

Dr. C. Costanzo

DIRETTORE SANITARIO CIR - CENTRO IPERBARICO ROMANO - ROMA

Le prime ricerche volte a formulare le tabelle di decompressione si devono ad Haldane che nel 1908 pubblicò uno studio effettuato sui lavoratori sottoposti ad alte pressioni.

La teoria di Haldane basava i suoi fondamenti su quattro principi:

- L'assunzione e l'eliminazione di un gas inerte da un dato tessuto avviene in forma esponenziale;
- La velocità di saturazione varia da tessuto a tessuto e dipende dalla solubilità specifica del gas per quel tessuto e dalla velocità alla quale il sangue giunge al tessuto;
- La fase decompressiva viene attivata da una riduzione della pressione barometrica;
- La pressione del gas all'interno dei tessuti non dovrebbe essere superiore a due volte circa la pressione ambiente (rapporto di Haldane 2:1)

Tra gli anni 1930/50 la U.S. NAVY modificò il modello di Haldane dal momento che alcuni profili decompressivi erano alquanto restrittivi, mentre altri, soprattutto nelle immersioni ripetitive, determinavano una maggiore incidenza della malattia da decompressione.

Le modifiche più importanti, apportate dalla U.S. NAVY, riguardavano il limite della sovrasaturazione, indicato da Haldane come rapporto 2:1. Mediante approfondite ricerche è stato possibile affermare che questo limite è diversificato per ogni tessuto ed è maggiore per i tessuti a bassi $T/2$, mentre per i tessuti ad elevato $T/2$ il rapporto è prossimo al valore indicato da Haldane. Ne deriva che ciascuno dei differenti compartimenti teorici sarà caratterizzato da una specifica P_p di gas inerte, che può essere tollerata senza dar luogo alla formazione di bolle. Questa P_p critica viene definita valore M espressa in unità di pressione.

Un'ulteriore modifica è stata apportata con l'introduzione di un tessuto a $T/2$ di 120 minuti per le immersioni in basso fondale con lunghe decompressioni e per le immersioni ripetitive. L'impiego del tessuto pilota con $T/2$ di 120 minuti garantisce una completa desaturazione in un tempo massimo di 12 ore. Oggi si parla di compartimento al posto di tessuto mettere in evidenza il fatto che la teoria fornisce solo una simulazione della fisiopatologia umana e che nei più recenti studi (Rodgers and Powell) non si considerano più le macro regioni ma soltanto le

microregioni. Le ricerche, fino ad oggi analizzate, ci consentono di affermare che esistono due sistemi teorici per il calcolo delle tabelle di decompressione. Il primo segue un andamento esponenziale e si basa sulla teoria di Haldane (E-E). L'andamento esponenziale prevede che l'assunzione e l'eliminazione del compartimento avviene nello stesso arco di tempo. In altre parole, la cinetica e la velocità del processo della fase di assorbimento ed in quella di eliminazione si presume possono essere simmetriche.

Il secondo sistema, pur assumendo come presupposto la teoria haldaniana, presenta alcune modifiche al sistema e viene denominato algoritmo ad eliminazione controllata (E-C). Questo modello si diversifica dal precedente in quanto in fase di eliminazione del gas inerte (desaturazione) prevede un fattore di correzione specifico che ne prolunga il tempo di eliminazione. In questo modo il calcolo delle immersioni successive diventa più restrittivo per il "Botton Time" in curva di sicurezza.

Le teorie Haldaniane con le relative modifiche sono servite per creare delle apparecchiature (computers) che permettessero di poter eseguire dei profili di immersioni analizzando teoricamente l'assunzione e l'eliminazione dell'azoto nei vari compartimenti dell'organismo umano.

Il computer subacqueo, al di là della logica matematica con cui ragiona, ha un flow chart di gestione dati analoga che può essere così schematizzata: Un sensore di pressione, ad algoritmo decompressivo, un timer. Così assemblati i computers sono in grado di acquisire informazioni sulla profondità e sul tempo di immersione, elaborandoli successivamente in tempo reale secondo una logica che segue un modello decompressivo o algoritmo.

Vediamo cosa succede se si esegue una immersione a -37 metri per 13'. Il compartimento che raggiunge per primo il limite di saturazione è quello con emitempi di 5 min. Questo sarà quindi il compartimento "pilota" o "guida" cioè in questo specifico rapporto profondità e tempo controlla l'immersione. A questo punto se si vuole rimanere in curva di sicurezza il computer indicherà che bisogna risalire.

Se invece raggiungiamo una profondità di 24 mt. per 31' vediamo che il pilota non è più quello a 5' ma quello a 20' in quanto è il primo che raggiunge il limite di saturazione ammissibile.

In base a queste osservazioni, che il compartimento "guida" cambia secondo la profondità, il computer ci permette di effettuare delle immersioni multilivello consentendoci eseguire delle immersioni con tempi più lunghi senza necessità di decompressione.

Per esempio, se riprendiamo l'immersione di prima, cioè lineare, a -37 mt. per 13' abbiamo detto che il compartimento pilota era quello di 5'.

Se invece raggiungiamo una profondità di 24 mt. per 31' vediamo che il pilota non è più quello di 5' ma quello di 20' in quanto è il primo che raggiunge il limite di saturazione ammissibile.

In base a queste osservazioni, che il compartimento "guida" cambia secondo la profondità, il computer ci permette di effettuare delle immersioni multilivello consentendoci di poter eseguire delle immersioni con tempi più lunghi senza necessità di decompressione.

Per esempio, se riprendiamo l'immersione di prima cioè lineare, a -37 mt. per 13' abbiamo detto che il compartimento pilota era quello di 5' e che dopo 13' il computer ci indicherà che dobbiamo risalire, ma non necessariamente alla superficie.

Infatti, risalendo a 21 mt. il tempo di immersione residuo aumenta in quanto il compartimento a 5', che controllava l'immersione a -37 mt., non sarà più il compartimento "guida" a -21 mt. perché ha una saturazione ammissibile maggiore di quanto potrebbe saturarsi a questa profondità.

Dopo 12' a -21 mt. il compartimento con emitempo di 20' divenuto quello guida, avrà una saturazione ammissibile e il computer indicherà che il tempo di immersione residua è 0 e quindi bisognerà risalire se vogliamo tenere l'immersione in curva.

Risaliremo allora a -15 mt. Dopo un tempo totale di immersioni di 40' il compartimento che per primo raggiunge il limite di saturazione è quello con emitempi di 40'. Potremmo continuare fino ad arrivare a pochi metri dalla superficie sempre in curva di sicurezza, ma il nostro esempio ci consente di fermarci anche qui.

Paragonando questo tipo di immersione con un'immersione rettangolare (utilizzando le tabelle) il dato tabellare dovrebbe essere una -37/40' che sicuramente non ci consente di rimanere in curva di sicurezza.

Infine vediamo cosa succede nelle immersioni ripetitive secondo i vari algoritmi.

Consideriamo la prima immersione cioè a -37 mt. per 13' dove abbiamo detto il compartimento pilota è quello a 5'.

In superficie la curva di saturazione di questo compartimento mostra un piccolo decremento dal suo limite per effetto della risalita. Dopo 30' dall'emersione, secondo la U.S. NAVY e che è anche la teoria delle tabelle ripetitive, (modello ad eli-

minazione lineare) prevederebbe un residuo d'azoto nei compartimenti.

Ricordiamo che le U.S. NAVY postulano che in fase di desaturazione tutti i compartimenti eliminano azoto alla velocità con emitempi di 120'.

Una diversa situazione la troviamo nei modelli ad eliminazione esponenziale (E-E). Ricordiamo che il modello E-E assume che l'eliminazione e l'assunzione d'azoto avvengono alla stessa velocità.

Come risultato di questa assunzione il compartimento con emitempi da 5' dopo soli 30' di intervallo di superficie non ha residuo d'azoto.

Come sappiamo ci vogliono circa 6 periodi per saturare quasi completamente un compartimento. Quindi quello con emitempi di 5' si saturerà dopo 30' (6x5). Se supponiamo che l'eliminazione, in un modello E-E, sia reciproca alla assunzione di azoto ci accorgiamo che dopo 30' il compartimento di 5' non ha residuo d'azoto e quindi risulta come se non fosse fatto l'immersione precedente.

Ritornando, infatti, all'algoritmo della U.S. NAVY come abbiamo già detto il compartimento con emitempi 5' si saturerà dopo 30' ma in fase di desaturazione i tempi saranno molto più lunghi in quanto il tessuto pilota è quello a 120' che moltiplicando per 6 periodi, sono 12 ore. La PADI ha ritenuto che il modello E-E non fosse troppo conservativo per immersioni sportive e quindi nel 1978 commissionò al Diving Science Technology (DSAT) lo studio di tabelle con uso strettamente sportivo.

Nascono così la Recreational Dive Planner che in fase di eliminazione di azoto prendono a prestito le assunzioni del Dr. Rodgers e cioè che il compartimento di riferimento è quello con emitempi di 60': Quindi, in questo caso, la desaturazione completa avverrà dopo circa 6 ore.

Concludiamo con i dati dei risultati condotti dal Dr. Andy Pilmanis (responsabile del Centro Iperbarico di Catalina, California) nel 1979 sulle procedure di risalita.

Sono state eseguite tre immersioni ad una profondità di 30 mt. per 25' in cui differiva solo la procedura di risalita.

Il controllo di eventuali bolle nei subacquei veniva messa in evidenza con flussimetria doppler.

Nella prima immersione veniva fatta una risalita diretta senza sosta alla velocità di 18 mt./min la seconda immersione con risalita con tappa a 3 mt./2 min, la terza immersione risalita con sosta a 6 mt./1' e 3 mt./4'.

In questo test si è visto che la presenza di bolle messe in evidenza nella prima immersione si è ridotta notevolmente nella seconda ed è risultata assente nella terza, mettendo in evidenza che è più importante uno o due stop che una risalita lenta ma continua.