

Introduzione alla decompressione

*scritto da Dan MacKay e riveduto dal Dr. Maureen Lunney
Settembre '99*

Prefazione

L'"arte" della decompressione, è forse l'aspetto meno compreso nel nostro sport. I sub in genere fanno confusione, così come alcuni esperti. Metterò qui molta enfasi sul fatto che le immersioni con decompressione sono molto pericolose se si sottovaluta una buona informazione e un appropriato equipaggiamento. Non c'è che una sola regola "d'oro":

Non c'è anima viva che abbia una comprensione profonda della decompressione relativamente a nessun altro che a se stesso. Punto!

Quello che voglio esplorare in dettaglio in questa introduzione sono alcuni dei fattori che hanno un'influenza sulla decompressione e quali tecniche possiamo usare per minimizzare il rischio di Malattia Da Decompressione.

L'elenco che presenterò è lontano dall'essere esaustivo, ma evidenzia quelli che io considero i fattori più importanti. Per quanto si sa della teoria della decompressione, ci sono solo due cose che sicuramente sappiamo:

Quando respiriamo qualunque gas (normossico, iperossico, ipossico, trimix, heliox o qualsiasi altro miscuglio) sotto un aumento della pressione atmosferica ambientale, (come quando scendiamo in immersione), alcuni dei mix che non metabolizziamo respirando (più che altro i gas inerti azoto e elio, per quanto riguarda questa discussione) sono introdotti in soluzione nel flusso sanguigno.

Dato che questa situazione si inverte con la diminuzione della pressione ambiente (in risalita), il gas inerte che si trova in soluzione tenderà ad uscirne con una velocità direttamente proporzionale alla riduzione della pressione.

Al fine di teorizzare un'equazione ragionevole per compilare le tabelle di decompressione, le industrie si sforzano per sostenere la delicata bilancia tra sicurezza e tempo. L'aspetto sicurezza ha a che fare col lasciare che il gas inerte esca dalla soluzione allo stesso modo in cui è entrato: lasciando le bolle piccole abbastanza da essere eliminate attraverso gli alveoli polmonari. Il tempo è calcolato come il minimo necessario a facilitare l'eliminazione dei gas inerti alla data profondità.

Quello che abbiamo sono delle teorie generali, applicabili alla maggior parte dei sub, in un qualunque giorno. La comunità scientifica, normalmente affronta il problema in 5 fasi:

1. Acquisire dati
2. Creare un modello che descriva i dati in maniera ragionevole
3. Analizzare il modello e descriverlo matematicamente attraverso vari metodi
4. Usare gli algoritmi prodotti dai passi precedenti per predire un evento
5. Verificare la correttezza della previsione con un modello o, in questo caso, direttamente con le immersioni.

Il perfezionamento normalmente è portato avanti da un processo interattivo che coinvolge tutti e cinque i successivi passi, finché non si raggiunge un ragionevole grado di tolleranza nelle previsioni.

Il problema più difficile che sorge applicando questo procedimento alle immersioni (con decompressione) è che abbiamo a che fare con la fisiologia. Per qualche maledetto inspiegabile motivo, le persone non sono tutte uguali. Ma non solo sono fisicamente diverse, il loro stato fisico interiore cambia da momento a momento, di giorno in giorno.

Come un esempio possiamo forse considerare gli atleti professionisti. Osserviamo un gruppo scelto fra i migliori dieci velocisti al mondo. In questo gruppo, i tempi di gara variano meno di mezzo secondo tra il primo e l'ultimo e il vincitore spesso la spunta per centesimi, se non millesimi di secondo. Perché mai in un dato giorno, quando tutti i corridori hanno la possibilità di vincere, uno solo riesce a esprimersi meglio degli altri? Voglio a questo punto ricordare al lettore, che consideriamo un gruppo che si allena ed è controllato rigorosamente.

Fisicamente questi atleti avranno la stessa predisposizione per gli allenamenti e da un punto di vista più ampio, quanto gli è permesso da una predisposizione genetica (N.d.R.: questa frase è veramente ostica per il mio inglese!). Una risposta che si può dare è che uno poteva essere più determinato o meglio riposato degli altri, poteva essere proprio 'al picco' del suo ciclo di allenamento, ma onestamente nessuna di queste è una risposta qualitativa. La risposta corretta è che non si può spiegare fisiologicamente. Potremmo a questo punto dire che gli altri dieci hanno avuto una giornata negativa.

Se si pensa che sia difficile azzeccare il vincitore in un gruppo di velocisti con caratteristiche così simili, pensiamo a quanto sia difficile compilare le tabelle di decompressione. Data la diversità dei sub e delle condizioni di utilizzo, penso che possiamo tranquillamente trarre la conclusione che è impossibile desumere un algoritmo per calcolare le precise reazioni di un sub in termini di un profilo decompressivo sicuro per una data immersione. Le più diffuse tabelle US Navy furono create da dati qualitativi (senza metodologia algoritmica) prendendo sub molto giovani, in buona forma fisica e di salute e facendo far loro immersioni a quote note, decrementando progressivamente la loro decompressione, finché non si beccavano una MDD. Una volta che la MDD di tipo 1 era stata riportata da un numero sufficiente di sub per quel profilo, tornavano indietro all'ultimo profilo sicuro. Bisogna ricordare che erano immersioni controllate, fatte in acqua calda da uomini ben allenati. Fu una piccola sorpresa che quando la gente normale iniziò a usare quelle tabelle ci fu un numero significativo di incidenti da MDD. Così tanti che quelle tabelle furono dichiarate insicure per i normali sub ricreativi.

Questo mi porta a cose come le moderne tabelle d'immersione e ai computer e al motivo per cui sono così come sono. La maggior parte sono molto conservativi. Devono esserlo. Sebbene ci siano dappertutto avvisi che scaricano i costruttori dalla responsabilità quando si usa quel prodotto, bisogna tenere presente che il loro intento è non causare MDD. Per fare in modo che la maggior parte delle persone possa usare i loro prodotti in sicurezza, un produttore prenderà i dati raccolti e userà qualche forma di analisi statistica per disegnare una curva a campana e userà valori molto a destra della curva, in modo da garantire la massima sicurezza. A credeteci o no, un sub può ancora rimediare una MDD seguendo tabelle molto conservative. Il motivo è che potrebbe risultare fuori curva, considerando i singoli fattori di un particolare profilo d'immersione.

Quindi cosa significa, di non immergersi? Beh, se si vuole essere sicuri di non beccarsi una MDD potrebbe essere una buona soluzione. Tuttavia penso che la conclusione più importante sia: **Ogni sub è diverso, ogni immersione è diversa e quello che funziona con uno non funzionerà con un altro.**

Bisogna imparare a conoscersi e a capire quali sono le proprie reazioni alla decompressione. L'immersione con decompressione è sicura, contrariamente a quanto ho detto in apertura. Ma

bisogna sapere veramente ciò che si sta facendo. Tutto ha una causa e un effetto. Pensa solo se risalissi alla prima tappa di decompressione richiesta più veloce di quanto il tuo corpo possa eliminare i gas inerti prima che escano dalla soluzione e si formino delle problematiche bolle: hai grosse possibilità di prendere una MDD, in un modo o nell'altro.

Fattori che influenzano la decompressione

Fattori fisici

Diamo ora un'occhiata più da vicino ai fattori che influenzano le immersioni con decompressione. La popolazione dei sub ricreativi ha condizioni fisiche molto differenti.

Abbiamo tre principali tipi di fisico:

- Endomorfo - poco muscoloso, con un'alta percentuale di grasso
- Mesomorfo - muscoloso, con bassa percentuale di grasso
- Ectomorfo - non muscoloso con una bassa percentuale di grasso

Eviterò di addentrarmi nella descrizione dei tipi di fisico, perché normalmente si tende a degenerare in una discussione tra grasso e magro, perché questo è troppo secco, perché quello è troppo grasso. Tuttavia sottolineo che bisognerebbe essere in condizioni fisiche ragionevoli da poter considerare un'immersione come un hobby. Sto semplicemente descrivendo alcuni dei fattori da considerare per le immersioni con decompressione.

Stato fisiologico

Come ci si sente prima dell'immersione è un fattore influente. Se hai un po' l'influenza o un lieve raffreddore, questo potrebbe avere effetti.

"Chimica" del sangue

[???? Prima frase ????] Una teoria dice che le microbolle prodotte da una decompressione sono trattate come un invasore ostile dal sistema immunitario e i globuli bianchi si fanno avanti per combattere gli intrusi. Se succeda questo o no è fuori dagli scopi di questa discussione, invece, ciò che interessa è che alla fine il sangue e il suo meccanismo di trasporto sono fondamentali per l'eliminazione dal corpo del gas inerte (e altre impurità). Che è sufficiente per includerlo nella nostra lista.

Idratazione

Il livello d'idratazione di un sub in un dato giorno può avere effetti sull'eliminazione dei gas. Potrei pensare che questo fattore sia maggiormente legato alla chimica del sangue, ma si separa abbastanza da poter essere messo in evidenza.

Stress

Il livello di stress sia fisico che fisiologico in un sub avrà una grossa influenza sulla sua risposta alla decompressione. Con l'aumentare dello stress, le più ovvie manifestazioni esterne sono il respiro rapido, la ridotta percezione dell'ambiente e peggio di tutto il panico. Secondo me questo è il più

importante di tutti i fattori che influenzano la decompressione. Oltre che con i sintomi esteriorizzati, il corpo ha a che fare con molti cambiamenti di stato fisiologico che sono conseguenze autonome allo stato di stress. Ci sono cose come un aumento dell'adrenalina che cambiano immediatamente sia lo stato mentale che quello fisico del corpo. Questo provoca un cambiamento radicale nel bilancio di tutto ciò che abbiamo finora discusso. In generale lo stress può essere ridotto o eliminato con la preparazione, l'allenamento e la pratica.

Metodo di respirazione

Non bisogna essere dei guru dello yoga per respirare in modo efficiente. Bisogna sforzarsi di mantenere un ritmo respiratorio profondo e regolare. Questo ha il vantaggio aggiuntivo di diminuire lo stress.

Farmaci

Non prendete farmaci di alcun tipo prima di un'immersione. Le compagnie farmaceutiche effettuano test sui loro farmaci alla pressione di un'atmosfera. Gli effetti sotto pressioni crescenti possono essere estremi e radicali. Se ci si sente abbastanza fiacchi da dover prendere un farmaco, allora bisognerebbe considerare di non immergersi finché non ci si sente meglio.

Oltre ai fattori fisiologici elencati sopra, ci sono anche da considerare i fattori ambientali.

Fattori ambientali.

Temperatura

Sia in acqua che fuori. Quando l'acqua è fredda, il corpo ha la tendenza di ridirigere il sangue dalle estremità verso la parte interna (centrale) del corpo. E' più difficile espellere il gas inerte ancora presente nei compartimenti tessutali delle estremità. In acque fredde assicurarsi la sufficiente protezione termica. In acque calde, non vestiamoci troppo!

Posizione del corpo

Questo è un aspetto della decompressione spesso sottovalutato e che io considero importantissimo. Se in acqua non siamo orizzontali, la capacità di trasferimento dei gas è drasticamente ridotta. Se siamo orizzontali, il gradiente di pressione che agisce sul corpo è più o meno lo stesso in tutto il corpo stesso. Supponendo di essere perfettamente orizzontali il differenziale maggiore sarà tra il torace (dove è più alta) e un punto tra le scapole (dove la pressione è minore). C'è una differenza di circa un piede (N.d.R.: ca 30 cm) al massimo. In posizione verticale il gradiente è molto maggiore. Per una persona alta sei piedi, la differenza sarà di sei piedi. Questo effetto può essere dimostrato indossando una muta stagna. Appena entrati in acqua, in posizione verticale, si può notare la compressione nei piedi, nelle gambe in basso e nello stomaco. Non appena si raggiunge una posizione orizzontale la compressione si distribuisce perché il differenziale di pressione si è ridotto. Inserendo aria nella muta, anch'essa si distribuisce lungo lo stesso gradiente di pressione. Durante una decompressione, il corpo obbedisce agli stessi principi di una muta stagna. Se il sub ha una posizione verticale (come fanno i sub che si tengono a una cima in un'immersione su relitto) la parte bassa del corpo è compressa e incapace di liberare gas alla stessa velocità della parte superiore. L'unica posizione del corpo che assicura una decompressione efficiente è quella orizzontale.

Velocità di risalita

Più è lenta, meglio è. Sotto i 100 piedi (N.d.R. ca 30 m), una velocità di risalita di 60 piedi al minuto (20 mt./min.) è generalmente considerata sicura. Sopra quella quota bisognerebbe usare 30 piedi al minuto (10mt./min.). Più ci si innalza nella colonna d'acqua, più lentamente bisognerebbe

andare. Il motivo è che il maggior differenziale di pressione si trova negli ultimi 30 piedi e ancora di più negli ultimi 10 piedi. Bisognerebbe risalire a 15 piedi al minuto (m/s) negli ultimi 30 piedi (ca 10 mt.).

Sforzo fisico

Non c'è molto da discutere. Applichiamo il buon senso, supponendo che il sub abbia del buon senso da applicare. Un po' di moto leggero può aumentare l'efficienza della decompressione aumentando leggermente il ritmo respiratorio che aiuta ad espellere il gas inerte dal "sistema". Ricorda che non ti stai facendo un favore minimizzando il tuo ritmo respiratorio durante la decompressione. Affinché essa avvenga, deve esserci trasferimento di gas nei polmoni! Rallentare il ritmo respiratorio, rallenterà anche questo processo.

Attrezzatura

L'attrezzatura deve funzionare sempre bene. Non si dovrebbe mai aspettare che qualcosa si rompa per farla revisionare. Dovrebbe esserci una scheda di manutenzione per ogni pezzo del tuo "sistema di sostentamento vitale" (N.d.R. Alla lettera! :-). Bisognerebbe revisionare l'attrezzatura almeno 4 volte l'anno. All'inizio della stagione, tre mesi dopo, ancora altri tre mesi dopo e infine (per chi non si immerge tutto l'anno) prima di mettere via l'equipaggiamento per la stagione.

NOTA: Bisogna mettersi una cosa in testa nella transizione verso immersioni più tecniche. Non esistono cose che vanno 'abbastanza bene' per questo tipo di immersioni. E' necessario avere il meglio dell'attrezzatura di alto livello. E' uno sport costoso, quindi impariamo a convivere. Senza equipaggiamento, non si fa l'immersione.

Gas respirato

Il gas che si respira non ha quasi effetto sulla facilità nella respirazione. Più si va profondi, più il gas che si respira diventa denso. Ricordiamo che il gas respirato arriva dalla pressione ambiente. A 100 piedi (circa 3 atm) il gas arriva a 4 volte la densità che aveva l'aria a 1 atm. Ciò significa che le molecole sono impacchettate molto più strette rispetto a un volume di gas equivalente in superficie. L'aumento di resistenza respiratoria può causare respirazione irregolare. Si può ridurre questo fattore usando ottimi erogatori, che possano fornire maggiori volumi d'aria in profondità o cambiando miscela respiratoria con heliox o trimix, mano a mano che si aumenta la profondità. L'elio è più "leggero".

Ora che abbiamo visto i fattori che possono influenzare la reazione di un sub alla decompressione in un dato giorno, ricapitolerò cosa puoi incorporare nella tua tecnica subacquea per diminuire la probabilità di incidenza di MDD.

- **Butta il tuo computer subacqueo** e acquista un timer di fondo, un orologio di backup e una copia delle tabelle US Navy. Impara ad usarle correttamente, stai attento alle tue reazioni alla decompressione e fai degli aggiustamenti di conseguenza. Perderai meno tempo in acqua appeso a una cima, a meno che quella non sia la parte di immersione che ti piace di più. Per le immersioni in Nitrox, calcola la tua profondità equivalente d'azoto a usa la profondità corretta con le tabelle Us Navy ad aria. Per l'eliox e il trimix usa programmi ben testati, come il Decom e produci tabelle personalizzate. Le tabelle non dipendono dalle batterie ed è difficile che entrambi i cronometri si scassinino allo stesso momento.
- **Rimani in forma fisica e mentale.** Non lo ripeterò alla morte, perché credo che sia chiaro cosa intendo.

- **Stai idratato.** Questo significa non immergersi se non idratati e bere molto prima dell'immersione.
- **Non usare farmaci** di alcun tipo quando ci si immerge.
- **Riduci lo stress il più possibile.** Se sei stressato prima di un'immersione, cancellala. Se noti stress negli altri, faglielo notare e cerca di ridurne la fonte. Se non ci riesci, cancella l'immersione. La maggior parte dello stress in molti scenari d'immersione è dovuto alla mancanza di allenamento e di esperienza. Il rimedio, naturalmente, è di raggiungere l'allenamento necessario e di aumentare gradatamente la difficoltà delle immersioni per raggiungere l'esperienza necessaria.
- **Protezione termica** - In condizioni di acqua fredda, ottieni il caldo e stai caldo. Non entrare in acqua se hai freddo perché da lì in avanti è tutto in discesa per averne di più. Vale anche il contrario. Quando la temperatura esterna è calda e anche l'acqua, prepara prima tutta l'attrezzatura. Infilala la muta all'ultimo momento, indossa l'attrezzatura e buttati in acqua prima possibile. Rinfrescati.
- **Attenzione alla posizione del corpo** in decompressione. Assumi sempre una posizione orizzontale.
- **Adegua la tua velocità di salita** in accordo alla tua posizione entro la colonna d'acqua. Se possibile, nuota un pochino per fare un minimo di attività fisica durante la decompressione.
- **Mantieni un ritmo respiratorio** costante e profondo.
- **Acquista attrezzatura di alto livello** e sottoponila a revisioni regolari.
- **Scegli la corretta miscela** per la profondità che vuoi raggiungere.

Se applichi i principi sopra alla tua tecnica subacquea potrai ridurre drasticamente le probabilità di MDD. Non è una garanzia, comunque. Come in ogni aspetto dell'immersione, il fattore più importante sei tu. Ricorda:

- **Puoi pensare solo a te stesso**
- **Puoi respirare solo per te stesso**
- **Puoi nuotare solo per te stesso**

Dopo daremo un'occhiata a come si applica la teoria alla decompressione e a come farla. Per il momento sarò pertinente alle tabelle e non considero le tabelle personalizzate, personalmente posso dire che non credo di avere mai avuto manifestazioni cliniche di MDD usando aria per le immersioni. Qualche volta è difficile semplicemente dirlo, perché sono un po' messo male. La maggior parte delle volte che esco mi ritrovo a chiedermi se il fastidio che mi sento è più forte che in precedenza. Col trimix ho avuto un po' di incidenti di MDD cutanea (pruriginosa, non chiazata) e uno moderato all'articolazione della mia spalla destra. Tutte le volte ho usato ossigeno puro per mezz'ora in superficie con conseguente recupero completo. In questi casi avevo spinto troppo il DECOM per quella giornata. In tutti i casi stavo usando tabelle che avevo già usato con successo. Non ho avuto incidenti da quando ho iniziato a fare le deep-stop (soste profonde) e ho eliminato i 10' di sosta, cioè aggiungendo i 10' richiesti alla pausa di 20' (N.d.R.: questa non mi è molto chiara!). Uso ancora le stesse tabelle.

Decompressione Parte II - Come la teoria ci influenza

Questa discussione gira intorno ai risultati riguardanti la decompressione nel caso si usi l'aria come mezzo per respirare in tutte le fasi dell'immersione. Questo punto di vista semplifica il campo del problema. Se si usano miscele come trimix, heliox o nitrox, si complicherebbe inutilmente la discussione. Dovrebbe essere sufficiente ricordare al lettore che la teoria che si applica all'aria, generalmente si applica anche agli altri gas. Dico "generalmente" nel senso che solo i principi di base restano validi. I modelli per le miscele gassose sono un po' più complicati di quelli per l'aria.

Quindi: cos'è l'aria? I suoi componenti, per ciò che interessa la pratica, sono l'ossigeno e l'azoto. I puristi argomenteranno che non è sufficientemente corretto e non è vero. L'aria che respiriamo comprende circa il 20.8% di ossigeno (O₂) e circa il 78,2% di azoto (N₂). Il restante 1% è composto da 'gas rari' come elio, argon e metano. La traccia di questi gas non interessa ai nostri scopi ed è considerata come una parte della componente di azoto. Userò il modello di 21% di ossigeno e 79% di azoto.

Se diamo un'occhiata alla tabella periodica degli elementi chimici notiamo che l'ossigeno e l'azoto sono molto simili dal punto di vista molecolare. Il peso atomico dell'azoto è di 14.007 e quello dell'ossigeno è 15.99. Sono uno affianco all'altro nella tavola periodica, 7 e 8 rispettivamente. La differenza nel peso indica che l'ossigeno è un po' più pesante. I loro raggi atomici sono quasi simili, con l'ossigeno che ha un raggio di 0.65 Angstrom e l'azoto di 0.75. Questo ci dice che hanno quasi la stessa dimensione e lo stesso peso. Saranno quindi compressi approssimativamente in un'apertura della stessa dimensione.

La differenza principale tra questi due elementi (e pertanto la decompressione) da un punto di vista fisiologico è che metabolizziamo l'ossigeno. Per definizione, il metabolismo è il complesso di processi chimici e fisici necessari al mantenimento della vita in una cellula vivente o in un organismo. Durante il metabolismo alcune sostanze vengono spezzate per ricavare energia per i processi vitali mentre altre sostanze, necessarie alla vita, sono sintetizzate. Abbiamo bisogno di ossigeno per vivere. La spiegazione semplicistica è che l'ossigeno si combina con gli zuccheri a un livello cellulare per produrre l'energia di cui abbiamo bisogno per vivere.

All'opposto, l'azoto è inerte. Questo significa che non lo utilizziamo nei processi corporei. Tutto ciò è come dire che il genere umano si è evoluto adattandosi a respirare aria approssimativamente al livello del mare, in altre parole ad una pressione di 1 atm che, misurata in libbre per pollice quadrato (PSI) equivale a 14.7. Approssimativamente è l'equivalente di 33 piedi di acqua di mare.

Che succede quando iniziamo a respirare pressioni crescenti d'aria? Beh, un sacco di cose "legali" - dobbiamo obbedire alle leggi. Da sub, ci sono due leggi che dobbiamo conoscere e capire: la legge di Dalton e la legge di Boyle.

Legge di Dalton

Prima di continuare questa strada della discussione, dobbiamo dare un'occhiata al lavoro di un giovane scienziato che si chiama John Dalton (1766-1844). Studiò le proprietà dei gas e il suo risultato principale fu la formulazione della seguente legge, nota come legge di Dalton.

La pressione totale esercitata da una miscela omogenea di gas è uguale alla somma delle pressioni parziali dei singoli gas. La pressione parziale di un gas è la pressione che sarebbe da esso esercitata se tutti gli altri gas della miscela fossero assenti.

Questo è quanto, ma che significa? Che se prendiamola pressione dell'aria a livello del mare, espressa in PSI e conosciamo la percentuale approssimativa della composizione dell'aria, espressa in frazioni decimali (0.208 per l'ossigeno e 0.792 per l'azoto) possiamo ricavare la pressione esercitata da ciascun gas. Questa è chiamata pressione parziale, intendendo una parte del totale. Quindi l'ossigeno ha una pressione parziale di $.208 * 14.7 \text{ PSI} = 3.0576 \text{ PSI}$ (N.d.R.: $.208 * 1 \text{ atm} = 0.208 \text{ atm}$... 'sti c@chcio di anglosassoni, poi si perdono le sonde su Marte...) e l'azoto ha una pressione parziale di $.792 * 14.7 \text{ PSI} = 11.6424 \text{ PSI}$.

Legge di Boyle

Robert Boyle (1627-1691) è stato un fisico Inglese che fece i primi studi sulle proprietà dei gas. Diede un grosso contributo alla comunità scientifica formulando la sua legge che dice:

A temperatura costante, il volume di un gas ideale "racchiuso" varia in modo inversamente proporzionale alla sua pressione

Questo significa che all'aumentare della pressione, un gas riduce il suo volume. Se diamo un'occhiata e cosa vuol dire, legandolo ad aumenti multipli della pressione in atmosfere possiamo desumere la seguente tabella:

ATM	Profondità	Volume
1	0'	1
2	33	1/2
3	66	1/3
4	99	1/4
...		

Un modo facile per ricordarsela è che il volume è il reciproco di una data profondità, espressa in atmosfere assolute (ATM) ad esempio mettete un 1 sopra la data ATA.

Vorrei fare qui una pausa e unire un paio delle idee precedenti. lo SCUBA ci permette di respirare aria alla pressione ambiente, cioè la pressione dell'acqua circostante. Assunto questo, il volume dei polmoni non cambia quando inspiriamo a qualunque profondità, quindi la densità dell'aria che respiriamo aumenta con la profondità. Se stiamo respirando un volume costante d'aria a 4 ATA (99 piedi - 30 m) sarà 4 volte più densa che in superficie. D'altronde questo ci indica anche che la pressione parziale dei gas nel sistema respiratorio è aumentate di un fattore 4. Ciò detto, sappiamo che la pressione parziale dell'azoto a livello del mare è di 11.6424 PSI ($0.792 * 14.7 \text{ PSI} = 11.6424 \text{ PSI}$) e possiamo calcolare la sua pressione parziale a 4 ATA: $4 \text{ ATA} * 11.6424 \text{ PSI} = 46.5696 \text{ PSI}$.

Ora il cuore della discussione. (Sospiro di sollievo collettivo dagli ascoltatori)

A livello del mare siamo saturi di azoto a 11.6424 PSI. Che significa? Semplicemente che tutti i tessuti nel nostro corpo hanno al loro interno una certa quantità di azoto che è mantenuta dalla pressione atmosferica (ambientale) attorno a noi. Un esempio di cosa significa 'saturazione' si ha prendendo un timbit e inzuppandolo in un bicchiere di latte. Dopo un po' il latte si adopera per entrare nel biscotto [??? timbit ??? sarà una specie di biscotto?] finché questo non può più portare altro latte. Per chi è più indirizzato a un approccio scientifico, so che esistono un altro paio di processi in gioco, come l'osmosi, ma permettetemi di non considerarli. Ciò che si deve notare è che dato che il latte è più denso dell'aria, i gas e il nostro corpo reagiscono in maniera simile. La

cosa cui prestare attenzione coi gas è proprio che il livello di saturazione è dipendente dalla pressione che nel nostro caso equivale alla profondità.

A questo punto è necessario definire qualche termine nuovo: compartimento, emi-tempo e tensione. Con un occhio ai modelli decompressivi, i differenti tessuti del nostro corpo, come le ossa, gli organi e il sangue, hanno densità differenti e ciò significa che varia anche il tempo con cui l'azoto vi si inserisce.

Gruppi di tessuti simili sono stati aggregati per formare ciò che chiameremo **compartimenti**. Questo significa semplicemente che un dato compartimento (gruppo di tessuti) assomiglierà o espellerà l'azoto in maniera simile. Il modello più semplice che conosco a oggi, identifica solo 8 compartimenti. La maggior parte dei modelli ne usa 12 o 16 e uno che conosco ne usa 24 e un altro 32. La conclusione è che più compartimenti si controllano (fino a un limite pratico sconosciuto) più il modello sarà accurato. Questo non significa più sicuro, solamente più accurato.

Emi-tempo

E' un identificatore assegnato a ciascun singolo compartimento ed indica la velocità (espressa in 'tempo') che un dato compartimento impiega per caricare o scaricare la metà della differenza tra la tensione e il livello attuale della saturazione d'azoto. Per esempio si dice che compartimenti diversi abbiano un emi-tempo di 5 minuti, 7 minuti, 10 minuti, ecc... Questi valori non sono reali per un vero modello di compartimenti e sono da usare solo come esempio. Per ora lavoreremo attraverso degli esempi.

Tensione

E' la differenza tra il livello attuale di saturazione e quella massima potenziale per una data profondità. Come già detto, a livello del mare siamo saturati a 11.6424 PSI. Questo per tutti i compartimenti. Ci immergiamo a una profondità di 99 piedi (30 metri) e la pressione parziale dell'azoto aumenta a 46.5696 PSI, come già calcolato. Questo è il livello potenziale massimo di saturazione per questa profondità. La tensione subito dopo essere arrivati a 99 piedi è quindi il massimo potenziale meno il livello attuale di saturazione. In questo caso $46.5696 \text{ PSI} - 11.6424 \text{ PSI} = 34.9272 \text{ PSI}$. E' questa pressione differenziale che provoca l'inserimento dell'azoto nella circolazione sanguigna e da qui fino agli altri compartimenti. Pensa al processo in questo modo. Prendi un pezzo di domopak e srotolalo su un telaio o qualcosa di simile. Mettilo parallelo al torace un paio di pollici (circa 5 cm) davanti a te. Metti un dito sul domopak dalla parte esterna in maniera che punti indietro, verso il tuo torace. Per simulare una discesa (e quindi per costruire un differenziale di pressione) inizia a premere sul domopak in modo che inizi a ingrossarsi verso il petto e eventualmente arrivi a toccarlo. Gli effetti di un cambiamento di pressione sono abbastanza immediati e costanti, finché la pressione resta costante. Ora, quello che succede è che il corpo assimila gradatamente l'azoto finché non eguaglia il massimo livello del potenziale di saturazione per quella profondità. Muovere la griglia lentamente verso il petto finché non si appoggia può simulare l'effetto. Il rigonfiamento scompare e la condizione di equilibrio è ripristinata. La risalita causa l'effetto contrario. Il [saran wrap] si gonfierà all'esterno del petto, dato che la pressione parziale dell'azoto nei compartimenti è maggiore della pressione ambiente. E' chiaro da questo esempio che non va bene risalire tanto veloce da fare in modo che la pressione differenziale sia grande abbastanza da far scoppiare il [saran wrap]. Questo simulerebbe la fuoriuscita dell'azoto dalla soluzione per inserirsi nel flusso sanguigno. L'azoto uscito dalla soluzione non può essere espulso, come farebbe normalmente, attraverso la respirazione. Questo si tradurrebbe nell'ottenimento di un caso di MDD.

Esempio di emi-tempo

Dato un compartimento con un emi-tempo di 5 minuti, calcoleremo il livello di saturazione di quel compartimento per un'immersione a 99 piedi (ca 30 m) ad intervalli di 5, 10, 15 e 20 minuti.

Dopo 5 minuti - $[(46.5696 \text{ PSI} - 11.6424 \text{ PSI}) / 2] + 11.6424 \text{ PSI} = 29.1060 \text{ PSI}$
Dopo 10 minuti - $[(46.5696 \text{ PSI} - 29.1060 \text{ PSI}) / 2] + 29.1060 \text{ PSI} = 37.8378 \text{ PSI}$
Dopo 15 minuti - $[(46.5696 \text{ PSI} - 37.8378 \text{ PSI}) / 2] + 37.8378 \text{ PSI} = 42.2037 \text{ PSI}$
Dopo 20 minuti - $[(46.5696 \text{ PSI} - 42.2037 \text{ PSI}) / 2] + 42.2037 \text{ PSI} = 44.3866 \text{ PSI}$
Dopo [x] minuti seguono calcoli.

Come si può vedere, stiamo diventando gradatamente sempre più saturi in quel compartimento, mano a mano che scorre il tempo. Ciò che non è così evidente è che lo stesso processo sta accadendo nello stesso momento a tutti gli altri compartimenti del nostro corpo, ma a velocità differenti. Questo è il motivo per cui un modello a 32 compartimenti è eccessivamente complesso dal punto di vista matematico. L'esempio sopra riguarda solo l'aria come mezzo di respirazione. Quando si aggiunge elio alla miscela e vari gas per la decompressione, si introducono coefficienti di caricamento dei compartimenti diversi e ciascuno deve essere seguito separatamente per ottenere un tempo complessivo che indichi quanto stare a una data profondità mentre si fa la decompressione. Non è certo una cosa banale da gestire. Proviamo solo ad immaginare quanti orologi stanno correndo nel nostro corpo durante un periodo di compressione/decompressione. Aggiungiamo a tutto questo la nozione che non tutti i corpi sono fatti allo stesso modo e si ha un'idea di quanto sia difficile creare un modello generale e il motivo per cui questo tenda ad essere molto conservativo.

Conclusioni

Ho voluto convogliare in questo articolo solo alcuni dei meccanismi coinvolti nella natura della teoria della decompressione così come si applicano alla fisica nella sfera di questo problema. Vista un po' di fisica, è più facile capire cosa succede mentre ci stiamo comprimendo e decomprimendo. La complessità reale della decompressione sta nella fisiologia del problema. Tutti i modelli usano alcuni aspetti della fisica qui descritti alla base della teoria. Quello che succede realmente nel nostro corpo è un'altra storia.