Che sia solo metabolismo? Un nuovo modello per capire le bolle

Il rischio di patologia da decompressione (PDD) a seguito di un'immersione è stato attribuito alla presenza ed alla quantità di bolle gassose circolanti nel distretto venoso (in inglese VGE, Venous Gas Emboli). Si pensa che queste bolle si sviluppino a partire da "micronuclei gassosi" precursori, che si formano a causa della sovrasaturazione dei gas. Recentemente, la PDD è stata anche associata alla presenza di microparticelle di sangue e di sintomi legati a un processo infiammatorio.

Le bolle post-immersione possono essere misurate con l'uso di doppler ed ecocardiografie, e sono condsiderate un indicatore di stress decompressivo, anche se la loro presenza non risulta automaticamente in PDD. Per una data immersione, il monitoraggio delle bolle mostra grandi differenze tra i vari soggetti, evidenziando il ruolo chiave giocato dalla variabilità individuale. I ricercatori hanno osservato che alcune persone sono soggette a bolle e PDD, mentre altre sembrano meno esposte al rischio. Inoltre, lo stesso subacqueo può presentare variazioni importanti di bolle in una data immersione, che possono essere influenzate da condizionamenti pre-immersione. Nessuna di queste variazioni è spiegata dagli attuali modelli decompressivi.

Ora, in un nuovo studio che attinge a ricerche fatte negli ultimi decenni, i ricercatori DAN propongono una visione diversa, secondo la quale i singoli processi metabolici di un subacqueo possono dare origine a una grande variabilità, che può risultare nella PDD. Questo nuovo modello supporta sia la variabilità individuale che le differenze osservate nel condizionamento pre-immersione, e fa luce sull'origine delle microparticelle nel sangue. Spiega anche la variabilità delle bolle in base afattori di rischio come età, forma fisica e stress da immersione.

Le mille bolle blu

Il modello metabolico proposto dagli autori si basa sul lavoro pionieristico di Brian Hills sulla cavitazione delle bolle e, più recentemente, su quello del ricercatore israeliano Ran Arieli, che ha dimostrato come le bolle decompressive prodotte dai sub si sviluppano a partire da micronuclei di gas preesistenti, che si creano in punti idrofobici presenti sul rivestimento dei vasi sanguigni.

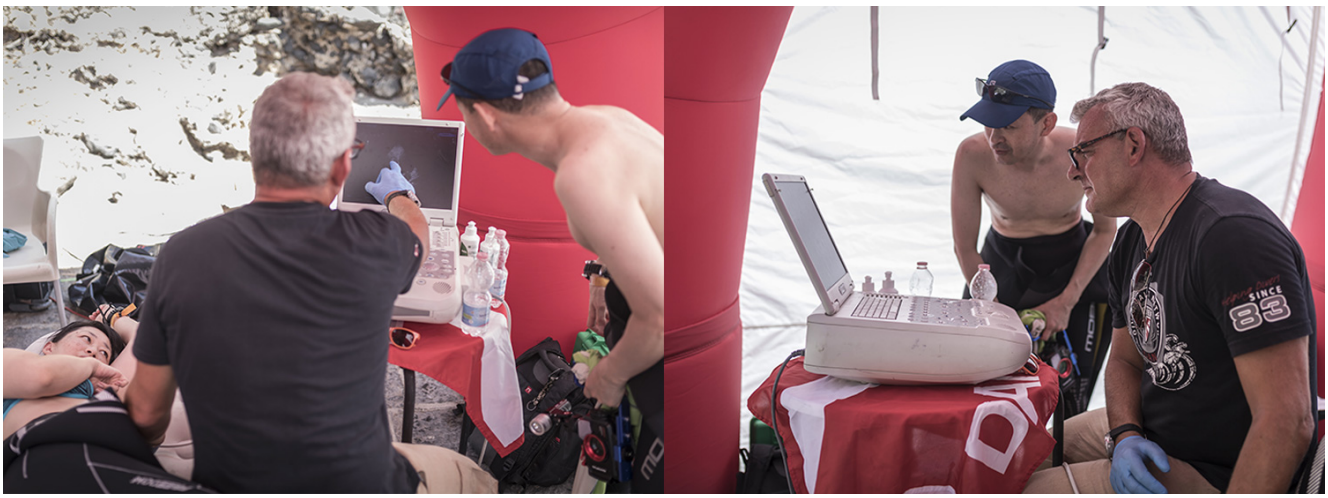
La seconda base del modello è la sorprendente ricerca condotta nell'ultimo decennio sul pre-condizionamento dei subacquei, che ha confermato come le nanobolle stabili e stazionarie siano molto probabilmente già presenti nei subacquei in superficie.

L'ipotesi degli autori è che il metabolismo di un subacqueo sia responsabile della creazione di una moltitudine di piccole sacche di gas, chiamate **"bolle metaboliche statiche", o SMB (Static Metabolic Bubbles)**, che sono attaccate ai rivestimenti dei vasi sanguigni già prima dell'immersione. Queste sacche di gas, a loro volta, agiscono come precursori delle bolle circolanti post-immersione.

Gli autori sostengono che la formazione delle bolle statiche è il risultato della ben nota "Finestra dell'ossigeno" (OW, Oxygen Window), ovvero la differenza di pressione parziale tra l'ossigeno negli alveoli del subacqueo, che è in equilibrio con la pressione ambiente, e la pressione più bassa nel tessuto venoso, che risulta dal metabolismo attivo. L'ipotesi è che questo gradiente di pressione sostenga una popolazione di sacche di gas (bolle statiche) quando il subacqueo è in superficie (più alto è il gradiente, più bolle statiche si creano) ed offrono un'equazione matematica che caratterizza la loro forma, volume e dinamica.

Durante la discesa, il volume delle bolle statiche è ridotto, in base alla legge di Boyle. Tuttavia, quando il subacqueo entra in uno stato decompressivo, lo scambio di gas alimenta le bolle statiche esistenti attraverso la diffusione del tessuto adiacente. Le bolle statiche cresceranno fino a raggiungere un volume critico di distacco dal rivestimento dei vasi sanguigni, con conseguente generazione di bolle circolanti.

Il livello di bolle dipenderà quindi dal numero di punti idrofobici nei vasi sanguigni e dal volume iniziale delle bolle statiche (che dipende a sua volta dal metabolismo del subacqueo) e dalla velocità di risalita, che creerà i gradienti di diffusione e regolerà la velocità alla quale queste bolle statiche cresceranno e produrranno bolle circolanti. Inoltre, si pensa che quando le bolle statiche si staccano dai rivestimenti dei vasi sanguigni, esse "rompano" delle microparticelle, che possono passare attraverso i filtri polmonari e cardiaci e generare una risposta infiammatoria – l'altra dimensione della PDD.



Capire variabilità e pre-condizionamento

Secondo questo modello, la popolazione di bolle statiche preesistenti rappresenta la caratteristica individuale primaria del subacqueo, che influenza il suo livello di bolle circolanti post-immersione, così come l'infiammazione, e potrebbe spiegare la grande variabilità individuale osservata tra i subacquei. E' noto come il metabolismo rallenti con l'età: questo potrebbe spiegare più elevati livelli di bolle circolanti nei subacquei più anziani.

Allo stesso modo, il metabolismo è direttamente collegato alla frequenza cardiaca a riposo e proporzionato al livello di massa corporea. Questo sembra suggerire che l'allenamento fisico aumenta l'Oxygen Window e spiegherebbe i livelli più bassi di bolle circolanti nei subacquei in forma. È interessante notare che anche dall'analisi del database di immersioni DAN (Diving Safety Lab) i ricercatori hanno concluso che due fattori in particolare – l'aumento dell'età e l'indice di massa corporea – sembrano essere correlati ad un più alto livello di bolle circolanti.

Il modello proposto, inoltre, si ricollega alle recenti acquisizioni riguardo al pre-condizionamento dei sub, che hanno dimostrato come le vibrazioni meccaniche e la respirazione di ossigeno prima dell'immersione possono ridurre le bolle dopo la decompressione. Queste azioni potrebbero ridurre il volume delle bolle statiche prima dell'immersione, con conseguente riduzione delle bolle circolanti.
Il modello è coerente con altri studi che mostrano come il riposo prolungato, simulazione della microgravità durante i viaggi spaziali, seguito da immersioni in aria, aumenta significativamente la quantità di bolle dopo la decompressione.

Algoritmi da Decompressione Metabolica?

Anche se non esiste un legame diretto tra bolle circolanti e rischio di PDD, più basso è il numero di bolle, minore è il rischio di PDD. Gli autori concludono che la dose di bolle circolanti in entrata e la capacità di filtrazione polmonare determinano la possibilità di formazione di emboli gassosi e quindi di PDD. Come accennato, il distacco delle bolle libera microparticelle, le quali possono provocare un'infiammazione dei tessuti simile a quella causata dalle bolle.

Secondo gli autori, l'impostazione di livelli accettabili di rischio di PDD nei futuri algoritmi di decompressione richiederà la stima di vari parametri legati alle caratteristiche individuali del subacqueo. Si potrebbero anche integrare i valori M e i fattori di gradiente (GF, Gradient Factor) per gli algoritmi esistenti in base a queste caratteristiche.

Forse i nuovi algoritmi basati sulle caratteristiche individuali del subacqueo non produrranno profili di decompressione molto diversi dagli attuali, che già forniscono un livello di rischio accettabile. Tuttavia, un nuovo modello metabolico potrebbe fornire un migliore controllo del conservativismo e offrire ai subacquei la possibilità di selezionare il livello di stress da decompressione che sono pronti ad accettare per una determinata immersione.

Informazioni sull'autore

Michael è un giornalista ed esperto, vincitore di diversi premi, che da decenni scrive di subacquea e di tecnologia subacquea. Ha coniato il termine “subacquea tecnica” (in inglese, “technical diving”). I suoi articoli sono stati pubblicati su riviste quali Alert Diver, DIVER, Quest, Scientific American, Scuba Times, Sports Diver, Undercurrent, Undersea Journal, WIRED e X-Ray. Ha fondato ed è stato redattore capo di aquaCORPS, che ha contribuito ad avvicinare la subacquea tecnica alla subacquea tradizionale. Inoltre, è l’organizzatore delle conferenze Tek, EuroTek e AsiaTek.