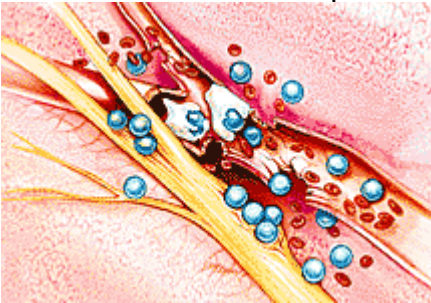


LE PATOLOGIE DECOMPRESSIVE

Come capire ed evitare le patologie da decompressione (PDD)

Tutti voi sapete che le formazioni emboliche costituiscono un problema e che nella maggior parte dei casi derivano dall'azoto. Ma, come per moltissimi sub, la teoria della decompressione e dell'assorbimento e rilascio dei gas nei tessuti, rappresenta un particolare "mistero". Sapere esattamente cos'è una sovraturazione o un compartimento tissutale sono nozioni importantissime. Preferite continuare ad accontentarvi delle imposizioni del vostro computer anche se non ne capite la ragione o desiderate conoscere esattamente ed in maniera semplice, che cosa sta succedendo all'interno del vostro organismo quando respirate aria in pressione? La teoria della decompressione non è così complicata come molti pensano. Infatti è sufficiente che voi abbiate viaggiato almeno una volta in treno per capire i concetti a fondo. E' tutto veramente semplice...credetemi. Cominciamo dalle basi.



Come fa la MDD a causare dolore, paralisi o morte? Siccome le bolle di azoto si raggruppano o si espandono in relazione alla diminuzione della pressione, premono sui terminali nervosi lacerando i capillari. All'interno di vene o arterie, le bolle rallentano il flusso sanguigno e ciò danneggia i tessuti che devono essere supportati dall'ossigeno in soluzione. Un'altra teoria sostiene che i globuli bianchi attaccano le bolle, causando una grossa ostruzione alla normale circolazione.

COME L'AZOTO VIENE ASSORBITO DAI TESSUTI

Dovreste già sapere che l'azoto entra nel vostro organismo attraverso il meccanismo della respirazione di aria compressa e transitando nei vostri polmoni confluisce direttamente nel flusso sanguigno attraverso il quale viene trasportato in tutto il vostro corpo e depositato nei vari tessuti.

Le molecole di un gas allo stato naturale solitamente non si attirano anzi si respingono e la loro "forza di respingimento" viene chiamata pressione di quel gas. Così facendo, le molecole dell'azoto si disperdono tra le cellule sanguigne, superano la barriera delle arterie ed in un certo senso riempiono gli "spazi vuoti" dei vostri tessuti. Quando le molecole dell'azoto sono disperse e mischiate con altre molecole dei vostri tessuti organici, l'azoto entra in "soluzione" ed in questa prima fase non desta preoccupazioni di sorta. Solamente quando le molecole dell'azoto (e le molecole degli altri gas) vengono forzatamente associate o avvicinate esse creano i problemi legati all'agglomerazione che altrimenti vengono denominate bolle o formazioni emboliche. Immaginate un gruppo di conoscenti che entra in un vagone ferroviario. Inizialmente si salutano ma poi quando notano i posti liberi per sedersi velocemente se li accaparrano e si sparpagliano lungo il convoglio.

COS'È LA SATURAZIONE ?

Quando l'azoto o le molecole di altri gas hanno riempito completamente gli spazi

disponibili all'interno di un tessuto, quest'ultimo viene definito saturo. (Il vagone del treno è pieno. Tutti i posti a sedere ed in piedi sono stati occupati.)

Perché la saturazione dipende dalla profondità e dal tempo di immersione ?

Maggiore profondità significa che l'azoto (e gli altri gas respirabili) entrano nel vostro organismo con una pressione maggiore. Un maggiore pressione significa essenzialmente un numero più elevato di molecole di azoto che confluiscono insieme negli spazi disponibili dei tessuti. Le molecole di questo gas, comunque, cercano di andare dove c'è "meno affollamento" ovvero meno pressione. Queste continuano a "spingere" contro il vostro tessuto fino a quando la resistenza che si pone tra loro (pressione del gas) e quelle già presenti nel tessuto non equalizza la pressione di respirazione del gas stesso. A questo punto il raggruppamento delle molecole del gas è lo stesso in qualsiasi zona del tessuto (pressione interna al tessuto uguale alla pressione esterna) e quindi le molecole di azoto vanno in stallo e voi non assorbirete più gas in quel tessuto.

Quante persone possono raggrupparsi all'interno di un vagone ferroviario ? Dipende da quante ne vogliono entrare e da quanto forte spingono.

Ma ciò non avviene istantaneamente. E' necessario che trascorra del tempo prima che la pressione raggiunga uno stato di saturazione. In sostanza: quanta gente entra in un vagone ferroviario dipende anche da quanto tempo vengono tenute aperte le porte.

COSA SUCCUDE QUANDO SCENDETE PIÙ PROFONDI ?

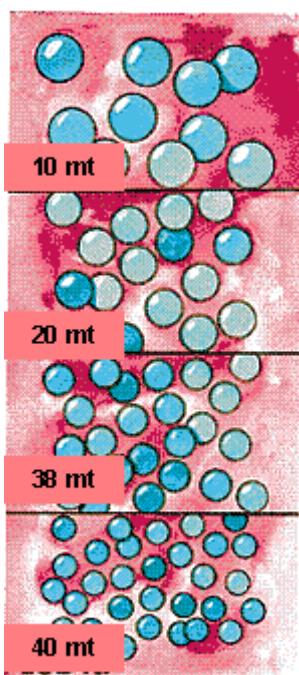
Dopo un determinato periodo di tempo trascorso a 18 metri costanti, i vostri tessuti saranno saturi per quella profondità e quindi non entrerà altro gas. Ma se scendete a 30 metri, l'aumento della pressione causerà un ingresso di ulteriore gas nei tessuti fino a quando non si sarà raggiunto un nuovo livello di saturazione. Pensate al vagone ferroviario che era già pieno prima ancora di raggiungere una stazione super affollata di gente che preme per entrare. Immediatamente il posto libero vicino "all'ubriaccone puzzolente e psicotico" diventa un prezioso rifugio !!! Stringendosi del doppio c'è posto per altra gente che vuole entrare.

Cosa succede quando risalite

Se risalite da 30 a 18 metri, la pressione del gas che respirate è decisamente inferiore a quella presente all'interno dei tessuti che in questo momento vengono definiti sovrasaturi. L'azoto adesso vorrà lasciare il tessuto che occupa e lo farà attraverso il circuito sanguigno ed i polmoni fino a quando non diminuirà la sua pressione ovvero il sovraffollamento di cellule. Naturalmente abbandonando il tessuto causerà una caduta di pressione nello stesso. L'azoto continuerà ad abbandonare i tessuti fino a quando non si ristabilirà un nuovo livello di bilanciamento tra la pressione interna e quella di respirazione del gas.

I tessuti non sono uguali

Semplice no ? Sarebbe semplice se tutti i tessuti del corpo assorbissero e rilasciassero le molecole di azoto nello stesso modo e con lo stesso tempo. Ma così non è. Alcuni impiegano molto tempo per saturarsi rispetto ad altri. E' risaputo (e comunque teorizzato) che migliaia di tessuti, diversi tra loro, all'interno del vostro organismo, raggiungono la saturazione di azoto in migliaia di modi e di tempi diversi passando da un assorbimento istantaneo ad uno lentissimo. Immaginate che alcuni vagoni del treno abbiano più porte e di maggiori dimensioni rispetto ad altri.



La saturazione dei tessuti varia con la profondità. Più profondo scendete, più azoto assorbirete. I tessuti che si sono saturati di gas a 18 metri, in realtà possono assorbire altro gas se scendete a 30 metri. Se si sono saturati a 30 metri possono ancora assorbire a 45 metri e così via.

La teoria non suffraga ciò ma gli scienziati lo confermano: tempi di immersione lunghi causano la formazione di più bolle ed in più tessuti. Infatti maggiori aree di tessuto vengono interessate dalla pressione del gas ed hanno tutto il tempo per raggiungere i loro limiti di assorbimento del gas stesso.

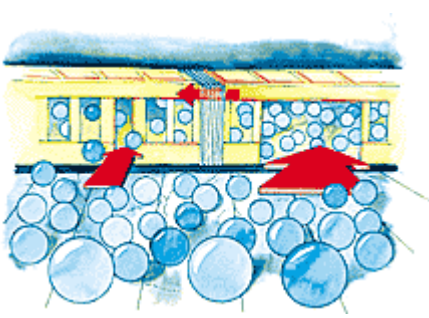
Questo spiega anche perché alcuni tessuti possono sovrasaturarsi e rilasciare azoto mentre altri, nel contempo, stanno ancora assorbendo tale gas. Ad esempio: voi raggiungete il fondo e vi rimanete fino a quando un tessuto veloce non si sia completamente saturato. Un vicino tessuto lento, al termine di questa fase, ha appena cominciato ad assorbire. Se voi risalite di qualche metro, il calo della pressione permette al gas del tessuto veloce, già saturo, di fuoriuscire mentre la maggior parte dei tessuti privi di gas, continueranno ad assorbire.

I TESSUTI SI INFLUENZANO L'UN L'ALTRO

Ancora teoria: è ragionevole supporre che se un tessuto saturo è adiacente ad uno parzialmente o totalmente vuoto, l'azoto potrà transitare direttamente da quello pieno a quello vuoto (principio vasi comunicanti). Se il vagone del treno è connesso e comunicante con un altro, le persone del vagone stracolmo transiteranno in quello decisamente più vuoto. Questo spiega perché i tessuti lenti continuano ad assorbire azoto anche durante l'intervallo di superficie. Lo fanno prelevando parte del gas direttamente da quelli più veloci che confinano con loro e che non sono ancora completamente scarichi

PERCHÉ SI FORMANO LE BOLLE

Ricordate che quando risalite dopo aver raggiunto la saturazione di qualsiasi tessuto (e bastano 5 minuti per quelli più veloci), la pressione che mantiene l'azoto in soluzione all'interno dello stesso diminuisce e l'azoto comincerà ad espandersi ed a fuoriuscire dal vostro organismo. Normalmente se il calo di pressione è più rapido di quanto il vostro organismo riesca ad espellere l'azoto, si formeranno delle bolle di questo gas.



Tessuti diversi assorbono diverse quantità di azoto e con tempi diversi. Immaginate questi così detti gruppi di tessuti come vetture della metro di dimensioni differenti e con porte di ampiezza diversa. Un tessuto lento assorbe e rilascia il gas lentamente (una vettura della metro con porte piccole) un tessuto veloce lo fa più rapidamente (vettura della metro con porte più grandi).

Se troppi passeggeri vogliono uscire da un vagone del treno, tutti alla stessa fermata, cominceranno a spingersi e non riuscendo a “centrare” le porte di uscita, col rischio di rimanere a bordo, si incazzeranno moltissimo e cominceranno a sbattere sulle porte o picchiare sui finestrini. Le bolle non si formano facilmente per il seguente motivo: i tessuti sembra siano in grado di tollerare una determinata sovrappressione prima che si formino delle bolle. Questo valore di sopportazione viene definito “valore M” (M sta per massimo). Purtroppo però, ogni tessuto ha un suo proprio livello di sopportazione ovvero un valore “M” diverso. In generale, i tessuti veloci sembra abbiano un valore “M” molto alto. Essi tollerano meglio le sovrappressione così come assorbono meglio l’azoto rispetto ai tessuti lenti.

PERCHÉ LE BOLLE NON SI FORMANO QUANDO DOVREBBERO ?

Per questo motivo se ad una determinata profondità e per un determinato tempo di immersione potete riemergere senza dover fare sosta di decompressione in risalita, sicuramente sarete arrivati al limite della saturazione di un tessuto veloce il quale grazie alla sua tolleranza elevata (valore M più alto) gli permetterà, grazie ad una risalita controllata, di mantenere lo stato di saturazione dell’azoto al suo interno. Al contrario un tempo di permanenza più lungo alla stessa profondità andrà ad interessare anche l’assorbimento di quei tessuti lenti che hanno un valore “M” più basso rendendo necessaria una sosta di decompressione in risalita.

COSA SONO LE “BOLLE SILENTI” (SILENT BUBBLES)

Sembra che le molecole di gas si raggruppino più facilmente intorno ad un nucleo di un altro gas denominato microbolla o silent bubble. Apparentemente l’azoto mantiene la soluzione nei tessuti anche quando sovrasatura. Questo però fino a quando qualcuna di queste microbolle non fa la sua comparsa. Le molecole dell’azoto si raggruppano intorno ad una microbolla la quale cresce fino a trasformarsi nella classica bolla embolica.

Provate a pensare così: i passeggeri di una treno bloccato in galleria non fanno nulla per tentare di uscire fino a quando qualcuno della sicurezza non rompe un vetro. Allora tutti si muovono e vanno verso di lui per tentare la fuga.

Prima si diceva “apparentemente” perché anche questa è un’altra teoria proposta per primo da A. R. Behnke nel 1942. Lui le chiamò bolle silenziose perché sembrava potessero muoversi liberamente senza causare sintomi di MDD.

Le microbolle che si formano in immersione sono molte. Gli studi con la strumentazione ultrasonica Doppler ci hanno permesso di vedere (in realtà sentire) le bolle nelle vene mentre il sangue fa ritorno dai tessuti verso i polmoni. E sfortunatamente esse sono molto...molto comuni. Si formano in svariate immersioni ma fino a quando si mantengono

all'interno della circolazione venosa, verranno filtrate dai polmoni e non causeranno pericoli.

PERCHÉ LE BOLLE CAUSANO DOLORE PARALISI E MORTE ??

Ancora non si hanno certezze ma queste sono le teorie più accreditate.

Le bolle causano un danno meccanico ai tessuti. Le bolle tendono ad ingrossarsi attirando l'azoto dalla condizione di soluzione tissutale e riunendone le molecole. Esse esercitano una forte pressione sui nervi e possono creare delle micro lacerazioni nei capillari sanguigni. All'interno del torrente circolatorio le bolle rallentano gli scambi gassosi (apporto di ossigeno) e la circolazione e ciò danneggia i tessuti che necessitano di apporto costante di sangue ossigenato. (immaginate un ragazzo che tenta di entrare nel solito vagone del treno affollato, indossando un salvagente gonfio ed ingombrante).

Le bolle causano un danno chimico. L'azoto contenuto all'interno della bolla è di per se inerte ma la bolla stessa è considerata dal vostro organismo come un corpo estraneo. Quando ciò avviene i globuli bianchi la attaccherebbero causando una ulteriore ostruzione in quella zona con conseguente maggiore rallentamento del passaggio di sangue ossigenato. Contemporaneamente tutti i "campanelli di allarme" dell'organismo si attiveranno scatenando una vera e propria guerra chimica del sistema immunitario che procurerà sgradevoli effetti collaterali. (la folla del treno pigia il segnale di allarme. Il convoglio frena bruscamente...tutti rotolano...rompono i finestrini...panico...)

QUINDI COSA POSSIAMO FARE ?

La maggior parte delle cose che si fanno o si praticano sono ancora legate a teorie sebbene vi siano continue sperimentazioni in atto. Comunque a causa dei costi e del reale pericolo vi sono dei limiti oltre i quali non ci si è ancora potuti avventurare al fine di garantire certezze. Considerate inoltre che molte sperimentazioni sono state fatte da sommozzatori militari i quali certamente non possono venire paragonati a nessun subacqueo sportivo, sia per la preparazione fisica che per quella mentale oltre che per i profili e l'esperienza delle immersioni effettuate.

Inoltre, anche tra i subacquei ricreativi vi sono diverse differenze nell'assorbimento e rilascio dell'azoto ovvero a pari condizioni qualcuno potrebbe incorrere in patologie da decompressione mentre altri ne rimarrebbero indenni.

LINEE GUIDA: CONSIGLI PRATICI

Risalite sempre lentamente (soprattutto durante gli ultimi 18 metri) e non saltate mai la sosta di sicurezza o la tappa di decompressione. Una risalita lenta e costante è come una discesa dei passeggeri da un vagone ferroviario, tranquilla e senza spintoni

Per gli stessi motivi non abbreviate mai gli intervalli di superficie.

Non spingetevi mai al limite delle tabelle o del computer. Siccome questi strumenti vi forniscono precisi riferimenti numerici essi tendono a creare nei sub un falso senso di sicurezza.

Vi sono fattori che sia le tabelle che i computer non considerano: la vostra età, forma fisica, livello di idratazione temperatura corporea e stanchezza fisica.

BASI DELLA MDD: BOLLE SILENTI E PROFILI A YO-YO

Un profilo di immersione a "yo-yo" o "dente di sega" (svariate discese seguite da risalite)

può causare più facilmente una MDD che una singola discesa alla stessa massima profondità per lo stesso tempo di fondo seguita da una singola risalita. Perché ?

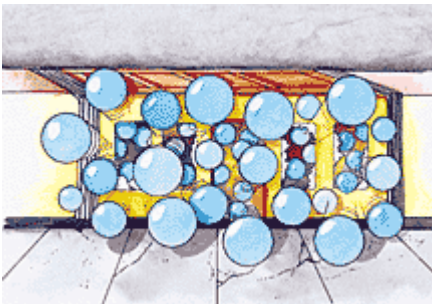
Una teoria si riferisce proprio alle bolle silenziose. Durante la prima risalita l'azoto entra in circolazione sotto forma di bolle silenziose e si muove nel flusso venoso fino ai polmoni. Lì le bolle vengono intrappolate negli alveoli e cominciano ad essere evacuate attraverso la respirazione. Ma se scendete ancora l'aumento di pressione agevola nuovamente l'assorbimento dell'azoto che voi non avete ancora evacuato con la respirazione. Le microbolle intrappolate negli alveoli, in questa fase, si sottodimensionano e possono fluire direttamente nel torrente sanguigno arterioso. Da qui si muoveranno direttamente verso i muscoli, i nervi, il midollo...proprio le zone solitamente colpite da MDD.

BASI DELLA MDD: IN CHE MODO I COMPARTIMENTI SONO COLLEGATI TRA LORO

I ricercatori hanno proposto diversi modelli per spiegare come l'azoto si possa muovere tra due compartimenti tissutali e tra questi ed il flusso sanguigno. Ogni risultato è stato trasformato in un algoritmo ed è servito per dare vita a tabelle di immersione o computer.

Haldane. Un modello definito "parallelo": ogni compartimento si riempie e si svuota indipendentemente e direttamente influenzato dal flusso sanguigno (ogni vagone ferroviario è separato ed isolato). Le tabelle U.S. Navy sono basate su questo modello.

Serie. C'è un modello definito "in serie" nel quale tutti i compartimenti sono immaginati in connessione l'uno con l'altro come in una fila ed il gas entra solo ad una estremità (un treno con una porta solo nel primo vagone ma tutti i vagoni sono connessi con porte comunicanti di varie dimensioni). Le tabelle DCIEM Canadesi sono basate su questo modello.



Quando la pressione in un tessuto saturo cade bruscamente, le bolle di azoto sono come i passeggeri arrabbiati di un treno che rimangono bloccati all'interno e non appena ne hanno occasione escono rapidamente.

EL. Sta per le iniziali di "Esponenziale-Lineare" che immagina tessuti paralleli che assorbono in maniera esponenziale (crescente) e scaricano però in maniera lineare (costante) ed abbastanza lenta. Pensate ad un treno che non possa scaricare velocemente i passeggeri perché ci sono quelli che vogliono salire che intralciano e in più le porte si aprono a rovescio ovvero a favore di chi entra.

Slab. Questo modello asserisce che un solo tessuto venga esposto all'assorbimento dell'azoto e solo in un unico senso (come un lungo treno con un'unica porta in testa). Le tabelle della British Sub-Aqua Club sono basate su questo modello.

La verità è probabilmente un mix di tutte queste teorie come un treno nel quale la maggior parte ma non tutte le carrozze sono comunicanti e non tutte hanno porte di accesso/uscita e dove l'ingresso e l'uscita dei passeggeri dipende da vari fattori. Ma per calcolare un modello simile sarebbe necessario un super computer attualmente non ancora inventato.

BASI DELLA MDD: COSA FANNO I COMPARTIMENTI TISSUTALI ?

John Haldane inventò i compartimenti tissutali assieme alle prime tabelle di immersione nel 1908. Haldane stesso affermò: "noi non sappiamo nulla con certezza. Quindi immaginiamo che ci siano 5 tipi di tessuti. Diamo ad ognuno un tempo differente per saturarsi, lo calcoliamo teoricamente, facciamo delle tabelle, e vediamo se i subacquei accusano MDD". Le nuove tabelle funzionarono così l'idea dei compartimenti tissutali è ancora attuale. Il numero dei compartimenti in realtà è arbitrario. Un maestro potrebbe dividere 100 studenti in 5 gruppi da 20 (A,B,C,D,E,F), 2 gruppi (50/50) o 10 gruppi (90-100, 80-89, 70-79, etc.). E' un modo per semplificare i calcoli che darà comunque il risultato che utile alla pianificazione.

Anche i tempi di saturazione che Haldane assegnò ai suoi compartimenti erano arbitrari. Diede ai compartimenti degli emitempi di 5, 10, 20, 40 and 75 minuti basandosi sulla teoria che la velocità di assorbimento di un compartimento rallenta in maniera esponenziale mentre il compartimento si satura dovuto alla pressione interna che contrasta con quella esterna al compartimento stesso.

Un tempo "esponenziale" significa che il compartimento dei 5 minuti si emisaturerà (riempito al 50%) in 5 minuti. L'altra metà del compartimento rimasta libera si riempirà a sua volta per metà nei secondi 5 minuti (per un totale del 75% dopo 10 minuti). La metà del 25% rimasto nei terzi 5 minuti (per un totale di 87,5% in 15 minuti). E così via fino ad arrivare al 6° emiperiodo (ovvero sesti 5 minuti) dopo il quale il tessuto si può considerare quasi totalmente saturo (98,44%).

Nello stesso tempo, il compartimento dei 10 minuti impiegherà 10 minuti per riempirsi al 50%, 20 minuti per il 75% e così via. Quando il compartimento dei 5 minuti è stato saturato (ovvero dopo 30 minuti – 6 periodi da 5 minuti l'uno – $6 \times 5 = 30$) il compartimento da 40 minuti sarà a meno della metà e quello da 75 minuti avrà appena iniziato ad assorbire.

L'idea di Haldane relativa agli emiperiodi è attualmente utilizzata. I modelli di calcolo più recenti sia di computer che di tabelle hanno semplicemente aggiunto un maggior numero di compartimenti ed hanno ricalcolato gli emi periodi come ad esempio l'algoritmo Bühlmann ZHL-12 che considera emiperiodi di 4, 7.94, 12.2, 18.5, 26.5 e così via fino a 635 minuti.