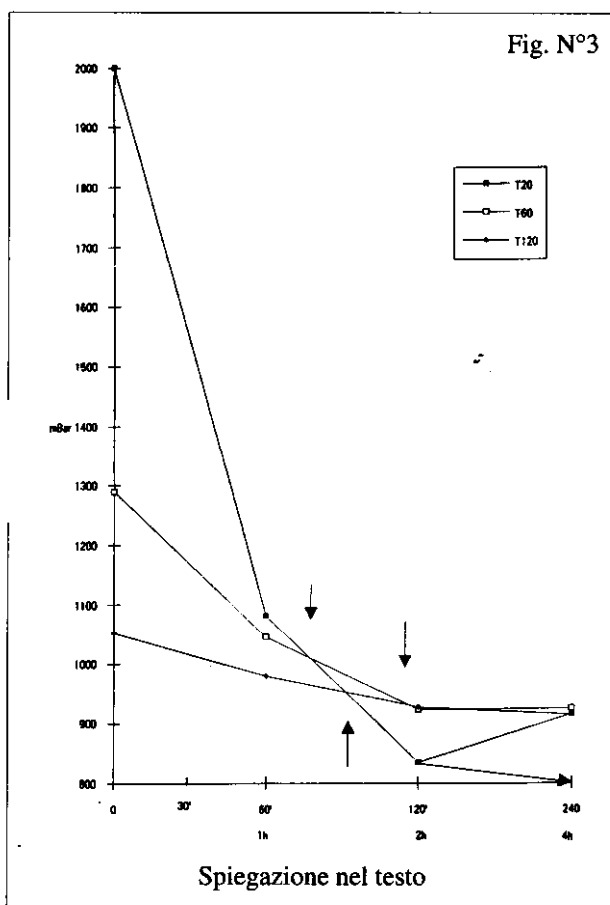
Nel calcolo della decompressione di norma non si tiene conto degli scambi di gas tra i vari tessuti durante la desaturazione. In una prima fase dell'intervallo libero in superficie, pressa a poco nei primi 30 min', i tessuti veloci, che sono anche i più carichi, potrebbero in teoria scaricare anche verso i tessuti più lunghi che come tali

Fig. N°2



hanno però, molto probabilmente, una accettazione quantitativamente poco significativa. Pertanto per questa prima fase si può tranquillamente affermare che tutti i tessuti scaricano verso l'esterno ciascuno secondo le caratteristiche del proprio Periodo (T). Si arriva poi ad un punto d'incrocio dopo del quale il tessuto veloce, almeno in un primo tempo, continua la sua desaturazione prevalentemente verso l'esterno dove la differenza di pressione parziale è maggiore. In

Fig. N°3



| | | Fig. N°4 |
|--|-------------|----------------------------|
| dopo 20' a -30 m | | |
| T20 | PpN2 = 2000 | mBar |
| T60 | PpN2 = 1289 | |
| T120 | PpN2 = 1052 | |
| dopo 30' di intervallo libero in superficie | | |
| T20 | PpN2 = 1380 | |
| T60 | PpN2 = 1146 | |
| T120 | PpN2 = 1012 | |
| dopo 60' (il calcolo della desaturazione è relativo all'intervallo da 30' a 60') | | |
| T20 | PpN2 = 1081 | |
| T60 | PpN2 = 1045 | |
| T120 | PpN2 = 979 | |
| dopo 120' (da 60' a 120') | | |
| T20 | PpN2 = 835 | |
| T60 | PpN2 = 923 | è un aumento significativo |
| T120 | PpN2 = 927 | |
| dopo 240' (da 120' a 240') | | |
| T20 | PpN2 = 915 | |
| T60 | PpN2 = 925 | è pressochè costante |
| T120 | PpN2 = 914 | è in desaturazione |

Tabella dei calcoli usati per la definizione delle curve di cui alla Fig. N° 3.

una seconda fase il tessuto lento è previsto che debba scaricare non solamente verso l'esterno, ma anche nel tessuto veloce non solamente perché la differenza di pressione parziale tra i due tessuti è più significativa, ma perché anche l'accettazione del tessuto veloce è più significativa (6).

Se una eventuale immersione ripetitiva interviene dopo il punto d'incrocio, poiché nel calcolo dell'azoto residuo fa testo il tessuto più lungo, in quanto è quello che deve ancora scaricare, si può arrivare ad un tempo di penalizzazione che non tiene conto del fatto che un tessuto veloce potrebbe avere una pressione parziale d'azoto maggiore di quella teorica alla quale si arriva partendo da 800 mBar, e nella successiva decompressione dovrebbe essere considerato come il primo tessuto direttore. Le norme di comportamento che discendono da questa ipotesi sono :

1) Le ripetitive più profonde con tempi di penalizzazione più brevi sono le più a rischio di MDD.

2) Sono meno a rischio di MDD le ripetitive eseguite a quote inferiori (meno profonde) di quella della prima immersione.

3) Sono meno a rischio di MDD le ripetitive che vengono effettuate nell'intervallo libero in superficie che va da 30 min' a 120 min'.

Se consideriamo il tessuto veloce (T 20) come saturato durante un tempo trascorso in superficie sufficientemente lungo perché il fenomeno della diffusione intercompartimentale abbia avuto modo di manifestarsi, allora possiamo anche quantizzare la quota da non superare nella ripetitiva in - 18. Vediamo perché. Per un tessuto avente un T 20 possiamo adottare un CS 2.10. A - 18 m abbiamo una pressione assoluta di 2.8 Bar e una pressione parziale dell'azoto nei tessuti saturi dell'80%, vale a dire 2.24 Bar. La minor pressione assoluta alla quale si può andare è :

$$PA = PpN2/CS = 2.24/2.10 = 1.15 \text{ Bar}$$

Quindi il tessuto di 20 min', anche se saturo di N2, consente la risalita fino a 150 cm dalla superficie, cifra che possiamo tranquillamente arrotondare in questo caso fino alla emersione completa (fig. 5).

- 1) Le ripetitive più profonde della prima immersione sono le più a rischio di MDD.
- 2) Sono meno a rischio le ripetitive eseguite a quote meno profonde della prima immersione.
- 3) Sono meno a rischio le ripetitive eseguite nell'intervallo libero in superficie che va da 30 a 120 min'.

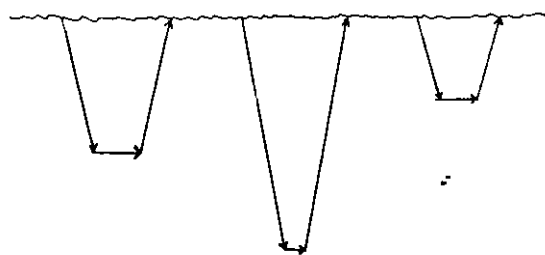


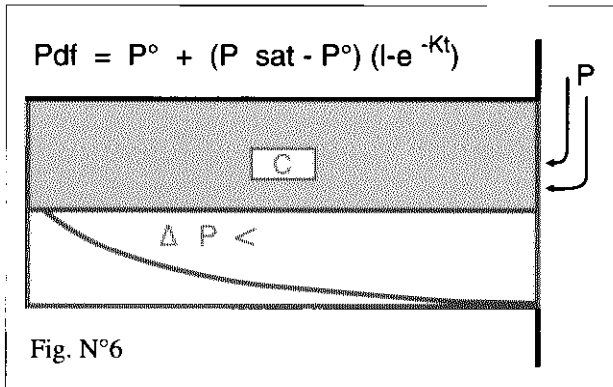
Fig. N°5

Per profondità maggiori bisogna rispettare delle tappe. Considerando la velocità di risalita che, per alcuni computers in quelle quote, è anche inferiore a 10 m. min', la desaturazione del tessuto T 20 durante la risalita stessa è tale che alcuni autori autorizzano la ripetitiva a - 24. Io ritengo che questa quota sia praticabile se la ripetitiva interviene a circa 60 min' dalla prima immersione. Infatti abbiamo ipotizzato che quel tempo d'intervallo libero in superficie, la desaturazione dei tessuti intervenga separatamente per ciascuno di

essi verso l'esterno, e ciò consentirebbe al tessuto di 20 min' di abbassare il proprio contenuto di gas inerte al punto tale da consentire la risalita da quote più profonde nel rispetto del proprio CS.

3° IPOTESI

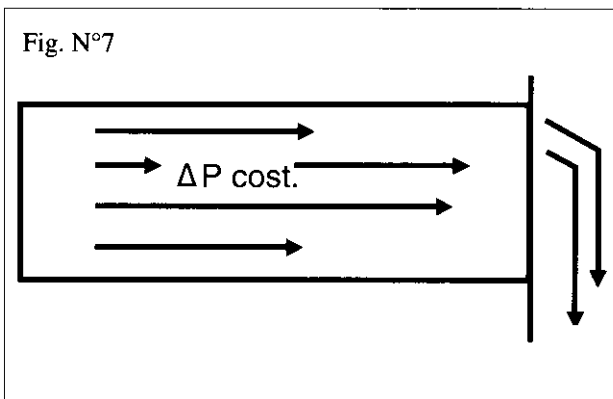
Una ulteriore ipotesi che al momento non sottintende alcuna indicazione pratica è la seguente: Ipotizziamo il caricamento di un compartimento C (Fig.6) con un gas inerte trasportato dal capillare P .



Il compartimento accumula il gas inerte con progressione nel tempo e la differenza di pressione ΔP esistente tra il capillare ed il fondo del compartimento diminuisce secondo un andamento esponenziale in funzione del tempo e secondo un modulo di caricamento che contraddistingue un compartimento dall'altro (tessuti e relativi tempi di semisaturazione).

L'equazione che esprime questo fenomeno è quella ben nota esponenziale di Haldane, utilizzata fino ad oggi per calcolare l'assorbimento dei gas inerti nei nostri tessuti.

Il fenomeno cambia quando al diminuire della pressione ambientale il gas lascia il compartimento per refluire nel capillare. Il sangue c'è scorre nel capillare elimina il fenomeno del fondo cieco e costituisce un rateo di eliminazione



che condiziona il ΔP esistente tra il sangue ed il compartimento (Fig 7) Si può ipotizzare che l'eliminazione del gas avvenga non più secondo un andamento esponenziale, ma secondo un andamento lineare. L'equazione da usare potrebbe essere quella di Fick relativa alla diffusione di un gas in un mezzo fisico.

$$Q_{\text{gas}/t} = \Delta P K \frac{\text{Superficie di attraversamento}}{\text{Spessore di attraversamento}}$$

dove :

$Q_{\text{gas}/t}$ = quantità di gas che attraversa il mezzo nell'unità di tempo.

ΔP = differenza di pressione parziale del gas tra le due estremità del mezzo.

K = caratteristiche intrinseche del mezzo.

Anche nella applicazione di questa seconda equazione intervengono variabili biologiche non tutte facilmente quantizzabili, ma che comunque altererebbero solamente i valori numerici, ma non la linearità del fenomeno nel suo insieme.

RIASSUMENDO E CONCLUDENDO

Il computer è uno strumento che vuole un utente informato sulle sue caratteristiche e in grado di valutarne criticamente l'operato. Tale utente deve essere anche il soggetto di una attività controllata di produzione di dati che aiutino a ricercare le modifiche da apportare agli algoritmi originali di calcolo. Il computer, dando la certezza del calcolo estemporaneo, è lo strumento che può aiutare a mettere a punto se stesso.

SUMMARY

The common opinion of the physiologists is that the curves of absorption of the inert gas in the tissues of human body are not specular with the curves of the release of the same gas. This phenomena depends by the fact that a lot of factors are involved in the algorithm used for the calculation of the inlet and the outlet of the gas with different interference between the two phases of the saturation and desaturation. Unfortunately, at the moment, the physiologists are not able to give to that factors the more appropriate mathematical values, so they can only suggest to the divers the observance of some criteria of safety.

Indirizzo dell'autore: Prof. Cesare Barnini
Corso Plebisciti, 15 - 20129 Milano
Tel: 02 716608

BIBLIOGRAFIA

- (1) A.A.Buhlmann - Behavior of dive computer algorithms: experience and needed modifications Undersea and Hyperbaric Medicine Supplement to Vol.20 - July 1993 -
- (2) M.H.Hahn - Workman-Buhlmann algorithm for dive computer : a critical analysis - Undersea and Hyperbaric Medicine - Supplement to Vol.20 July 1993 -
- (3) C.Edmonds - Misuse of algorithms in dive computers : need for validation - Undersea and Hyperbaric Medicine - Supplement to Vol.20 - July 1 99 3
- (4) J.Hardy - Review of current dive computers with critique and recommendations - Undersea and Hyperbaric Medicine - Supplement to Vol.20 - July 1993 -
- (5) A.Vik, B.M.Jenssen, O.Eftedal, and A.O.Brbbak Relationship between venous bubbles and hemodynamic responses after decompression in pigs Undersea and Hyperbaric Medicine - Vol.20 September 1993 -
- (6) C.Barnini - Tabelle di decompressione e computer subacquei : attualità - Medicina Subacquea ed Iperbarica N°9 Marzo 1993 -
- (7) P.Pelaia, D.Sbardella, M.Rocco, C.Costanzo, S.Catoni Evaluation of the computerized decompressive tables by means of Doppler technique: preliminary results E.U.B.S. XVIII Annual meeting - Basel Switzerland September 1992 -
- (8) A.J.Arutzen - Guide-lines of dive computer algorithms E.U.B.S. XVIII Annual meeting - Basel Switzerland September 1992
- (9) D.Zannini, L.Magno - Tabelle e decompressimetri realtà e fantasia - Atti del IX Congresso Nazionale della S.I.M.S.I. - Lerici (la Spezia) 28-30 Settembre 1990.
- (10) I.M.Holmen, V.Flook, A.L.Ustad, A.O.Brubbak - Uptake and Washout curves for nitrogen in pigs - E.U.B.S. XIX Annual meeting - August 1993 - Trondheim Norway -