Un’immersione nel barometro

Il subacqueo Shayne Pemberton di Richardson, Texas, stava giocherellando nel suo laghetto per tartarughe. Riempì d’acqua un barattolo, sollevò la parte chiusa sopra la superficie del laghetto, e un pesce nuotò dentro al barattolo. Questo gli diede da pensare.

Un barattolo d’acqua alto 18 metri è come il barometro a mercurio usato per misurare la pressione atmosferica. Un barometro vero è un tubo di vetro con un diametro di circa un quarto di pollice (6,35mm), riempito di mercurio, con la parte aperta immersa in una vaschetta di mercurio. Il mercurio scende dalla parte superiore del tubo, il lato chiuso, per circa un pollice e rimane ad un’altezza di circa 30 pollici (76cm) dalla superficie della vaschetta di mercurio. La lunghezza della colonna equivale ad una pressione – la pressione atmosferica o barometrica – di 14,7 libbre per pollice quadrato, assoluta.

Se arriva un temporale o il barometro viene portato in montagna (è ciò che fecero i “filosofi naturali” nel ‘600), l’altezza della colonna di mercurio diminuisce con l’abbassamento della pressione atmosferica. La colonna di mercurio rimane al di sopra della vaschetta perché viene spinta verso l’alto dalla pressione atmosferica che grava sulla superficie della vaschetta. Lo spazio di testa “vuoto” è in realtà pieno di vapore di mercurio.

Per avere una dimostrazione, potreste costruire un barometro con acqua di mare invece che con mercurio (evitate il contatto con il mercurio, perché è tossico). Se la parte chiusa di un tubo riempito con acqua di mare venisse gradualmente alzata sopra il livello del mare, il tubo rimarrebbe completamente pieno d’acqua fino all’altezza di 33 piedi (10m). Al di sopra di questa altezza, l’acqua di mare scenderebbe dalla sommità del tubo e rimarrebbe a 33 piedi e non si alzerebbe, non importa quanto in alto venisse sollevato il tubo. Se il tubo fosse abbastanza grande da potercisi immergere, un subacqueo noterebbe che, mano a mano che salisse, la pressione scenderebbe. Il meccanismo è lo stesso che nel barometro a mercurio, eccetto che il liquido è acqua. Di fatto, sono stati costruiti barometri con acqua dolce ma, invece di essere alti 30 pollici, sono alti 34 piedi (11m) – 34 piedi di acqua dolce = 1 atmosfera di pressione = 30 pollici (76cm) di mercurio = 33 piedi di acqua di mare. Lo spazio di testa vuoto in cima alla colonna è in realtà vapore acqueo ad una pressione di 0,05 atmosfere assolute (ata).

La pompa aspirante

Un barometro ad acqua ed una pompa aspirante hanno molto in comune. Se lo spazio di testa del barometro viene aperto ed entra in contatto con l’atmosfera, l’acqua riscende al livello del mare. Ora chiudiamo lo spazio di testa e applichiamo un vuoto con una pompa aspirante per tirar su di nuovo l’acqua nel tubo. L’acqua si alzerà fino a 33 piedi e si fermerà lì. In un pozzo d’acqua dolce è impossibile pompare acqua da una profondità maggiore di 34 piedi per la stessa ragione per la quale l’acqua in un barometro ad acqua dolce non si alzerà a più di 34 piedi – spiegheremo più avanti il perché. Immersioni in altitudine Cosa è successo al pesce nel barattolo del laghetto per tartarughe di Shayne Pemberton, e cosa succederebbe ad un subacqueo in un barometro ad acqua? Prima di tutto, dobbiamo ricordare che la pressione alla base della colonna d’acqua al livello del mare è di 1ata, e che la pressione nello spazio di testa 33 piedi più su è di 0,05ata (la pressione di vapore dell’acqua). Se il subacqueo nuotasse fino all’altezza di 16,5 piedi (5m) della colonna d’acqua, la pressione assoluta scenderebbe alla metà di un’atmosfera assoluta (0,5 ata), equivalente alla pressione barometrica ad un’altitudine di 18.000 piedi (5.486m).

Se il subacqueo nuotasse fino a 24 piedi (7m), la pressione scenderebbe a 0,3 ata, equivalente ad un’altitudine di 30.000 piedi (9,144m). La cima dell’Everest è a circa 29.000 piedi (8.839m), e una tuta da

astronauta ha una pressione equivalente ad un'altitudine di 30.300 piedi (9.235m). Il nostro subacqueo è in un mondo artificiale con due problemi di immersione molto improbabili. Primo, un subacqueo che respirasse aria a 24 piedi nella colonna d'acqua perderebbe conoscenza per mancanza di ossigeno (ipossia), in quanto la pressione parziale dell'ossigeno a 30.000 piedi di altitudine è di sole 0,06 atm o l'equivalente del 6 percento a livello del mare. Per evitare l'ipossia, la tuta da astronauta è riempita di ossigeno puro. Secondo, il subacqueo soffrirebbedi malattia da decompressione da altitudine (MDD) invalidante o fatale a causa delle bolle formate dall'azoto disciolto nei suoi tessuti. Per evitare la MDD, gli astronauti respirano ossigeno puro al livello del mare, per un massimo di quattro ore, per eliminare l'azoto disciolto prima di decomprimersi alla pressione della tuta spaziale.

Riflettiamo su questo mondo artificiale: una colonna di aria comprimibile alta più di 100.000 piedi (330.48m) è stata sostituita da una colonna di acqua di mare incomprimibile alta 33 piedi (10m). Ciascuna colonna grava con lo stesso peso sulla superficie dell'oceano. Un'immersione barometro ad acqua sarebbe una maniera brillante per insegnare le pressioni manometrica e assoluta, se non fosse per l'ipossia e la MDD. Freddo bollente Perché in un barometro ad acqua di mare l'altezza della colonna è limitata a 33 piedi, e perché l'acqua dolce non può essere pompata da pozzi più profondi di 34 piedi? Il motivo è il punto di ebollizione. A temperatura ambiente – 72°F (22°C) – la pressione del vapore acqueo è di 0,05atm, o 0,7psi. Quando l'acqua viene riscaldata, la pressione del suo vapore sale, e quando la temperatura raggiunge i 212°F (100°C) la pressione vapore è di 14,7psi, o 1atm. L'acqua bolle quando la pressione del suo vapore coincide con la pressione assoluta. Vediamo la cosa in un altro modo. Quando si sale in montagna, l'acqua bolle ad una pressione (vapore) più bassa perché la pressione barometrica è più bassa. Viceversa, in una pentola a pressione la pressione viene aumentata per arrivare all'ebollizione ad una temperatura più alta.

Bolle decompressive Qui abbiamo una lezione sulle bolle che si formano durante la decompressione. Le bolle si formano quando la somma di tutte le pressioni parziali dei gas disciolti (azoto, ossigeno, anidride carbonica, elio, ecc.) – più la pressione del vapore acqueo – supera la pressione assoluta. Questa condizione è nota come "sovrasaturazione".
Tuttavia durante le immersioni, diversamente da quanto accade nell'ebollizione, la pressione del vapore acqueo è molto più bassa della pressione parziale dell'azoto disciolto, ed è quindi l'azoto – non il vapore acqueo – che determina la formazione di bolle. Alcuni teorici della decompressione ritengono che sia possibile resistere a sovrasaturazioni più grandi prima che si formino bolle nel sangue e nei tessuti, ma queste sovrasaturazioni più alte sembrano minime, sempre che esistano. Bolle "silenti", che non provocano segni o sintomi di MDD, possono essere presenti dopo praticamente qualsiasi immersione, eccetto le più banali. La rilevazione ad ultrasuoni trova regolarmente delle bolle nel corpo umano con sovrasaturazioni di sole 0,4atm (6psi; 12fsw/4msw). Può darsi che le grandi sovrasaturazioni nella teoria della decompressione rappresentino bolle silenti che sono troppo piccole, o che si trovano nel punto sbagliato, per causare sintomi.

C'è anche una lezione più particolare riguardo la formazione di bolle: il vapore acqueo lascia la superficie dell'acqua solo se c'è una superficie gassosa adiacente. Se non ci fossero superfici gassose nel barometro ad acqua, sarebbe possibile alzare la colonna d'acqua a migliaia di piedi o metri e farla aderire alla cima. Per strano che possa sembrare, la pressione sulla cima della colonna sarebbe inferiore di centinaia di atmosfere rispetto alla pressione atmosferica. Questo è stato dimostrato sperimentalmente con acqua molto pulita e con acqua surriscaldata che non bolle, sebbene la pressione vapore sia centinaia di volte più alta della pressione atmosferica. Quando alla fine una bolla di vapore acqueo puro si forma, l'acqua ha raggiunto la sua forza "tensile" e si frattura o si rompe. Ciò è noto come formazione de novo della bolla, ossia bolle che si formano "dal nulla".

La realtà è che le bolle si formano praticamente sempre da “qualcosa”, e quel qualcosa è una piccola cavità gassosa, sia che si trovi nell’acqua di mare o nel nostro corpo. Chi ha detto che la fisica è noiosa?

L’autore

Richard Vann ha iniziato a collaborare con il Duke Center di Medicina subacquea e fisiologia ambientale in qualità di dottorando in ingegneria biomedica. Ha studiato la formazione di bolle e gli scambi di gas inerte. Ha elaborato procedimenti decompressivi utilizzati in immersioni scientifiche e da astronauti in attività extraveicolari dalla Stazione spaziale. Il dott. Vann è Vice Presidente del DAN Research.