



## LA NARCOSI DA AZOTO di Stefano Ruia

### 1 - L'EBBREZZA DEGLI ABISSI

*La narcosi da azoto, definita dai medici "sindrome neuropsichica da aria compressa" (legata cioè alla respirazione di aria in pressione), è uno dei fenomeni che i subacquei imparano a conoscere subito, poiché influenza le immersioni a profondità già comprese nella fascia detta "ricreativa", e con la quale tutti abbiamo dovuto imparare a convivere. Eppure ancora oggi la scienza non ha compreso del tutto i meccanismi biologici di questo stato di alterazione psicologica e ottenebramento mentale. Approfondiamo con questo dossier lo "stato dell'arte" su questo fenomeno, tanto comune e misterioso.*

Fu uno dei primi film subacquei che vidi. Era il "Il Mondo del Silenzio" di Cousteau, filmato – come operatore - da quel grande cineasta che sarà Louis Malle. Fu girato nella seconda metà degli anni '50 dello scorso secolo. Beh, non sono così vecchio, ma quando la TV lo ripropose, qualche anno dopo, mi fu permesso di vederlo (allora per guardare la TV dopo "Carosello" i bambini dovevano ottenere – e non era facile - il permesso ... bei tempi!).

Una scena mi colpì molto. Durante una delle consuete "razzie" sui fondali (a quei tempi erano permesse e anzi rappresentavano la spinta più forte all'immersione con le bombole) il subacqueo perdeva il controllo e lo riacquistava solo in risalita. Aveva subito l'influsso della perfida "ebbrezza di profondità". Questo terribile nemico mi metteva in agitazione, soprattutto quando mio padre partiva per andare a caccia subacquea al mare. Allora non facevo differenza fra apnea e autorespiratore. Così, come molti altri subacquei, sono cresciuto con l'idea che gli eroi della "Calipso" (la nave di Cousteau) per primi avessero scoperto questo tremendo fenomeno con cui fare i conti.



Devo dire francamente che rivedendo oggi "Il Mondo del Silenzio", a parte restare sconvolti per le stragi di aragoste (che almeno diventavano involontarie protagoniste del pranzo) e squali (longimanus uccisi solo per "celebrare" l'eterna lotta fra uomo e squalo), si percepisce bene la "ricostruzione" degli eventi realizzata per dare pathos e giuste inquadrature a situazioni magari accadute tempo fa, forse inventate di sana pianta. Ciò non toglie nulla al fascino del film e ai meriti che dobbiamo riconoscere a quegli uomini.

Anche la scena dell'ebbrezza da profondità, ora che ho avuto diverse occasioni di vederne dal vero gli effetti, è oltremodo teatrale e lontana dalla realtà.

## EFFETTO MARTINI

La sindrome neuropsichica da gas compressi è stata definita dai subacquei con molti nomi, tutti legati ai suoi effetti: “ebbrezza da profondità”, “narcosi da azoto”, “narcosi da gas inerte” e persino “fascino degli abissi” perché induceva il subacqueo a scendere sempre più in profondità (Il Com. Cousteau in persona racconta di un tale episodio accaduto a lui stesso). Il nome più buffo affibbiatole tuttavia è “effetto Martini”. Questo nome (si racconta che sia stato un altro parto del famoso Comandante della Calipso) deriva come gli altri dagli effetti indotti. Chi lo ha coniato riteneva che il subacqueo si comportasse in profondità come se avesse bevuto, a stomaco vuoto, un Martini per ogni 10 (c'è chi dice 15) metri di profondità. Ben inteso non si trattava del celebre vermouth, ma del più famoso cocktail fatto con un buon bicchiere di gin, un'oliva e appena una punta di vermouth Martini Bianco! Per anni i subacquei esperti hanno subito e cercato il fascino degli abissi, tanto da non considerare una immersione bella se nel corso della stessa non facevano una breve “puntata” (o “sprofondata”) a quote proibitive. Come dire «No Martini? No immersione!» Poi per fortuna anche per noi subacquei sportivi è arrivato l'elio.



## I primi passi

Quando si scoprì per la prima volta la narcosi d'azoto? Difficile dirlo. Per cercare di scoprirlo dobbiamo prima di tutto fare chiarezza sul nome. I medici la definiscono “sindrome neuropsichica da aria compressa” perché legata alla respirazione di aria in pressione. In realtà sarebbe più corretto dire che è correlata alla respirazione di qualunque gas in pressione, poiché gli effetti di questa sindrome si manifestano con tutti i gas, anche se con modalità e pressioni differenti. Comunque per ora continueremo a chiamarla semplicemente “narcosi da gas”.

Chiediamoci quindi chi sia ad avere respirato i primi gas in pressione. I pionieri degli abissi si immergevano – quando ci riuscivano - con strani apparati. In pochissimi casi i loro sistemi mantenevano il corpo a pressione ambiente. In genere l'immersione avveniva in campana (una sorta di bicchiere rovesciato), dal cui fondo aperto penetrava l'acqua. L'immersione in questo caso avveniva “in pressione”, ma le profondità erano abbastanza limitate, anche se già nel 1663 si raggiunsero i 30 metri, con il recupero dei cannoni del “Vasa”. Ma in questi casi l'uomo che scendeva con la campana aveva ben altri problemi che lo attanagliavano: l'inesistente ricambio dell'aria, il freddo intenso (non aveva mute né vestiti stagni), il movimento impacciato. Insomma se anche avesse sentito sintomi di narcosi, non se ne sarebbe nemmeno accorto!

Il problema diventò più sensibile quando l'uomo cominciò a lavorare nei cassoni pressurizzati. Nel 1835 il francese T. Junod, nel suo articolo “Reserches Physiologiques et therapeutiques sur les effects de la compression et de la rarefaction de l'air tant sur le corp que sur les membres isoles”, riporta per la prima volta esempi di sintomi da narcosi, descrivendoli come un rallentamento, ma euforico, dei processi mentali avanzati, con riduzione della coordinazione neuro-muscolare. In sostanza i lavoratori commettevano errori in compiti anche semplici ed erano soggetti a ottenebramento mentale, oppure improvvisamente si cimentavano in canzoni allora popolari. Forse oggi si potrebbe confondere questa esplosione di canto con un segno di allegria, ma allora c'era poco da stare allegri a fare questo mestiere. Le embolie cominciarono a colpire duramente con morti e invalidità, mentre l'orario di lavoro non era certo comodo se nel 1841 Triger, perfezionatore dei cassoni inventati da Papin, si stupì che un cassonista, in realtà colpito dall'ancora sconosciuta embolia, si lamentasse di un forte dolore a un arto e volesse uscire; pensò che fosse un lavativo, visto che aveva lavorato solo sette ore contro le dodici usuali!

Nel 1861 l'americano J.B. Green riferì di avere provato ottenebramento mentale e di avere avuto allucinazioni durante una discesa alla profondità di 80 metri. In realtà comunque tutte queste prime esperienze erano sporadiche e casuali. Nessuno quindi faceva molto caso al fenomeno.

### I primi studi

Le cose cambiarono quando l'Ammiraglio Inglese iniziò le prove di immersione profonda in mare. Nel 1930 si sfiorò la quota dei 100 metri (in aria) e ovviamente la narcosi divenne il problema principale. I sintomi divennero molto evidenti e diversi da prima. La memoria e la capacità di concentrazione svanivano, gli operatori divenivano isterici, depressi, stupidi, svenivano persino. Tutti questi segni e sintomi sparivano appena l'operatore veniva riportato in superficie.

G. Damont, che collaborò con Haldane allo studio delle tabelle decompressive, nel 1930 ritenne – erroneamente - che queste manifestazioni fossero dovute all'alta pressione parziale di ossigeno. D'altra parte respirare aria a 100 metri di profondità dà luogo a una pressione parziale di ossigeno pari a 2,3 ata, ben lontana dalla 1,4 massima raccomandata oggi ai subacquei ricreativi. Tuttavia se un operatore respirava ossigeno puro a queste condizioni (10-13 metri di profondità) non manifestava sintomi di narcosi.

Nel 1932 Hill and Phillips espressero l'opinione che la narcosi fosse solo una reazione psicologica dell'individuo. Dimostrarono che molte delle persone che avevano manifestato sintomi di narcosi erano in realtà affetti da una leggera forma di claustrofobia, che avevano controllato. Tuttavia presto ci si accorse che cambiando le percentuali di gas cambiavano gli effetti e quindi un fattore oggettivo ci doveva anche essere.

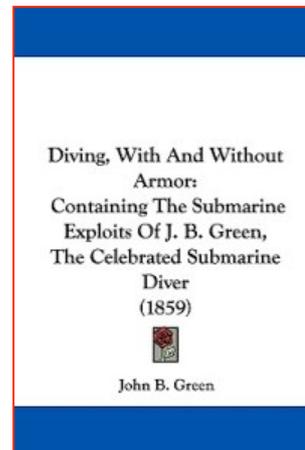
Fu solo nel 1935 che il Prof. R. Behnke, ufficiale medico della U.S. Navy, ebbe una idea fondamentale. La sua teoria dava la "colpa" degli effetti all'azoto in pressione. Per questo negli Stati Uniti si iniziarono a studiare soluzioni alternative, che presupponevano la sostituzione dell'azoto con altri gas.

Prima di diventare famoso per l'ideazione della campana che salverà la vita a molti sommozzatori (per la verità messa a punto, per ordini superiori, da Allan McCann che le darà nome), negli anni che vanno dal 1937 al 1939 Charles Bowers Momsen, detto "Swede" per le origini scandinave, diresse una unità di palombari presso il centro medico nazionale della U.S. Navy. Come ha recentemente ricordato Ninì Cafiero ("H.D.S. Notizie" di maggio 2008) in quegli anni Momsen rimpiazzò l'azoto con elio, perché il primo provocava l'ebbrezza da profondità. Contemporaneamente (estate 1937) anche il Dott. Edgar End, dell'Università di Marquette - a Milwaukee - iniziò a sperimentare l'elio in sostituzione dell'azoto, avendo come palombari d'eccezione il fotografo J.D. Craig e l'Ing. M. Nohl, ideatori dello scafandro che porta il loro nome.

### Sintomatologia

La narcosi d'azoto è simile allo stato di ubriachezza da alcol: dapprima la persona prova una sensazione di torpore, perde la capacità di concentrazione e subisce una riduzione della destrezza manuale. In pratica i sintomi sono simili anche agli stadi precoci dell'anestesia e dell'ipossia.

Scendendo ancora più in profondità si manifestano improvvisi cambiamenti di comportamento: si passa dal riso al pianto; si prova una grande euforia e ilarità; ci si sente estremamente sicuri, salvo



poi cadere improvvisamente in preda al panico. A livello ancora superiore scattano allucinazioni, vertigini, confusione mentale e persino incoscienza.

Molto spesso le persone colpite appena tornano a una situazione di normalità (con la riduzione della pressione) non ricordano assolutamente nulla del comportamento tenuto, anche se estremamente strano e pericoloso. Tanto da negare che il fatto sia avvenuto. Quindi non stupitevi se quasi tutti i subacquei vi diranno che loro la narcosi non l'hanno mai provata! In realtà essa colpisce tutti e in tutte le immersioni, basta respirare gas in pressione.

Possiamo però dire che i suoi segni e sintomi diventano significativi solo dopo una determinata quota.

Quale è questa quota? Dipende. Non c'è un dato fisso che valga per tutti. Per questo molti subacquei parlano del proprio "limite personale", ritenendo non valido per loro quanto vale per la "media" dei subacquei.

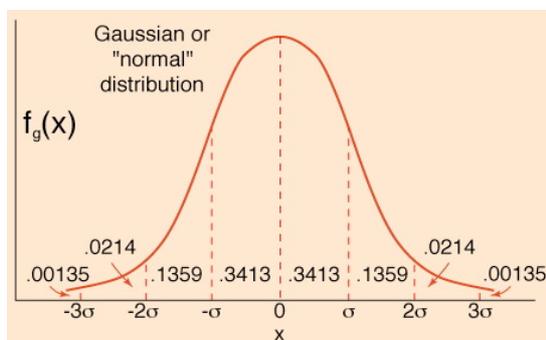
## LA "MEDIA"

Appena qualcuno afferma che un determinato dato è valido per la "media" dei subacquei o per il "subacqueo medio" subito storciamo la bocca e pensiamo che non valga per noi stessi, reputandoci sicuramente "al di sopra della media". Dimostriamo così quanto ciò sia vero ... per il dato di presunzione dei subacquei!

Per la verità ci sono **casi in cui la media ha poco significato**. Facciamo un esempio. In un ufficio lavorano quattro persone: il capo che percepisce 10.000 euro al mese di stipendio, un impiegato che ne prende 2.000 e due segretarie, che ne percepiscono 1.000, possiamo dire che la **media** degli stipendi (o lo stipendio medio) dell'ufficio è 3.500 euro al mese (somma dei quattro stipendi mensili diviso quattro). Il dato non è realistico.

Per questo in statistica si usa definire anche la "**mediana**", cioè il dato riferito a chi sta in posizione centrale (2.000 euro in questo caso) e persino la "**moda**", cioè il dato più frequente (1.000 euro in questo caso). Se avete capito provate a spiegarlo a chi progetta per il fisco gli "studi di settore"...

Se la distribuzione dei dati forma quella bella curva di Gauss, la media, la mediana e la moda coincidono. In questo caso la statistica fornisce supportata da **numerose misurazioni**.



Se la distribuzione dei dati forma quella bella curva di Gauss, la media, la mediana e la moda coincidono. In questo caso la statistica fornisce supportata da **numerose**

In merito a tale argomento il poeta Trilussa faceva notare se un altro mangiava due polli e lui nessuno avevano in media

mangiato un pollo a testa, ma a lui ... la fame restava. In effetti questa situazione paradossale è data dalla grande **divergenza** dei dati (0 e 2) dalla loro media, dovuta al ridotto numero di casi (la convergenza cresce con il quadrato del numero di elementi – persone in questo caso – presi in esame).

Purtroppo per chi dice di non essere affetto dalla narcosi, sembra che la "quota" a cui si sviluppano significativamente i suoi effetti nei subacquei sia proprio una gaussiana...

In ogni caso anche il dato di "limite personale" è poco significativo, in quanto ci sono numerosi fattori che influenzano la suscettibilità alla narcosi: condizioni di salute, freddo, stress, fatica, alta pressione parziale di ossigeno, assunzione di alcolici, medicinali, ecc.

## 2 - COMBATTERE LA NARCOSI

Il fenomeno della narcosi si presenta quindi su due piani: uno essenzialmente fisico e fisiologico, l'altro psicologico. Questa dualità rende più difficile il lavoro di chi vuole scoprirne le cause. Procediamo quindi con ordine, ponendoci una serie di domande essenziali a comprendere cosa possa accadere al subacqueo in profondità.

### Narcosi da gas

Finora abbiamo visto solo alcuni pittoreschi nomi dati a questa sindrome, che in realtà sono molti di più. Solo un sintetico elenco a memoria riporta: "narcosi da gas inerte", "narcosi d'azoto", "ebbrezza di profondità", "estasi di profondità", "estasi degli abissi", "effetto Martini", "fascino degli abissi". Abbiamo già detto che i medici la chiamano "sindrome neuropsichica da aria compressa" o "snac". Ma quale nome è più corretto? Nessuno di quelli elencati.

Con gli sviluppi delle conoscenze su questo argomento probabilmente bisognerebbe coniare un nuovo nome, meno restrittivo. In effetti la narcosi non si limita alla sola respirazione di aria, ma coinvolge altre miscele di gas; non c'è solo ebbrezza ma anche ottenebramento mentale e narcosi; infine gli effetti non sono dovuti al solo azoto. In teoria bisognerebbe quindi parlare di "sindrome neuropsichica da gas compressi". Vediamo quali gas respiratori la possono produrre e con quali effetti.

Abbiamo già scritto che solo nel 1935 furono addebitati all'azoto gli effetti di questa sindrome. Per la verità, come vedremo in seguito, ci furono ancora scuole di pensiero diverso, che rendevano protagonisti il biossido di carbonio (o anidride carbonica), l'ossigeno e la mente umana. Non disprezziamo queste teorie perché probabilmente gli effetti che proviamo in immersione sono dovuti proprio al mix di tutti questi fattori. Siamo noi a essere stati portati fuori strada da nomi semplicistici quali "narcosi d'azoto".

### OSSIGENO E AZOTO

Come tutti sappiamo l'ossigeno ha un ruolo **essenziale per la vita**. L'atmosfera primordiale del nostro pianeta, comunque, era per noi del tutto irrespirabile. C'era l'azoto, il vapore acqueo e tanto biossido di carbonio. Secondo molti scienziati le forme di vita che producevano metano ("metanogeni") dominavano la Terra. Circa 2,3 miliardi di anni fa, tuttavia, iniziò il fenomeno che nel mondo anglosassone è conosciuto come "The Great Oxydation Event", la "**grande ossidazione**". Improvvisamente (in tempi geologici, anche se oggi si ritiene che l'evoluzione sia stata più graduale) l'ossigeno superò il valore di soglia, permettendo anche la formazione dello strato di ozono (una molecola particolare costituita da tre atomi di ossigeno invece dei consueti due) che protegge la superficie terrestre dalla penetrazione di radiazioni ultraviolette ad alta energia. A generare l'ossigeno furono altre forme di vita, ma questo gas era letale per i metanogeni e costituì una potente "arma chimica" per conquistare la superficie del nostro pianeta. Nel tempo la percentuale di ossigeno nell'aria variò significativamente. Da un valore stabile del **10%** nel periodo in cui i dinosauri dominavano il pianeta – salì al **17%** 50 milioni di anni fa e al **23%** 40 milioni di anni fa. Secondo Paul Falkowski, della Rutgers University, a questa crescita di ossigeno corrisponde il rapido aumento dei grandi mammiferi placentati, che soppiantarono gli enormi rettili. Negli **ultimi 10 milioni di anni**, la percentuale di ossigeno nell'atmosfera terrestre è calata fino al **21%**. Noi siamo evoluti in questo ambiente e, quindi, l'azoto è per noi il **diluente "naturale"** dell'ossigeno nell'aria; l'azoto ci permette di vivere senza dovere sostenere i problemi relativi alla respirazione di ossigeno puro. Ciò non significa che l'aria sia il gas "migliore" per le immersioni: l'evoluzione non poteva certo sapere che un giorno l'uomo sarebbe sceso sott'acqua, a pressioni molto maggiori!

Torniamo comunque a questo gas, che resta essenziale per la nostra vita in quanto diluente dell'ossigeno, che sappiamo essere pericoloso se respirato a pressioni parziali elevate. Da quando è stato indicato come colpevole della narcosi (perdonateci ma continuiamo a usare questo termine per maggiore chiarezza), molti studiosi si sono cimentati in ricerche tendenti a quantificare i suoi effetti negativi. I risultati di queste ricerche non sono stati molto convergenti.

Lo studio più famoso è quello di Kiessling e Maag, i quali davano molta importanza all'influenza sui centri nervosi deputati al ragionamento e alla memoria a breve termine, mentre consideravano di minore livello quella sulla coordinazione motoria o sui tempi di reazione. Secondo questi ricercatori infatti, già a 30 metri di profondità si manifestano in media una diminuzione del 33% della velocità di ragionamento, un aumento del 20,85% dei tempi di reazione e una riduzione del 7,9% della destrezza manuale.

Nel 1992, tuttavia, lo studioso Abbraini segnalò che aveva rilevato alla profondità di 60 metri effetti molto diversi: un aumento del 5% nei tempi di reazione, una riduzione del 4% nella destrezza manuale e una diminuzione del 14% nelle capacità matematiche (i test si basavano su semplici operazioni aritmetiche).

Comunque è interessante notare che la diminuzione delle capacità cognitive è in entrambi gli studi preponderante rispetto alla diminuzione delle prestazioni fisiche. I soggetti dei test si lamentavano del fatto che eseguire semplici operazioni in profondità richiedeva una concentrazione molto superiore a quella necessaria per svolgerle in superficie; in alcuni casi ammettevano di essersi resi conto di avere commesso degli errori ma di sentirsi incapaci di correggerli. Ancora una riprova che lo stato di ottenebramento mentale è una caratteristica comune che precede effetti più gravi.

### **Altri gas**

Reputando negativi gli effetti della respirazione di azoto in profondità, già nel 1937 la U.S. Navy, con le ricerche di Charles Bowers Momsen, sostituì nelle miscele respiratorie dei palombari questo gas con l'**elio**. Contemporaneamente anche il Dott. Edgar End, dell'Università di Marquette - a Milwaukee - iniziò a sperimentare l'elio in sostituzione dell'azoto e insieme all'Ing. M. Nohl crearono delle tabelle d'immersione per miscele elio-ossigeno ("heliox") che permisero una discesa record a 128 metri di profondità nello stesso anno.

Forse non fu un caso ma certamente fu una scelta fortunata, destinata a un grande successo. Infatti, per motivi ancora non del tutto chiari, l'elio non induce praticamente alcun sintomo di narcosi, neanche oltre i 400 metri di profondità! Inoltre essendo estremamente leggero (il suo peso molecolare è un settimo di quello dell'azoto) riduce al minimo gli sforzi respiratori, con grandi vantaggi per l'eliminazione del biossido di carbonio, come vedremo in seguito.

La scelta dell'elio al posto dell'azoto diede subito vantaggi significativi. Il 23 maggio del 1939 la U.S. Navy riuscì nell'entusiasmante recupero prima dell'equipaggio e poi dell'intero sommergibile "Squalus", bloccato sul fondo a 74 metri di profondità. Furono svolte oltre 600 immersioni, più della metà delle quali (quelle sul fondo) utilizzando heliox come miscela respiratoria. La strada della subacquea commerciale e militare si avviò quindi a grandi passi sull'utilizzo di miscele elio-ossigeno per tutte le immersioni profonde. La subacquea sportiva nacque effettivamente poco dopo, ma tenacemente legata all'aria come miscela respiratoria. Quando nel 1947 Frédéric Dumas, "l'uomo pesce" compagno di Cousteau e Taillez, stabiliva l'allora incredibile record di 93 metri ad aria con autorespiratore ed erogatore monostadio, Bollard già scendeva, con uno scafandro alimentato a heliox, alla profondità di 164 metri!

Non bisogna pensare che l'elio sia la soluzione perfetta, senza pericoli. A parte quello del fallimento economico (visto il costo attuale e le previsioni di crescita future!), presenta diversi possibili rischi, tutti però correlati alla discesa a profondità oltre i 150 - 200 metri. A queste profondità anche l'elio induce infatti sindromi da gas compressi, che colpiscono diversi apparati: HPNS (sindrome neurologica da alta pressione), HPRS (sindrome respiratoria da alta pressione), HPAS (sindrome articolare da alta pressione). Tuttavia poiché gli effetti sono molto diversi dalla narcosi (in un certo senso persino opposti), le due sindromi non dovrebbero essere correlate fra loro.

## GAS E NARCOSI

Indice di non narcoticità.

Gas	peso molecolare (uma)	Indice di non narcoticità
Idrogeno (H <sub>2</sub> )	2	1,83
Elio (He)	4	4,46
Neon (Ne)	20	3,58
Azoto (N <sub>2</sub> )	28	1,00
Argon (Ar)	39	0,43
Cripton (Kr)	84	0,14
Xeno (Xn)	131	0,04
Ossigeno (O <sub>2</sub> )	32	?

In tabella riportiamo diversi gas utilizzabili per miscele sintetiche e due valori essenziali ai fini della comprensione delle loro caratteristiche. Il primo valore è il peso molecolare (cioè della molecola) – approssimato al valore intero – in unità di massa atomica. **Più questo valore è basso più il gas è leggero**, quindi facile da respirare. Il secondo valore, che spesso appare su molti testi, è un indice di “non narcoticità”, computato rispetto all'azoto. Ovvero se tale indice è 2 significa che il gas ha un potere narcotico pari alla metà di quello dell'azoto. In teoria quindi **più tale valore è alto minore è il potere narcotico del gas**. Si noti tuttavia che questo indice può solo dare un'idea (per l'idrogeno sicuramente sottostimata) della “non narcoticità” del gas, in quanto esso è calcolato solo attraverso il rapporto fra la liposolubilità dell'azoto e quella del gas. In realtà quindi esso significa solamente che l'idrogeno, elio e il neon sono **meno solubili nei grassi** rispetto all'azoto, mentre gli altri gas in tabella sono **più solubili**. Per l'ossigeno è indicato un punto interrogativo in quanto il fatto che sia narcotico è ancora **argomento molto controverso** nella comunità scientifica.

Per ridurre la narcosi, al posto dell'elio si potrebbe usare altrettanto bene il **neon**, in teoria leggermente più narcotico e con un comportamento simile ai fini decompressivi. Tuttavia poiché il neon costa moltissimo si preferisce in genere non utilizzarlo.

Fu lo stesso Prof. Albert R. Behnke, colui che per primo notò che a ottenebrare le facoltà mentali era l'azoto, a scoprire che i gas inerti più densi, come l'**argon**, il **cripton** e lo **xeno** provocano inconvenienti ancora prima dell'azoto. Non solo sono molto più densi, ma anche più narcotici. Il consiglio che viene spesso dato di aggiungere dell'ossigeno all'argon per il gonfiaggio della muta stagna, affinché diventi respirabile in emergenza, lascia quindi molti dubbi, sia in fatto di decompressione che di shock narcotico (“botta narcotica” per la vecchia guardia dei subacquei).

L'**idrogeno** è un ottimo gas respiratorio per alte profondità, sebbene teoricamente il suo potenziale narcotico sia molto più alto dell'elio (ma sempre inferiore a quello dell'azoto). L'idrogeno è stato il grande protagonista delle mitiche discese degli uomini della Comex. Lo studio delle sue miscele si avviò con la campagna “Hydra” (1968–1996) e permise di raggiungere risultati eccezionali: immersione singola a 90 metri; lavoro subacqueo in mare a -534 metri; saturazione con immersioni in camera bagnata a 710 metri di profondità. Infine ci furono gli esperimenti con animali a profondità di 1.000 metri in Hydrox e 1.200 metri in Hydrellox! Insomma l'idrogeno può veramente aprire le porte degli abissi, tuttavia il

suo grande inconveniente è che se usato in una miscela con percentuale di ossigeno superiore al 3,8% ... la rende esplosiva! Anche se si pensasse di usarlo molto in profondità (bassissime percentuali di ossigeno), prima di respirarlo bisogna comunque lavare bene i polmoni dall'ossigeno residuo lasciato dalla miscela precedente. Insomma una bella complicazione d'uso!

### **Ossigeno narcotico**

A parte il diluente (azoto, elio o altro gas che sia) concentriamo ora la nostra attenzione sull'elemento indispensabile di ogni miscela respiratoria: l'ossigeno. Ad alta pressione, oltre ai problemi di tossicità al sistema nervoso centrale e a quella polmonare, può indurre narcosi? La verità è difficile da stabilire con prove in quanto l'ossigeno è legato all'emoglobina ed è continuamente metabolizzato nel corpo. A causa di questa continua variazione di quantità è impossibile valutarne con certezza il potenziale narcotico.

In teoria l'ossigeno, che ha una buona solubilità nei grassi, dovrebbe essere più narcotico dell'azoto. Ma la sua presenza come gas disciolto nei tessuti è inferiore a quanto ci si aspetti. La solubilità dell'ossigeno nel plasma sanguigno è bassa: ci sono soltanto 0,03 ml di ossigeno disciolto per litro di plasma e per ogni millimetro di mercurio della pressione parziale di O<sub>2</sub>. Questa quantità rappresenta solo una piccola dell'ossigeno trasportato nel sangue quando respiriamo aria a livello del mare; la maggiore parte del prezioso gas è trasportata infatti dall'emoglobina. Ma scendendo in profondità la pressione parziale di ossigeno aumenta notevolmente e così fa la quantità di ossigeno disciolto nel plasma. Superato un certo livello di pressione parziale i bisogni metabolici dei tessuti possono essere soddisfatti solo con l'ossigeno disciolto nel plasma; in questo caso l'emoglobina venosa sarà ancora satura. Il resto dell'ossigeno libero potrebbe quindi avere effetti narcotici.

Questo è il motivo per cui alcuni studiosi credono che l'ossigeno si possa comportare come un gas inerte quando raggiunge pressioni parziali molto elevate nella miscela inspirata.

Un effetto della respirazione di ossigeno ad alta pressione parziale è quello dell'aumento del biossido di carbonio (che ha una importanza essenziale nel fenomeno della narcosi, come vedremo in seguito). Respirando ossigeno ad alta pressione parziale, infatti, si provocano alterazioni del metabolismo che portano al blocco della respirazione cellulare, con aumento del biossido di carbonio sciolto nel plasma; inoltre si hanno spasmi dei vasi cerebrali, con ridotta irrorazione sanguigna al cervello (probabile causa dell'avvelenamento al sistema nervoso centrale). Tutti questi fattori amplificano a dismisura gli effetti della narcosi.

Alcuni esperti ipotizzano che a valori di 2,0 ata o più, l'ossigeno potrebbe cominciare a comportarsi come un gas inerte e dovrebbe quindi essere considerato narcotico. Ma questi valori sono in genere fuori del range di pressioni parziali in cui si trova il subacqueo sportivo.

In effetti però una riduzione delle capacità cognitive appare anche per pressioni parziali di ossigeno superiori a 1,65 ata, cioè appena il 3% superiore alla massima ammessa per l'immersione tecnica (1,6 ata in decompressione) e il 18% superiore alla massima raccomandata per l'immersione ricreativa (1,4 ata). Si noti però che questa riduzione sembra essere molto più significativa di quella prodotta da un analogo aumento del 20% della massima pressione parziale di azoto raccomandata (4 ata), conformemente alla teoria che l'ossigeno sia più narcotico dell'azoto.

Non è quindi una cattiva idea quella di considerare, per sicurezza, l'ossigeno come narcotico sempre. Per i subacquei tecnici ciò significa calcolare la END (profondità



narcotica equivalente) di una miscela non sulla parità della pressione parziale di azoto, ma semplicemente togliendo dalla pressione totale la percentuale relativa all'elio. Per i subacquei ricreativi ciò comporta che durante le immersioni con nitrox devono stare attenti alla narcosi esattamente come se fossero scesi ad aria.

### 3 - EVITARE LA NARCOSI

A abbiamo già esaminato la “scoperta” della narcosi da gas compressi, che si può fare risalire al 1835, e abbiamo visto come, dopo circa 100 anni, si sia giunti a trovare un metodo che permettesse di contrastarla: sostituire nella miscela respiratoria, in tutto o in parte, l'azoto con altri gas, in genere elio. Questa soluzione purtroppo non è sempre praticabile. Infatti, ai fini dell'eliminazione completa degli effetti della “sindrome neuropsichica da aria compressa” (snac, come viene chiamata dai medici), l'immersione “ideale” sarebbe quella svolta respirando heliox, cioè una miscela binaria di elio e ossigeno. A parte la difficile reperibilità, ci sono numerosi fattori che rendono questa soluzione poco praticabile. Innanzitutto il costo: una ricarica heliox viene a costare almeno 20 volte di più di una normale ricarica ad aria (che in genere è offerta persino gratuitamente ai clienti affezionati di centri immersione o negozi). Inoltre per miscele binarie di elio e ossigeno con tenore di quest'ultimo gas inferiore al 40% bisogna utilizzare compressori particolari (per via della bassa densità dell'elio): quelli normalmente utilizzati per aria non sono adatti né possono essere adattati. Di conseguenza nessun centro immersione o negozio è in grado di fornire facilmente heliox. Il campo applicativo di questa ottima miscela resta così confinato alla subacquea commerciale di altofondale.

#### I LIMITI DELL'ARIA

Quale dovrebbe essere il limite di profondità delle immersioni ad aria?

Molti subacquei spesso si confrontano su un tema assai importante: se respiriamo aria compressa, quale dovrebbe essere il massimo limite di profondità delle nostre immersioni? Alcuni veterani parlano di 100 metri, mentre la maggiore parte dei subacquei la limita a 54 metri o 60 metri. Chi ha ragione? Probabilmente nessuno! Infatti la prima risposta corretta è che la profondità massima è 40 metri (raccomandati 30) **per i subacquei ricreativi**. I subacquei tecnici, che hanno diverse configurazioni di attrezzature e capacità, possono scendere oltre questo limite, ma non tanto. I 100 metri sono un retaggio del passato, basti pensare che già il 29 agosto del 1959 Falco, Novelli e Olgiay avevano raggiunto i 131,35 metri di profondità! Tuttavia il fatto che fra il record dei 132 metri di Neil Watson e John Gruener (Bahamas, 1968) e quello a 137 metri di Bret Gilliam (Roatan, 1990) passino ben 22 anni e decine di morti la dice lunga sulla pericolosità di queste quote! Tornando a limiti più ragionevoli chi adotta i 54 metri lo fa perché a questa profondità la pressione parziale dell'ossigeno raggiunge il limite raccomandato, ma questo non ha nulla a che vedere con il livello di narcosi. Chi adotta i 60 metri lo fa perché è il limite massimo per l'immersione ad aria utilizzato dalla nostra Marina Militare. Questa posizione potrebbe apparire più ragionevole perché in caso di incidente ciò potrebbe costituire un valido riferimento per un giudice. Solo che i 60 metri sono in genere permessi se si ha una assistenza di superficie che include una camera iperbarica. Infatti tutti i sommozzatori delle forze dell'ordine (il cui addestramento iniziale avviene in Marina) e gli OTS che utilizzano aria limitano le loro immersioni **a 50 metri di profondità**. In caso di incidente come potreste giustificare al giudice che, magari in qualità di subacqueo più esperto o – peggio! – di guida o istruttore, avete accompagnato un altro sub a profondità superiori a quelle consentite a quei stimatissimi professionisti? Se siete subacquei tecnici è meglio quindi che limitiate la profondità delle immersioni ad aria a 50 metri ... fra l'altro è la massima permessa per le attrezzature dalle **norme europee EN 250**.



Diverso il caso del trimix, miscela ternaria di ossigeno azoto ed elio, ottenibile aggiungendo elio all'aria o – meglio - al nitrox. Anche in questo caso il costo è abbastanza elevato (dipende dalla percentuale di elio nella miscela ma si tratta in ogni caso di valori come minimo sei volte superiori a quelli di una ricarica ad aria), ma è possibile ottenere questa miscela tramite sistemi di ricarica oggi disponibili in molti centri immersione e

negozi. Il problema della sua diffusione nell'ambito ricreativo (cioè con percentuali di ossigeno variabili fra il 28% e il 40%) risiede principalmente nel fatto che un computer subacqueo in grado di controllare l'immersione con trimix ancora oggi ha un costo molto elevato.

Conseguenza ne è che per la subacquea ricreativa si continuano a utilizzare aria e miscele nitrox, con la loro grande disponibilità, ma anche con la presenza costante dei pericoli dovuti alla "narcosi".

Restando nell'ambito dei 30 metri di profondità, che dovrebbero essere raccomandati come limite massimo per tutte le immersioni ricreative, le probabilità che gli effetti della narcosi creino problemi seri sono molto ridotte. Non è così a 40 metri, il limite assoluto per l'immersione ricreativa, e peggio ancora va a profondità superiori, come quelle raggiunte dai subacquei tecnici e, erroneamente, talvolta toccate dai subacquei ricreativi.

### IL PARERE DI JIM BOWDEN

Un veterano dell'immersione profonda in aria e a miscele.

Io appartengo alla **generazione dell'aria profonda**. Non perchè volessimo scendere di più, ma perchè le grotte che esploravamo scendevano in profondità. Anche se non incoraggio la gente a fare immersioni molto profonde respirando aria, sarei ipocrita se non ammettessi di avere svolto così centinaia di immersioni oltre i 100 metri. La più profonda è stata a 125 metri. Non arrivo più a quelle quote, semplicemente perchè **non ne ho bisogno**. L'uso di miscele trimix è **una scelta migliore**. Ho perso molti buoni amici, ottimi subacquei, nelle immersioni profonde ad aria. Sono giunto alla conclusione che chiunque può avere una giornata cattiva e morirci. Un subacqueo può non rendersi conto di essere in una giornata "storta" fisiologicamente o emotivamente, ma c'è. Quindi bisogna sempre valutare il rischio. Davvero l'immersione è tanto importante? Io voglio essere l'ultima persona a discutere una decisione così personale. Tuttavia vivere la vita è importante e dovrebbe essere la **ricerca più appassionante della nostra esistenza**. Non è solo l'obiettivo dei giovani. Tutti dobbiamo approfittare di ogni occasione ci venga offerta ...di sopravvivere!



Un'altra essenziale considerazione è che la profondità è solo uno dei numerosi fattori che influenzano il livello narcotico nel subacqueo. Andiamo quindi a esaminare quali siano questi altri fattori. Poiché, come abbiamo visto nella precedente puntata, la narcosi ha sempre un aspetto duplice, fisico e psicologico, li divideremo in queste due classi.

### L'importante ruolo del CO<sub>2</sub>

Il fattore più importante nell'accrescere gli effetti della narcosi è senza dubbio il biossido di carbonio (la vecchia "anidride carbonica"). Questa non è certo una scoperta recente. Già nel 1939, durante il riuscito recupero del sommergibile "Squalus" e del suo equipaggio (descritto nella scorsa puntata e che diede origine all'utilizzo di heliox), Albert R. Behnke, che allora assisteva Charles B. "Swede" Momsen, riportò casi di disturbi mentali negli operatori che lavoravano a più di 70 metri di profondità, notando, soprattutto, che erano più intensi di quanto ci si potesse aspettare. Apparentemente l'impegno lavorativo peggiorava gli effetti della narcosi. A confermare l'influenza del biossido di carbonio sugli effetti della narcosi intervennero le ricerche di John Burdon Scott "Jack" Haldane, figlio di John Scott Haldane delle omonime tabelle d'immersione. Fu un raro caso di comunista (dichiarato e tesserato) che lavorava per la Royal Navy e il Ministero della Guerra. Con una lunga serie di pericolosi esperimenti lui e i suoi collaboratori dimostrarono, in prima persona, molti degli effetti della respirazione di gas ad alta pressione in una camera iperbarica. Gli effetti terribili che registrarono furono tali che il padre di Haldane, famoso

per la spregiudicatezza con cui conduceva personalmente pericolosi esperimenti di respirazione di gas tossici, battezzò il locale iperbarico con il significativo nome di “camera degli orrori”. Fra le altre cose questi audaci sperimentatori notarono che i disturbi mentali dovuti alla narcosi aumentavano molto se nella miscela respiratoria si aggiungeva artificialmente CO<sub>2</sub>.

In un subacqueo il livello di biossido di carbonio può aumentare anche naturalmente, per esempio in seguito a sforzo prolungato ma soprattutto per cattiva respirazione, dovuta o a pause respiratorie (tecnica delle “microapnee” utilizzata da alcuni stolti subacquei per ridurre il consumo) o a eccessivo sforzo respiratorio prodotto da un erogatore di cattive prestazioni. Il che conferma l’opinione di molti “esperti pratici”, come il veterano Poldo Magnani già citato nella scorsa puntata, che nell’immersione profonda ad aria è essenziale disporre di erogatori con sforzi inspiratori ed espiratori minimi. Esigenza molto ridimensionata nel caso di immersione con trimix per via della minore densità delle miscele a base di elio.

Qualche ricercatore, fra cui Seusing e Drube (1960) e persino il prof. Bühlmann e Hannes Keller (nel 1961), ritennero che la narcosi fosse addirittura causata dal biossido di carbonio e non dall’azoto. Il primo (crediamo) studioso a proporre scientificamente questa ipotesi fu Bean, dopo una serie di 24 esperimenti, nel 1950. Bean scoprì che il livello di CO<sub>2</sub> nei polmoni aumentava dal 4% usuale al 10% durante la compressione. Egli concluse quindi che il biossido di carbonio potesse essere ritenuto colpevole della narcosi al pari dell’azoto, almeno fino a quando non si fosse arrivati a una definitiva soluzione del problema. La sua ipotesi fu confutata prima dal lavoro di C. R. Rashbass al Royal Naval Physiological Research Laboratory, poi dalle ricerche di Cabarro a Tolone. Questi ricercatori scoprirono infatti che il tasso di biossido di carbonio ritorna normale dopo cinque-sei minuti di permanenza alla quota. Cabarro verificò anche la modifica delle onde cerebrali in presenza di variazioni della pressione parziale di azoto, mentre analoghe modifiche non erano presenti variando gli altri fattori. Ciò ha condotto gli studiosi a ritenere che il livello di biossido di carbonio sia una aggravante o, meglio, un “catalizzatore” degli effetti della narcosi, che sono comunque dovuti alla presenza di azoto nella miscela respiratoria. Riferendosi all’appellativo di “effetto Martini” Edmonds, Lowry e Pennefather hanno definito il biossido di carbonio come “l’oliva nel Martini”!

Un nostro valido ricercatore, il Dott. Pasquale Longobardi, ritiene che l’azoto e il biossido di carbonio agiscano comunque sinergicamente, con diverse modalità di azione. L’azoto (e l’ossigeno) diminuisce le capacità cognitive e la precisione nell’esecuzione di un esercizio ma influenza poco la destrezza manuale, mentre il biossido di carbonio riduce in particolare la destrezza manuale e la velocità di risposta. Il biossido di carbonio inoltre determina un aumento dell’irritabilità e un calo della capacità di concentrazione, in quanto disinserisce il controllo inibitorio della corteccia cerebrale sui centri sottocorticali. Questo meccanismo è quindi responsabile anche dell’insorgenza dei tremori muscolari, responsabili della diminuzione della destrezza manuale.

Risulta quindi ovvio che persone con disfunzioni polmonari che comportino un aumento del livello di biossido di carbonio (come i “CO<sub>2</sub>-retainer”) saranno soggette più di altri agli effetti della narcosi.

### **Altri fattori fisici**

Molti degli studiosi citati nel precedente paragrafo hanno pure dimostrato che un’alta pressione parziale di ossigeno (superiore a 2 ata) enfatizza gli effetti della narcosi. Anche perché in contemporanea si ha un aumento del livello di biossido di carbonio nel sangue. Lo stesso Momsen ne parlò in una conferenza alla Harvard Engineering Society il 6 Ottobre 1939.

D'altra parte abbassare il livello di ossigeno sotto i valori usuali non migliora la situazione. Il nostro Dott. Albano dimostrò che la respirazione in profondità (circa 90 metri) di una miscela ipossica dà origine a un livello di narcosi superiore a quello che si ha respirando aria alla stessa profondità.

Un altro fattore che influenza la narcosi è la discesa rapida. Già nel 1937 questa evenienza era divenuta palese, con il primo studio sistematico e quantitativo degli effetti della narcosi, eseguito (con test aritmetici svolti fra 28 e 93 metri di profondità) da C. W. Shilling e W. W. Willgrube, della U.S. Navy. Studi più recenti hanno convalidato la tesi, dimostrando che i minori livelli di narcosi si manifestano nelle immersioni fino a 20 metri di profondità, con discese svolte a velocità estremamente ridotte. Insomma l'immersione più sicura, dal punto di vista della narcosi, è quella di un primo livello che si immerga da riva su un fondale leggermente digradante!

Un ulteriore fattore fisico è la stanchezza. La raccomandazione di essere adeguatamente riposati prima dell'immersione non è infatti priva di fondamento. In un recente numero della rivista del Divers Alert Network è stato riportato il caso di un subacqueo in stato di spossatezza che durante una immersione a 45 metri di profondità ha manifestato un inconsueto segno di narcosi: la perdita della capacità visiva (annebbiamento della vista). Di conseguenza per risalire è stato costretto a seguire la parete, per fortuna a lui vicina in quel momento.

Anche il raffreddamento corporeo, se rilevante e prolungato, fa aumentare gli effetti della narcosi. Invece se intenso e rapido (per esempio per rottura di una muta stagna o in presenza di un termoclino profondo molto consistente) può anche diventare un elemento "scatenante". Infatti i fattori che stiamo esaminando non solo possono aumentare gli effetti della narcosi, ma possono fare in modo che improvvisamente il subacqueo perda il controllo, passando da effetti di entità lieve a comportamenti anomali e pericolosi.

Pericolosa come sempre anche l'assunzione di medicine o droghe. Le droghe alterano il comportamento già in superficie, figurarsi in profondità con la sovrapposizione sinergica della narcosi! Di molti medicinali non si conoscono affatto gli effetti collaterali in immersione, quindi è meglio evitare di assumerli. Nel caso sia impossibile è bene rivolgersi al medico, meglio se specializzato in subacquea, per un consulto. Tuttavia ogni medicinale la cui assunzione sia considerata controindicazione alla guida di automobili può diventare pericoloso in immersione.

Un discorso a parte merita l'assunzione di alcool, tanto simile alla narcosi da avere originato per quest'ultima il nome "Effetto Martini". Molti ricercatori hanno riscontrato questa similitudine e gli esperimenti fanno presupporre che l'etanolo e l'azoto agiscano in modo simile. Quindi l'assunzione di alcool prima dell'immersione deve essere assolutamente sconsigliata in quanto gli effetti della narcosi andrebbero a sommarsi a quelli dell'etanolo.

Nel 1996 alcuni ricercatori, guidati da M. G. Monteiro, riscontrarono come i subacquei non professionisti che sopportano meglio i "fumi" dell'alcool sono in grado di sopportare meglio anche i sintomi della narcosi in camera iperbarica (50 metri per 30 minuti). Si noti però che altri studiosi ritengono che l'esperimento provi solo che ci sono persone in grado di tollerare meglio, su un piano strettamente psicologico e non fisico o fisiologico, entrambi gli effetti.

In poche parole significa che ci sono persone in grado di tollerare meglio gli effetti dell'etanolo, così come dell'azoto, ma su un piano strettamente psicologico e non fisico o fisiologico. In pratica i fattori fisici e fisiologici che influenzano gli effetti della narcosi di azoto restano invariati. Un eventuale cambiamento di tolleranza a questi effetti è dovuto ai soli fattori psicologici, che esamineremo ora.

#### 4 - NARCOSI E PSICOLOGIA

Il fatto che narcosi e psicologia siano strettamente collegati fu già ipotizzato nel 1965, quando gli allievi di un corso (per la verità in numero molto piccolo per essere effettivamente significativo) manifestarono comportamenti diversi a seconda di quanto gli veniva insegnato, nelle lezioni di teoria, in merito agli effetti della narcosi. In pratica manifestavano una resistenza agli effetti della narcosi tanto più elevata quanto più l'istruttore li aveva convinti che fosse possibile resistere.

##### QUELLO CHE SAI DECIDE QUELLO CHE FAI

Quanto influisce la mente del subacqueo sui sintomi della narcosi?

Il primo esperimento volto a capire quale effetto aveva sui sintomi della narcosi il modo in cui il subacqueo la percepiva, fu realizzato da Tom Mount e il Dott. Gilbert Milner nel 1965. Pur non avendo valenza scientifica certa, anche per via del ridotto numero di soggetti presi in esame, i risultati scaturiti sono interessanti. In un corso di immersioni profonde divisero dodici allievi in **tre gruppi di quattro**. Al gruppo 1 fu insegnato che la narcosi colpisce praticamente tutti i subacquei, appena oltrepassano la soglia dei 40 metri di profondità, con effetti gravi e nefasti. Al gruppo 2 fu detto che la narcosi colpiva già dai 30 metri, ma senza enfatizzare i suoi effetti negativi. Al gruppo 3 fu spiegato che gli effetti della narcosi sono reali, ma con una forte volontà possono essere adeguatamente combattuti. Alla profondità test di **40 metri** i subacquei del gruppo 1 manifestavano già **effetti negativi superiori alla media**, contrariamente a quelli dei gruppi 2 e 3. Alla profondità test di **55 metri** due subacquei del gruppo 1 erano costretti a **interrompere l'immersione**, mentre quelli del gruppo 2 manifestavano grave compromissione delle capacità cognitive, che risultava invece lieve in quelli del gruppo 3. Alla profondità test di **60 metri** tutti i subacquei dei gruppi 1 e 2 erano costretti a interrompere l'immersione, mentre la situazione rimase invariata (anzi migliorò leggermente) per i subacquei del Gruppo 3, alcuni dei quali mantennero buone capacità cognitive anche a **72 metri di profondità**.



Questa “forzatura dell'istruttore” non è certo una novità. Ogni leader (del mondo del lavoro, dello sport, della politica ecc.) sa che per mantenere il suo primato e renderlo utile deve imparare per prima cosa a plasmare le persone che dipendono da lui. Il rapporto fra i calciatori e l'allenatore di calcio è decisivo per il successo della squadra, in quanto influisce enormemente sul rendimento di tutti i giocatori. Nel caso della narcosi la dipendenza degli effetti da ciò che si sa ci appare strana solo perchè consideriamo questi effetti come puramente fisici (dovuti alla pressione), perdendo di vista il concetto che gli stessi effetti diventano evidenti solo perchè sono mediati dal cervello. È quindi ovvio che il cervello abbia un ruolo fondamentale. Se abbiamo gli occhi buoni ma la parte dell'encefalo che sovrintende alla vista è lesionata difficilmente riusciremo a vedere bene!

C'è poi un altro importante punto che spiega la diversità di comportamento degli allievi di quel lontano corso: l'emotività. Infatti se l'istruttore presenta gli effetti della narcosi come “devastanti” e di sicura presenza oltre i 30 metri di profondità, una persona ansiosa arrivata vicina a questa quota sarà in stato semi-confusionale anche prima che gli effetti diventino realmente significativi!

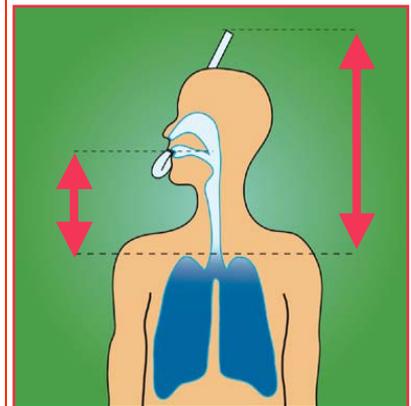
## L'ansia

In genere un subacqueo che presenta disturbi d'ansia, anche lievi, si muove in maniera meno fluida di un subacqueo tranquillo. La sua pinneggiata è più nervosa e veloce e, di conseguenza, la sua respirazione è più rapida. Inoltre l'ansia induce anche una respirazione superficiale, i cui effetti negativi sono ulteriormente amplificati dall'incremento degli spazi morti nelle vie aeree (dovuto alla presenza della cassa del secondo stadio).

### RESPIRARE PROFONDAMENTE

Una tecnica utile a contrastare gli effetti della narcosi.

Quando si utilizza l'erogatore (ma anche con lo snorkel in superficie sarebbe lo stesso) è **necessario respirare più lentamente e più profondamente**. Il motivo di questa respirazione più profonda del solito è pratico. Infatti quando respiriamo attraverso l'erogatore alteriamo i normali valori di ripartizione dei volumi di aria nelle nostre vie aeree. Normalmente in ogni atto respiratorio la quantità di aria inspirata, detta "volume corrente" o "volume di ventilazione", supera di poco il mezzo litro. La stessa quantità la espelliamo all'esterno con l'espiazione. Tuttavia l'aria per arrivare negli alveoli polmonari o per uscire deve transitare attraverso alcuni tubi semirigidi (bronchioli, bronchi, trachea, bocca, naso, ecc.)



che non sono comprimibili. Pertanto all'interno di questi condotti resta un volume di aria residuo dall'atto respiratorio precedente, che nell'inspirazione successiva ritorna nei polmoni **senza avere avuto la possibilità di scambiare gas con l'esterno**. Normalmente il volume di questa aria presente negli "spazi morti", come sono definiti questi condotti, è di circa 0,15 litri, rappresentando quindi il 30% del volume di ventilazione. Ma anche la cassa del secondo stadio diventa, in immersione, un ulteriore "spazio morto". Se avesse un volume anche di soli 0,10 litri, il totale degli spazi morti diventa 0,25 litri. Se il volume di ventilazione resta lo stesso di prima (0,50 litri) significa che il 50% dell'aria inspirata è costituita da aria espirata poco prima; in altre parole **l'efficienza della respirazione è dimezzata**. Quando l'efficienza di respirazione diminuisce aumenta il biossido di carbonio, che – come visto – "amplifica" o "catalizza" gli effetti della narcosi.

Tutto contribuisce a fare aumentare nel subacqueo la concentrazione di biossido di carbonio, che amplifica gli effetti della narcosi o li rende improvvisamente significativi. Tuttavia il subacqueo è tanto in ansia che difficilmente può rendersi conto dell'insorgenza o dell'accrescimento dei sintomi di narcosi. Gli effetti della narcosi vanno quindi a sommarsi sinergicamente con quelli dell'ansia ed egli rischia seriamente di andare in panico, che - come abbiamo sempre affermato – è il peggiore nemico del subacqueo.

Al contrario un subacqueo rilassato, sebbene corra il rischio di non dare giusto rilievo ai primi sintomi della narcosi, non ha paura di avvicinarsi a un limite. Se è ben preparato sarà più vigile e attento, ma comunque manterrà il controllo della situazione senza problemi. Gli stessi C. W. Shilling e W. W. Willgrube, della U.S. Navy, quando condussero il primo studio sistematico e quantitativo degli effetti della narcosi, nel 1937, si erano accorti che i soggetti più esperti sembravano meno affetti dalla narcosi. Lo stesso vale oggi per i subacquei. La ragione potrebbe consistere nel fatto che un subacqueo esperto è più a suo agio in acqua, mantiene una respirazione corretta ed è più rilassato mentalmente.

## **Altri fattori psicologici**

Allo stesso modo alcuni fattori ambientali che non hanno influenza fisica e diretta sulla narcosi (si pensi per esempio alla visibilità o alle correnti) possono essere considerati fattori psicologici molto significativi. Tutti sanno che scendere in profondità in un bacino d'acqua buio e torbido è molto più difficile che raggiungere la stessa quota – o persino una superiore – in cristalline acque tropicali. Tuttavia in condizioni di scarsa visibilità una persona alle prime armi si troverà molto più a disagio di un subacqueo che ha già svolto decine e decine di immersioni in acqua torbida. Un'ansia analoga può prendere un subacqueo che non sia abituato a immergersi con correnti di elevata intensità. D'altra parte spesso anche la vista di uno squalo è in grado di mettere ansia o timore in un subacqueo poco avvezzo alla presenza di questi bellissimi predatori, che può quindi andare in confusione.

Un fattore invece della stessa importanza per tutti è il carico di lavoro da svolgere. Non intendiamo qui riferirci alla fatica fisica, che abbiamo già visto nelle puntate precedenti, ma all'impegno psichico. Un eccesso di tale impegno porta a confusione, ansia e persino sensazione di mancanza di respiro; non è un caso che si dica: «il lavoro mi soffoca!». Di questo fatto bisogna tenere conto soprattutto nei corsi di specializzazione in cui l'allievo deve gestire molte più attrezzature del solito: fotografia, videoriprese, ricerche biologiche o archeologiche, ecc. Soprattutto, questo fattore diventa essenziale nei primi corsi di subacquea tecnica, quando oltre a superare quote prima proibite, agli allievi vengono talvolta (sciagurati istruttori!) imposte dall'inizio attrezzature ingombranti e di difficile gestione; il che porta questi allievi, oberati da fastidi e compiti, a essere degli ottimi candidati per la narcosi.

## **La predisposizione**

A questo punto, vista l'importanza dei fattori psicologici, viene sicuramente il dubbio se sia possibile individuare un metodo per misurare, in termini approssimati, la predisposizione individuale agli effetti della narcosi. Ovviamente non esiste un metodo preciso, la predisposizione individuale può solo essere valutata in via statistica e sommaria. Questo perchè non esistono numeri statisticamente significativi di soggetti studiati. Per quanto esaminato finora è evidente che l'esperienza e una attitudine positiva giochino a favore della resistenza agli effetti della narcosi.

Una prima osservazione è che la cultura e l'intelletto sembrano giocare un ruolo positivo. Probabilmente perchè una persona abituata a ragionare è più riflessiva, mentre un buon livello culturale tende a fare assumere atteggiamenti più calmi e attenti.

Un altro fattore importante è la motivazione. Proprio la voglia di raggiungere un obiettivo ha permesso ad alcuni subacquei – per la verità da catalogare come “fuori di testa” – di raggiungere profondità inenarrabili respirando normale aria, con gravi rischi per la propria salute e la propria vita. Una buona motivazione permetterà al subacqueo di controllare meglio la situazione - o almeno provare a farlo – anche nelle immersioni svolte a quote molto più tranquille ... e sicure! Un buon livello di autostima permette di credere nelle proprie possibilità di controllo della situazione, rendendo più semplice attuarlo. Tuttavia bisogna stare attenti a non cadere nel tranello di una eccessiva autostima, che porta a risultati negativi quali la spavalderia e la sensazione di onnipotenza, elementi estremamente pericolosi sott'acqua.

Per lo stesso motivo una buona capacità di concentrazione permette di gestire meglio la situazione. Oltre che derivare da un dono di natura (alcuni geniali uomini del passato erano tanti concentrati su ciò che li interessava da non accorgersi nemmeno di fatti eclatanti che avvenivano intorno a loro), la capacità di concentrazione si può acquisire con

l'allenamento. Infatti la nostra attenzione è monocanale, cioè può rivolgersi solo su una cosa alla volta. Seppure a volte ci sembra di occuparci di più cose contemporaneamente, in realtà passiamo dall'una all'altra ripetutamente. Imparando a gestire meglio questi passaggi, separando gli stimoli importanti in quel momento da quelli meno significativi, si riesce a migliorare la propria capacità di concentrazione.

I fattori psicologici costringono a inventare per la narcosi un segnale che costringa a ragionare e ricordare, per esempio rispondere a un numero indicando un altro numero che sia maggiore o minore di tot unità (da variare di volta in volta). È quindi necessario stabilirlo prima di ogni immersione. In acqua sarà facile verificare il livello narcotico: se esso fosse alto è molto probabile che il compagno non riesca a ricordare quale sia il rapporto fra i due numeri e quindi a rispondere correttamente al segnale trasmesso.

### **L'adattamento alla narcosi**

Il fatto che con la pratica e l'esperienza si sopportino meglio gli effetti della narcosi è definito genericamente come "adattamento alla narcosi". Molti libri scritti da subacquei che hanno fatto – con grandissimi rischi per la loro vita – record di immersione profonda in aria ne parlano. Tuttavia intorno a questo fenomeno si è creato un mito. In pratica, si dice, «abituandoti progressivamente ma con costanza alle discese profonde sentirai meno gli effetti della narcosi». Questo è un grave errore di trasposizione. La frase corretta sarebbe infatti: «abituandoti progressivamente ma con costanza alle discese profonde reagirai meglio agli effetti della narcosi». In realtà gli effetti della narcosi non dipendono da quanto uno è abituato o meno a loro ma da fattori fisici, fisiologici e psicologici che variano ogni momento. Quindi una persona può essere più o meno suscettibile di un'altra ma la sua suscettibilità varia anche da immersione a immersione e persino da momento a momento della stessa immersione. Non è certo un caso raro che un subacqueo che agisce in modo normale passi improvvisamente a comportamenti anomali, conseguenti a effetti della narcosi apparentemente improvvisi; il fenomeno veniva spesso indicato in passato con il nome di "botta narcotica".

Quindi con "adattamento" intendiamo il semplice fatto che un subacqueo possa abituarsi a convivere con la narcosi ... sempre che ne valga la pena! D'altra parte, se esistesse un adattamento fisiologico alla narcosi chi meglio dei i sommozzatori professionisti di basso fondale (aria fino a 50 metri), in acqua per ore ogni giorno, dovrebbe goderne? Eppure, anche come misura precauzionale per gli effetti della narcosi, sono in genere collegati alla superficie con un sistema di comunicazione che consente al supervisore di indicare in ogni istante all'operatore sul fondo cosa fare.

Nel 1992 Bill Hamilton confermò la presenza di questo adattamento psicologico alla narcosi, rilevando tuttavia che gli effetti della stessa sul corpo (principalmente come allungamento dei tempi di reazione) permanevano comunque pressoché inalterati. L'adattamento in definitiva è solo una sensazione di maggiore comfort in presenza degli effetti della narcosi, o meglio di minore discomfort. Nonostante questa sensazione, quindi, il subacqueo deve tenere ben presente che il pericolo di comportamenti anomali, anche improvvisi, resta invariato. Scrive in merito il Dott. Pasquale Longobardi: «Si disattiva cioè il campanello d'allarme ma il pericolo rimane uguale. La dissociazione fra le due componenti - percezione del pericolo e prestazioni reali - suggerisce la mediazione di due diversi meccanismi cerebrali. Si presume un coinvolgimento del complesso acido gamma aminobutirrico (GABA) e dei recettori delle benzodiazepine, di solito responsabili delle proprietà ansiolitiche e anestetiche di mediatori come l'ossido nitrico».

Ma con queste ipotesi si cade in un altro importante aspetto che fino a ora abbiamo trascurato: quale è il meccanismo di azione della narcosi?

## 5 - L'ORIGINE DELLA NARCOSI

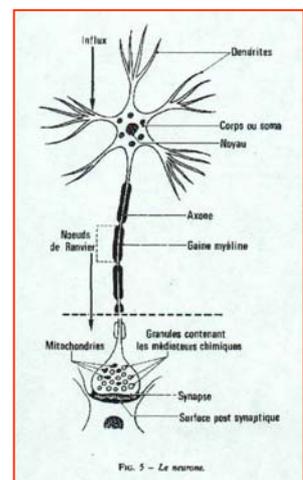
Ritorniamo in parte sulle tracce di inizio escursione nell'affascinante (dal punto di vista fisiologico) fenomeno della narcosi, che colpisce tutti i subacquei, sia che lo ammettano sia che lo neghino. Nei precedenti paragrafi abbiamo visto come il fenomeno sia stato evidenziato per la prima volta già nel 1835, dal francese Junod, e le successive interpretazioni che ne sono state date fino al 1935, quando il Prof. R. Behnke attribuì la narcosi in profondità agli effetti dell'azoto in pressione. Abbiamo anche chiarito come alcune affermazioni in merito alla narcosi risultino false, sulla base di prove scientifiche: il fatto di non esserne colpiti, l'idea che con l'adattamento si riducano gli effetti, l'esistenza di un limite di profondità sopra il quale gli effetti non si manifestano e molti altri. Abbiamo anche scoperto che sebbene il livello di biossido di carbonio (la vecchia anidride carbonica) svolga un ruolo essenziale nell'enfatizzare gli effetti della narcosi, non è questo gas la causa diretta, come sostenuto in passato anche da eminenti ricercatori. Abbiamo poi esaminato i fattori che influenzano, negativamente e positivamente, gli effetti della narcosi, fino a giungere, all'importantissimo ruolo svolto dalla psicologia del subacqueo relativamente alla percezione degli effetti della narcosi.

Parlando dell'adattamento alla narcosi, tema spesso presentato in maniera errnea, avevamo evidenziato come il Dott. Bill Hamilton, nel 1992, confermasse la presenza dell'adattamento psicologico alla narcosi, rilevando tuttavia che gli effetti della stessa sul corpo permanevano comunque pressoché inalterati. Concludevamo riportando la netta differenziazione fra livello di percezione degli effetti e presenza della narcosi, come ben individuato dal Dott. Pasquale Longobardi nei suoi scritti: «Si disattiva cioè il campanello d'allarme ma il pericolo rimane uguale. La dissociazione fra le due componenti - percezione del pericolo e prestazioni reali - suggerisce la mediazione di due diversi meccanismi cerebrali. Si presume un coinvolgimento del complesso acido gamma-amminobutirrico e dei recettori delle benzodiazepine, di solito responsabili delle proprietà ansiolitiche e anestetiche di mediatori come l'ossido nitrico».

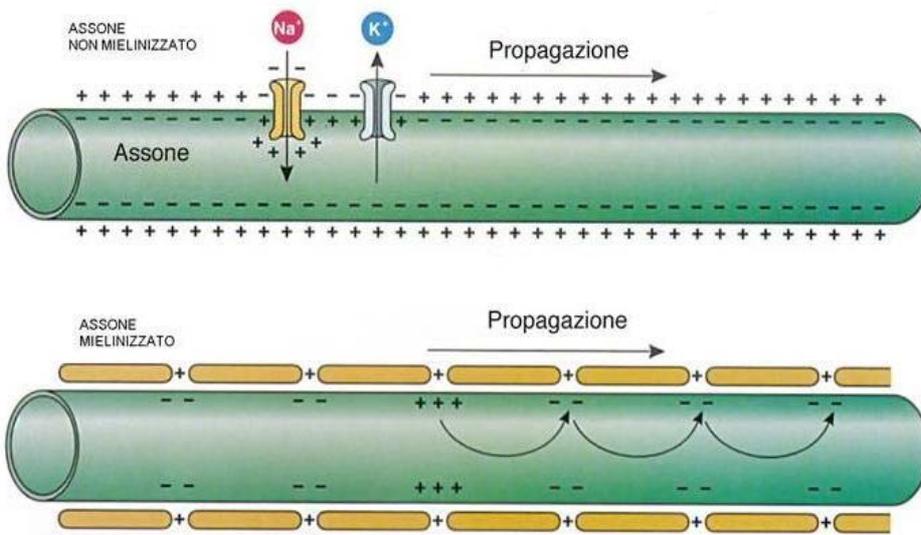
Probabilmente pochi subacquei avranno capito il meccanismo fisiologico descritto scientificamente dal Dott. Longobardi, ma era importante comprendere la dissociazione dei due componenti, più che la sua causa. Allo stesso modo per l'uso pratico dei subacquei è molto più importante comprendere come comportarsi (o non comportarsi) più che capire quale sia il meccanismo fisiologico di azione della narcosi. Anche perché ancora oggi è vivo un dibattito fra i ricercatori sulle varie teorie che spiegano questo meccanismo, nessuna delle quali è stata però ufficialmente accettata come veritiera e definitiva nell'ambiente scientifico. Sapere ciò, tuttavia, non soddisfa la sete di conoscenza o la semplice curiosità di quei subacquei che continuano a chiedersi: «ma perché accade questo?».

### Ipotesi lipidica

L'ipotesi più conosciuta è quella che lega gli effetti della narcosi alla solubilità dell'azoto nei tessuti grassi (lipidi). In pratica ogni singola cellula nervosa (neurone) ha numerose ramificazioni con cui realizza collegamenti (sinapsi) con altri neuroni. Una di queste ramificazioni (assone) è molto lunga e può essere considerata il "cavo elettrico" in cui scorre il segnale nervoso. Come i cavi elettrici anche il neurone ha un "rivestimento isolante" (guaina) di mielina, un gel cristallino di colore bianco latte composto principalmente da grassi. Nei punti dove l'assone non è coperto dalla guaina mielinica il segnale si disperde e viaggia lentamente. Nei punti rivestiti di "isolante" il segnale ha una velocità cento volte superiore, anche perché il corpo è in grado di ottimizzare la guaina dandole uno spessore che è sempre un terzo del diametro dell'assone nudo. A



intervalli di circa un millimetro la guaina si interrompe, originando un “nodo di Ranvier”, che - sfruttando gli ioni sodio e potassio - agisce da “ripetitore” del segnale.



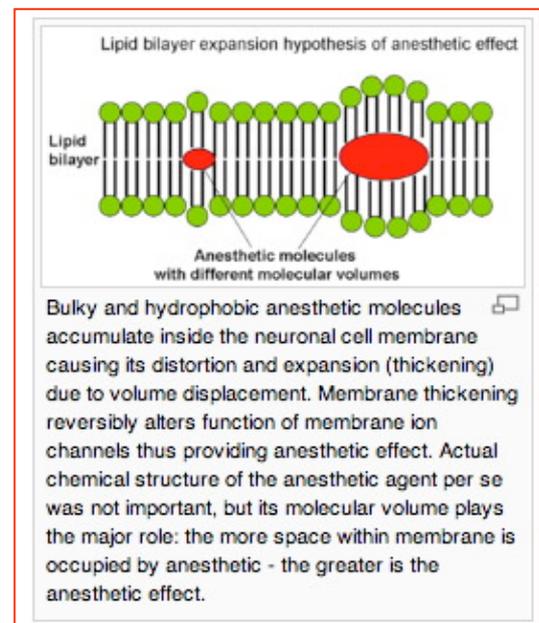
Come sappiamo l'azoto respirato si scioglie in tutti i tessuti corporei, fra cui possiamo comprendere anche le guaine delle cellule nervose. Tuttavia in questo caso ne modifica la permeabilità e le caratteristiche di conducibilità elettrica, producendo inoltre un aumento di volume delle membrane lipidiche (a dispetto del fatto

che alcuni lo chiamano “gas inerte”). Nel 1977 Miller da studi su animali ricavò la sua “teoria del volume critico”: la pressione ha un effetto diretto sullo strato lipidico delle membrane cellulari, comprimendolo; nel contempo ha anche un effetto indiretto in quanto l'incremento della pressione parziale spinge i gas a dissolversi nello strato lipidico, aumentandone lo spessore. In ogni caso l'aumento di densità e la variazione di permeabilità e conducibilità elettrica prodotte da entrambi i fenomeni rallentano la trasmissione dei segnali nervosi.

Inoltre l'ispessimento della membrana interferirebbe nella trasmissione del segnale soprattutto a livello delle sinapsi, per via della minuscola distanza libera presente nel punto di collegamento. Secondo alcuni ricercatori (fra cui Lever) già una minima modifica della membrana (anche solo dello 0,4%!) causa uno stato di narcosi. Behnke, Meyer e Overton hanno generalizzato la teoria della solubilità dell'azoto nei lipidi, introducendo la similarità fra lo stesso e il meccanismo con cui agisce l'anestesia gassosa.

Per questi ricercatori tutte le sostanze gassose o volatili inducono narcosi, se raggiungono nelle cellule lipidiche una concentrazione molare superiore a un determinato livello di soglia, che è specifico per ogni tipo di cellula ma è approssimativamente lo stesso per tutti i narcotici.

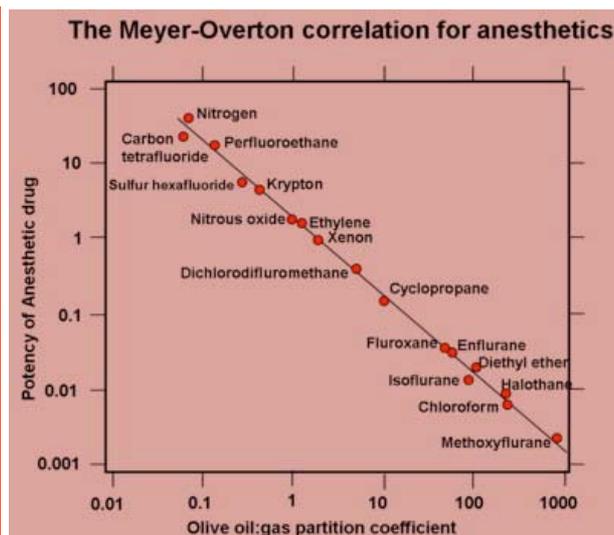
Vivendo questo presupposto, il potere narcotico di ogni gas può essere relazionato a una serie di sue proprietà fisiche. Per esempio: il peso molecolare; il volume molecolare; il coefficiente di solubilità nei lipidi (a 37° C nell'uomo); le forze di Van der Waals agenti fra le sue molecole; il volume molare; il rapporto fra la solubilità in olio e in acqua; la polarizzazione delle sue molecole.



## NARCOSI E SOLUBILITÀ NEI LIPIDI

Una relazione abbastanza convincente.

La teoria di Behnke-Myer-Overton afferma che il potenziale anestetico di un gas è correlato alla sua **solubilità nei grassi**. Mette quindi in relazione il potenziale narcotico di un gas con la sua solubilità nei lipidi. Possiamo allora stabilire un indice di “non narcoticità” che misuri **l'inverso del potenziale narcotico di un gas**. Più il numero che otterremo è alto meno il gas è narcotico, rapportando il tutto all'azoto, che avrà quindi indice di “non narcoticità” 1. Dobbiamo quindi pensare questo indice come **“aspettato”** per poi **confrontarlo con la realtà**. Per ricavarlo dividiamo la solubilità nei lipidi (liposolubilità) dell'azoto per quella dei diversi gas; possiamo così costruire una tabella. Questa tabella più o meno dà **un buon risultato**. L'indice aspettato di non narcoticità corrisponde effettivamente a quanto avviene nella realtà per l'elio e gli altri gas, ma è poco realistico per l'idrogeno (che invece è anche meno narcotico dell'elio). Segno quindi che **la tabella è valida ma in maniera approssimata**, infatti per costruirla non si tiene conto della solubilità in acqua (idrosolubilità) e, soprattutto, del peso atomico, molto basso per idrogeno (2,016) e elio (4,003) e significativamente più alto (oltre 20) per neon, azoto e altri gas. Insomma, come evidenziato nel testo, i fattori che costituiscono l'indice reale di “non narcoticità” sono molti e correlati fra loro.



## TABELLA – INDICE DI NON NARCOTICITÀ PER SOLUBILITÀ NEI LIPIDI

GAS	liposolubilità	Indice di non narcoticità
Idrogeno (H <sub>2</sub> )	0,037	1,83
Elio (He)	0,015	4,46
Neon (Ne)	0,019	3,52
Azoto (N <sub>2</sub> )	0,067	1,00
Argon (Ar)	0,140	0,43
Cripton (Kr)	0,430	0,14
Xeno (Xn)	1,700	0,04

## Altre teorie

Ci sono altre teorie per spiegare la narcosi. Per esempio quella elaborata da Franks e Lieb, che la riconduce a un'alterazione, fino al blocco totale, dei sistemi citocromiali e dei mitocondri dei neuroni. Di conseguenza si avrebbe anche un blocco di emissione e ricezione delle sostanze neurotrasmettitorie, oltre all'inattivazione della pompa del sodio. Altre spiegazioni sono di carattere più fisico che fisiologico. Per esempio la teoria della formazione di clatrati. I clatrati sono specie chimiche formatesi per aggregazione di altre indotta da pressione, temperatura ecc. In pratica si tratta di molecole di gas intrappolate in “gabbie” formate per esempio da molecole d'acqua (clatrati idrati) unite fra loro da ponti idrogeno. I clatrati di metano e altri idrocarburi sono un problema per l'industria petrolifera, in quanto la loro formazione nei gasdotti porta frequentemente all'occlusione del tubo. Nel caso della narcosi la pressione farebbe aggregare le molecole di azoto ad altre, rendendo il gas simile al protossido di azoto, usato un tempo nell'anestesia. Risalendo verso la superficie la particolare molecola di clatrato si scioglie perchè si allenta la “gabbia” costruita dalla pressione.

## Il futuro

Il futuro sicuramente sarà portatore di molti chiarimenti in merito alla narcosi e ai suoi effetti. Questa affermazione vale non tanto perché il fenomeno sia studiato in modo particolare, anzi possiamo dire che sia in effetti quasi del tutto trascurato dalla scienza,

riguardando un numero molto limitato di persone e di casi. La nostra fortuna è che i meccanismi di azione della narcosi sono molto simili a due fenomeni ampiamente studiati: le proprietà degli anestetici e le malattie degenerative del sistema nervoso. Un'altro effetto della narcosi, infatti, è la perdita di memoria, ampiamente convalidata da studi scientifici; recenti ricerche hanno evidenziato come intorno ai 50 metri di profondità sia compromessa principalmente la memoria a lungo termine più che quella a breve termine. Inoltre si sono scoperti legami tra particolari forme delle onde dell'encefalogramma e gli effetti della narcosi in soggetti sottoposti a 9 bar di pressione ad aria. Queste ricerche hanno mostrato una significativa similitudine, per fortuna temporanea, con disturbi cognitivi quali l'Alzheimer. Sono quindi studi promettenti, da seguire.

Come abbiamo detto, sicuramente i progressi maggiori verranno dagli studi condotti nel campo dell'anestesia medica. Ancora oggi infatti questa branca della scienza indaga per cercare di comprendere i meccanismi di azione degli anestetici, ottenendo così una maggiore sicurezza per i pazienti. Anche in questo campo ci si trova al livello di ipotesi, non è quindi un caso che un'anestesia generale o una semplice sedazione profonda possa essere eseguita in ospedale solo in presenza di un medico anestesista!

### AGLI INIZI DELL'ANESTESIA

...Tutto ebbe inizio... con un fallimento.

Sembra che fu il dentista statunitense Horace Wells (1815 – 1848) ad avere per primo l'idea di **utilizzare a fini anestetici il gas "esilarante"**. Probabilmente il germe si formò nel 1844, quando accompagnò la moglie a uno spettacolo - allora di grande successo - che consisteva nel fare inalare il protossido d'azoto a qualcuno del pubblico, così da indurlo a comportamenti tipici di un ubriaco, per il divertimento dei presenti. Wells notò che una delle persone coinvolte sbatté violentemente lo stinco contro uno spigolo, **ma non mostrò alcun segno di dolore**. Wells, da dentista del tempo, considerava il dolore sopportato dai suoi pazienti come inevitabile. Nonostante ciò, con grande titubanza sperimentò il protossido d'azoto sui suoi malati, **ottenendo ottimi risultati**. I successi lo indussero, nel 1845, a darne comunicazione al mondo scientifico. Si rivolse a un suo collega, William Green Morton, che gli fissò un appuntamento per un intervento dimostrativo presso il Massachusetts General Hospital di Boston. L'allora famoso Prof. John Collins Warren lo presentò al pubblico di studenti e visitatori in modo alquanto freddo e, purtroppo per Wells, l'intervento fu **un totale insuccesso**. Questo fallimento condizionerà e distruggerà la sua vita, insieme alla sensazione di tradimento per il successo riportato, invece, dallo stesso William Green Morton l'anno dopo, nello stesso ospedale e con lo stesso Prof. Warren, in una anestesia con etere. Ossessionato, Wells continuò i suoi esperimenti su se stesso con diverse sostanze, fino a **intossicarsi gravemente**. Riportò qualche successo a Parigi, nel 1847, utilizzando il cloroformio. Le prove su se stesso lo resero **dipendente dalla sostanza** e ... poco lucido. Ritornò a New York, dove nel 1848, sotto l'effetto della sostanza, scese in strada per lanciare vetriolo addosso ad alcune prostitute. Arrestato si tolse la vita in carcere recidendosi con il bisturi l'arteria femorale, stringendo tra i denti - così almeno si racconta - un fazzoletto imbevuto di cloroformio.

Scriva Beverly A. Oser, insegnante di Anestesiologia e Fisiologia all'Università di Toronto, su "Scientific American": «Per quasi tutto il XX secolo abbiamo creduto che l'azione degli anestetici fosse quella di disgregare le componenti lipidiche delle membrane cellulari. Sebbene quasi tutti gli anestetici siano composti con grande solubilità nei lipidi, essi hanno strutture chimiche più disparate, variabili dal semplice gas agli steroidi complessi. Questa enorme variabilità ha fatto nascere l'idea di una depressione del sistema nervoso causata da un'azione non meglio definita. Recenti studi hanno però avvalorato l'idea che gli anestetici agiscano su molte specifiche proteine - i recettori - presenti sulla superficie dei neuroni». Quindi ora l'interesse dei ricercatori si sta spostando sull'azione verso i neurotrasmettitori (glutammato, serotonina, norepinefrina, acetilcolina, ecc.) e soprattutto su un potente inibitore della comunicazione neuronale, l'acido gamma-amminobutirrico ("GABA"), i cui effetti sono amplificati dagli anestetici.

Inoltre gli scienziati ancora discutono se l'effetto di depressione del sistema neuronale sia da circoscrivere a specifiche aree del cervello che impediscono la capacità di gruppi di neuroni di formare coalizioni stabili (teoria di Koch) o sia diffuso a livello globale su tutto il cervello, riducendo l'ampiezza delle associazioni neuronali (teoria di Greenfield).

## Concludendo

Tutti questi studi che influenza possono avere sul nostro modo di andare in acqua? Probabilmente nessuna. Ci serviranno a capire cosa succede ma le regole pratiche del buon senso saranno ancora quelle attuate oggi; la più importante è la raccomandazione di non scendere a profondità elevate senza avere prima cambiato miscele respiratorie. Inoltre per prevenire la narcosi è necessario respirare bene, profondamente, senza affaticarsi e, soprattutto, restare calmi e tranquilli. Infine bisogna prestare molta attenzione ai piccoli sintomi di disagio, riduzione delle percezioni sensoriali, incapacità di ricordare compiti e altre sensazioni anomale, che dimostrano una crescita del livello narcotico.

In ultimo non bisogna mai scordare l'importante ruolo negativo svolto dal biossido di carbonio, sintetizzato da un bel pensiero del fondista Jim Bowden, le cui esperienze fuori del comune abbiamo già incontrato nella terza puntata di questo dossier: «Ci sono altri due fattori che fanno aumentare il livello di biossido di carbonio. Il primo è lo sforzo necessario a mantenersi in quota, che dovrebbe sempre essere nullo. Dobbiamo evitare l'uso di muscoli grossi, come quelli delle gambe o delle braccia. La risalita dovrebbe essere fatta utilizzando l'aria nel giubbotto equilibratore più che pinneggiando. Il secondo fattore che aiuta è una respirazione lunga e profonda, come quella yoga. Alla fine dell'espiazione deve esserci una leggera spinta positiva per espellere il biossido di carbonio. Infine bisogna padroneggiare bene l'attrezzatura. Ogni cosa deve essere familiare, posta al suo posto e non bisogna pensare a dove e come si usa o si controlla per farlo. Tutti noi, giovani o vecchi, siamo influenzati dagli effetti nefasti del biossido di carbonio e dobbiamo controllare le nostre azioni per evitare comportamenti che ne aumentino il livello».

### NOTE SULL'AUTORE

#### **Stefano Ruia**

Autore di numerosi articoli e libri dedicati al mondo sommerso. Collabora regolarmente alle riviste Il Subacqueo e Nautica e partecipa alla realizzazione di documentari e programmi RAI inerenti le attività subacquee.

Esperto di didattica subacquea, è responsabile del settore Technical Training della PSS Worldwide, per la quale si occupa anche della realizzazione di materiali didattici.

Da anni impegnato in campagne di esplorazione e documentazione subacquea, si è fatto promotore del programma di ricerca D.W.E.L.L.E.R. (Deep Wrecks Explorations with Light and Limited Equipment Research) che ha ottenuto buoni successi.

**I testi riportati nel presente dossier sono stati concessi ad uso interno dei corsi PSS di IDRA Diving Club e non possono essere riprodotti o citati, anche solo in parte, senza il suo esplicito consenso.** Può essere contattato: [tek@pssworldwide.org](mailto:tek@pssworldwide.org)

