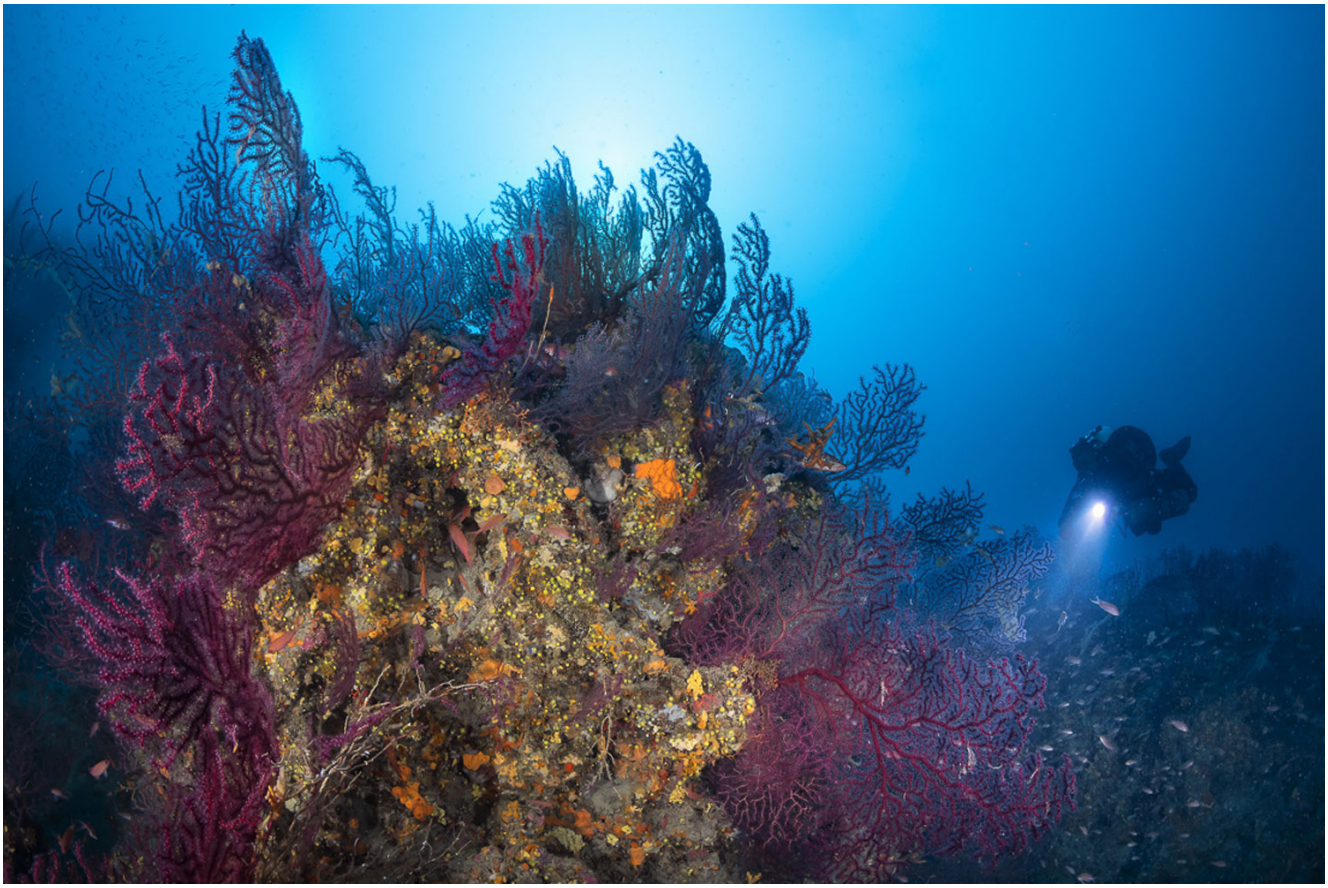
Proviamo a misurare la Narcosi da Azoto

Sebbene la nostra comprensione dei suoi meccanismi e dei suoi effetti sia ancora in evoluzione, la narcosi da azoto, poeticamente descritta da Jacques Cousteau come "estasi degli abissi", è da tempo riconosciuta come un importante fattore di rischio, che incide sulla sicurezza delle immersioni. Di certo, è molto più probabile che un subacqueo ricreativo sperimenti la narcosi, piuttosto che la malattia da decompressione (MDD). Anche se è stato dimostrato che i subacquei non sviluppano una tolleranza alla narcosi, possono imparare ad affrontarla in vari modi.

In passato, la narcosi era un fattore realmente limitante per le immersioni oltre i 30-40 metri. I subacquei dovevano affrontarne a proprio rischio e pericolo gli effetti crescenti, man mano che si avventuravano più in profondità. Oggi, con l'uso delle miscele di gas, i rischi operativi della narcosi possono essere facilmente mitigati.



Tuttavia, rimane il disaccordo su quanto la narcosi sia prudente, fino a che punto possa essere gestita e se anche l'ossigeno contribuisca all'effetto narcotico del gas respiratorio. Di conseguenza, **le pratiche adottate dalle varie comunità di subacquei ricreativi variano notevolmente**.

Una delle principali sfide nello studio della narcosi è stata la mancanza di una misura obiettiva e affidabile per quantificarne l'insorgenza e la gravità. I subacquei si sono dimostrati inaffidabili nell'auto-valutazione dei sintomi soggettivi, ed i tradizionali test psicologici possono essere difficili da realizzare sott'acqua.

Tuttavia, nell'ultimo decennio, i ricercatori di DAN Europe hanno pubblicato una serie di studi scientifici che valutano l'efficacia di un nuovo strumento per valutare la funzione cognitiva del subacqueo: si chiama **Critical Flicker Fusion Frequency** (CFFF, o semplicemente Flicker) e promette di misurare in maniera oggettiva (e piuttosto semplice) la narcosi.

Questo articolo si focalizza principalmente su **due studi che offrono nuove, sorprendenti prospettive sulla narcosi**. Il primo (***Do Environmental Conditions Contribute to Narcosis Onset and Symptom Severity?*** *– Le Condizioni Ambientali Contribuiscono all'Insorgenza della Narcosi ed alla Gravità dei Sintomi?* 2016) ha esaminato gli effetti di diversi ambienti iperbarici sulla narcosi ed ha concluso che la **pressione** e il **tipo di gas** sono gli unici fattori esterni ad influenzare la narcosi. Ha anche mostrato che l'insorgenza della narcosi inizia dopo un breve periodo di accresciuta vivacità mentale durante la discesa, e che i suoi effetti persistono per almeno 30 minuti dopo la fine dell'immersione.

Il secondo articolo (***Early detection of diving-related cognitive impairment of different nitrogen-oxygen gas mixtures using critical flicker fusion frequency*** *– Rilevamento precoce del deterioramento cognitivo legato all'immersione, in diverse miscele di azoto-ossigeno, utilizzando un CFFF*), ha confrontato la narcosi in immersioni in aria e Nitrox (EANx) utilizzando sia il Flicker che i tradizionali test psicologici, ed ha concluso che le elevate pressioni parziali di ossigeno nel Nitrox possono offrire un potente modulatore degli effetti della narcosi.

La nuda verità sul Flicker

La Critical Flicker Fusion Frequency (CFFF) è la frequenza alla quale una luce a intermittenza viene percepita come costante e continua. Sviluppata per la prima volta all'inizio del XX secolo per lo studio della fisiologia della visione, la CFFF è di fatto un importante strumento, in grado misurare la prontezza mentale e l'acutezza in condizioni che comportano una patologia, l'anestesia o le esposizioni professionali in aviazione.

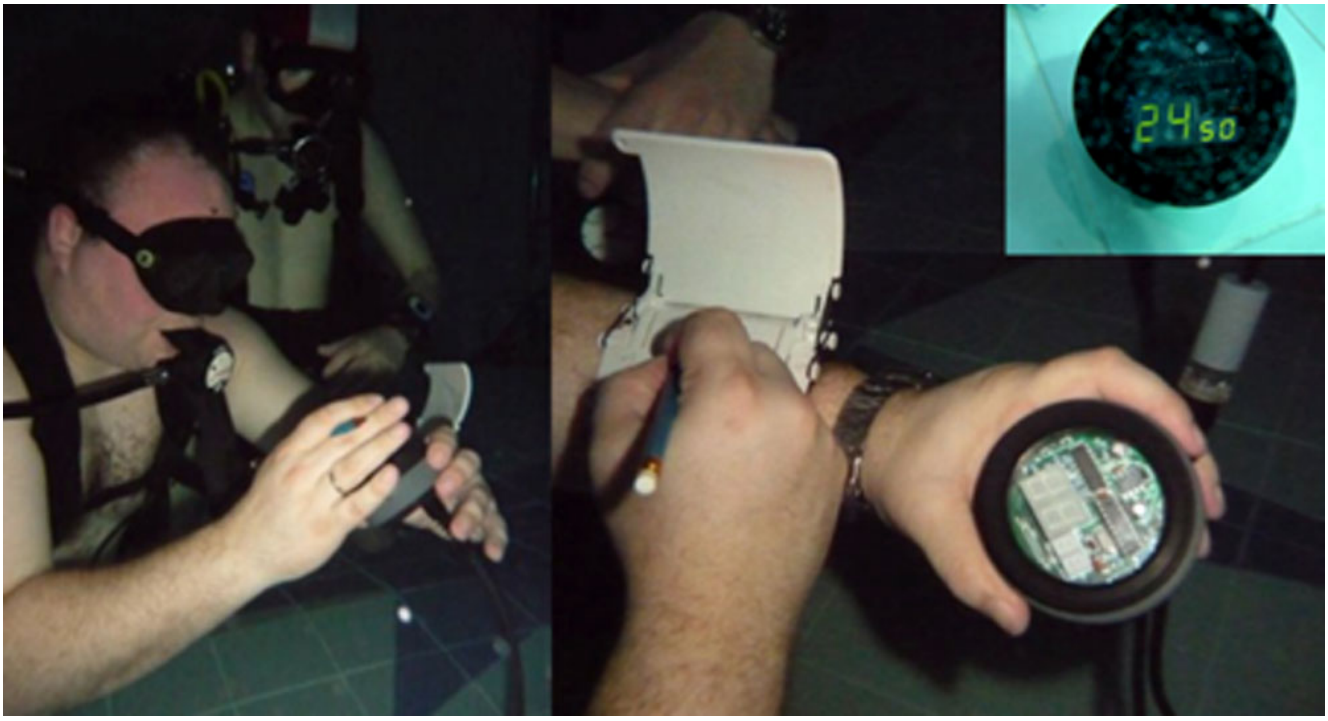


Man mano che le funzioni cognitive dei soggetti vengono compromesse o diminuiscono, la frequenza alla quale essi percepiscono la fine dell'intermittenza (la cosiddetta "frequenza di fusione") diminuisce. Viceversa, in stati di maggiore attenzione mentale, la frequenza di fusione aumenta. Poiché le persone

percepiscono frequenze diverse, la frequenza di fusione di base di un determinato soggetto è considerata 100%, ed il CFFF è misurato come percentuale del valore di base.

Il fondatore di DAN America, Dr. Peter Bennett, ha parlato per primo della correlazione tra gli stati mentali del subacqueo, il CFFF e l'elettroencefalogramma (EEG), nel lontano 1960. Un altro lavoro mostrava una certa corrispondenza tra i cambiamenti del CFFF durante un'immersione in saturazione in Heliox ed i cambiamenti dell'EEG. Studi successivi non furono in grado di replicare quei risultati, quindi l'uso del CFFF fu praticamente abbandonato.
Di recente, tuttavia, i ricercatori DAN hanno ripreso a studiare questa "misura oscura", ottenendo risultati promettenti. Hanno dimostrato che i test CFFF forniscono misurazioni affidabili sott'acqua (2012) ed hanno messo a punto una valutazione delle funzioni cognitive del subacqueo molto simile ad alcuni dei test PEBL *(Psychology Experiment Building Language)* quando si respirano aria ed ossigeno a pressione atmosferica (2014).

I test CFFF sono più facili da effettuare sott'acqua rispetto ai test PEBL, e forse meno influenzabili dal soggetto. I test vengono condotti utilizzando un piccolo dispositivo cilindrico con un LED blu e un anello rotante che cambia la frequenza di lampeggio. Durante il test, il subacqueo guarda dritto nel LED. Il ricercatore quindi aumenta o diminuisce la frequenza di lampeggio. Quando il subacqueo vede il LED passare da lampeggiante a continuo (fusione), il test viene interrotto e la frequenza di fusione viene registrata. I risultati vengono poi confrontati con il CFFF pre-immersione, che funge da valore di base. In questo caso, un aumento della frequenza di fusione viene interpretato come un aumento della funzione cognitiva, mentre una sua diminuzione viene considerata come prova di narcosi.



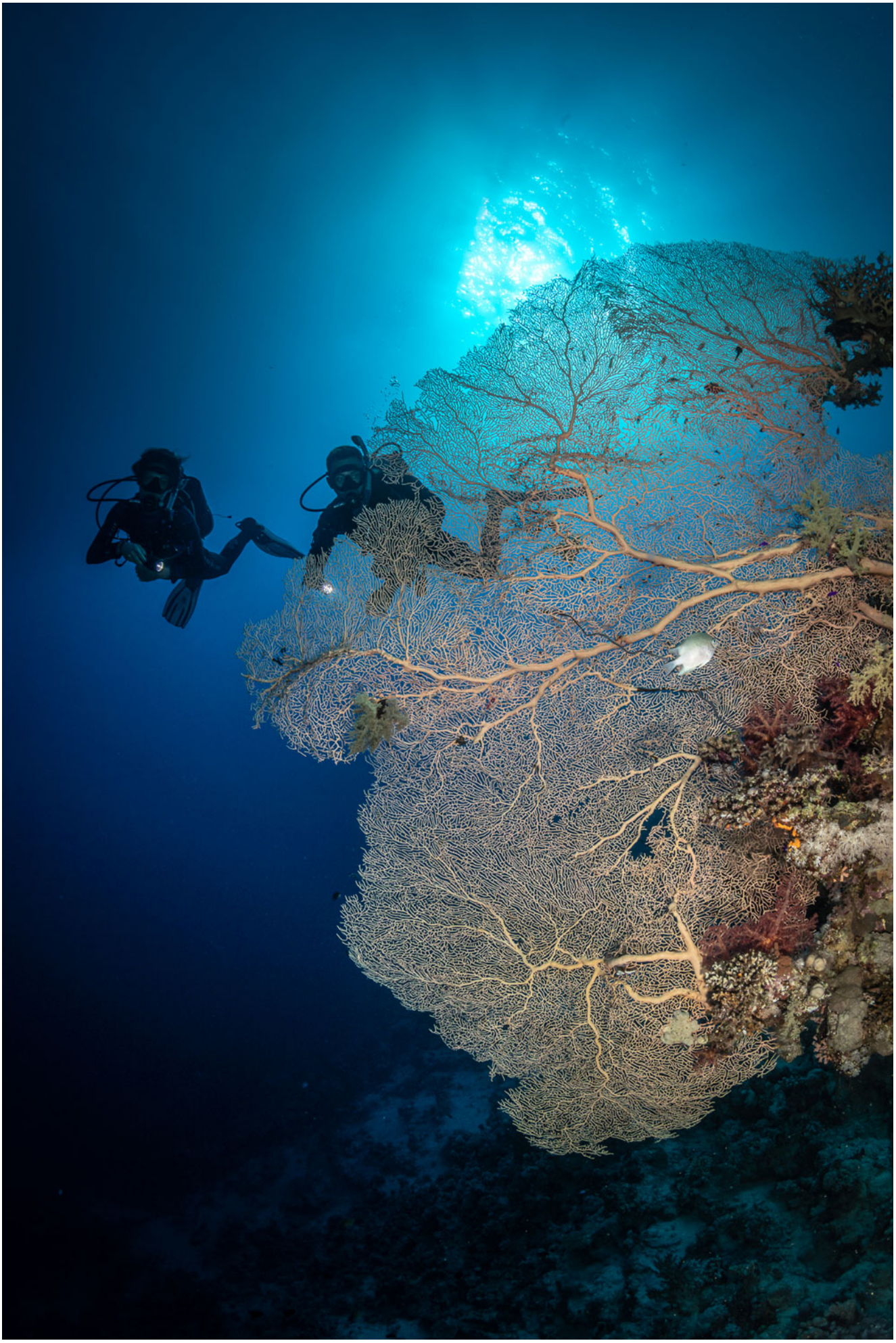
Quanto conta l'ambiente circostante?

Visto che i subacquei si adattano al mondo sommerso, è chiaro che l'ambiente stesso è in grado di influenzare le prestazioni attraverso una combinazione di fattori. Di conseguenza, si pensa che alcuni di essi contribuiscano all'insorgenza e all'intensità della narcosi.

Il primo fattore è costituito dalle elevate pressioni parziali di anidride carbonica (PCO_2) dovute a **sforzi**,

pinneggiatesostenute, **respirazione**. Si pensa che un'elevata PCO_2 possa allargare i vasi sanguigni cerebrali, portando al cervello livelli di azoto più elevati.

Anche **il freddo** è un fattore condizionante: provoca la costrizione dei vasi periferici, ma dal momento che i vasi cerebrali non possono restringersi, questo si traduce in un aumento del carico di azoto nel cervello.



Altri fattori che si pensa contribuiscano alla narcosi sono **l'uso di alcol** e/o **droghe**, i postumi di una sbornia o **la stanchezza**, **l'ansia**, il **carico di lavoro**, **lo stress**, **la visibilità limitata**, **la velocità di discesa**, **le vertigini** e **il disorientamento spaziale**. Tuttavia, da un punto di vista scientifico, non esistono molti dati relativi a questi fattori, sono quindi necessari ulteriori studi. Ecco perché questo primo studio si è concentrato sull'ambiente in immersione.

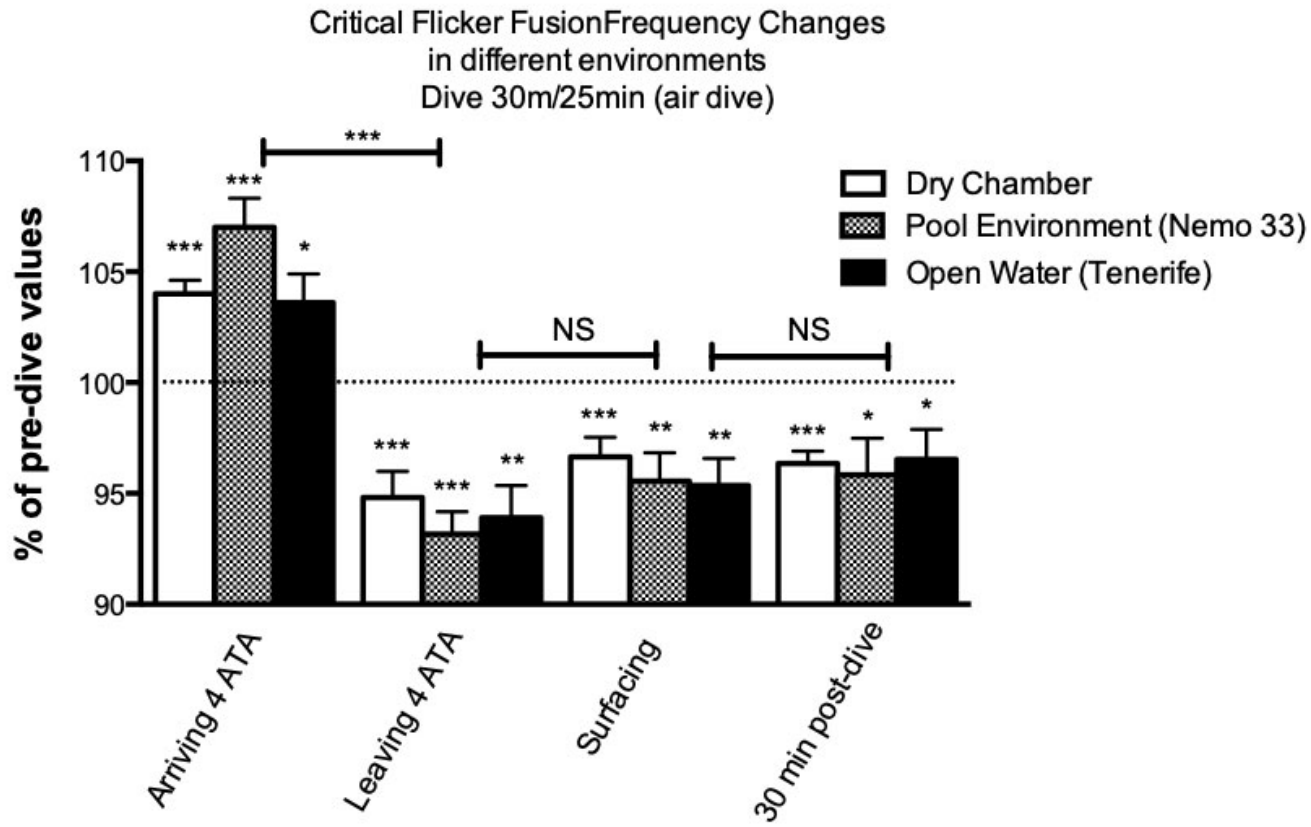
I ricercatori hanno reclutato un gruppo uniforme composto da 40 subacquei maschi non fumatori di età compresa tra i 30 e i 40 anni, che si allenavano regolarmente e avevano un indice di massa corporea (IMC) di 20-25. I subacquei si sono astenuti dall'alcool 72 ore prima dello studio.

Le immersioni di test sono state condotte a 30 metri con tempi di fondo di 20 minuti, in tre ambienti distinti: una camera iperbarica, una piscina profonda (Nemo33) e un'immersione in acque libere. La temperatura dell'acqua in piscina era di 33°C e non era richiesta alcuna protezione termica. La temperatura del mare era di 19°C ed i subacquei indossavano una muta adatta.

Sono state effettuate cinque serie di misurazioni CFFF per ogni immersione:

- Pre-immersione per impostare il valore di base
- A 30 metri di profondità
- 5 minuti prima dell'emersione
- Al momento dell'emersione
- Trenta minuti dopo la fine dell'immersione

Secondo gli autori, questa è la prima volta che gli effetti della narcosi venivano misurati in una popolazione standard e in condizioni ambientali diverse (a secco *vs* in acqua, con muta *vs*senza muta, immersione nel blu senza riferimenti *vs* in una piscina). I risultati sono stati sorprendenti.



Come mostrato nella Fig. 1, i risultati CFFF sono stati incredibilmente coerenti in ciascuno dei tre ambienti.

In primo luogo, i valori CFFF dei subacquei sono aumentati all'arrivo in profondità, indicando un'accresciuta funzione cognitiva. Questo era seguito, 15 minuti più tardi, da una marcata diminuzione dei valori CFFF, segno di una regressione cognitiva presumibilmente dovuta agli effetti della narcosi. Sorprendentemente, questa condizione rimaneva al momento dell'emersione e persino 30 minuti dopo la fine dell'immersione.

Questa persistenza suggerisce che il vecchio consiglio di risalire di qualche metro dopo aver sperimentato gli effetti della narcosi è probabilmente inefficace. Sorprendente è stato anche l'aumento iniziale dei valori CFFF una volta arrivati in profondità, il che indica un'accresciuto stato di attenzione.

Secondo i ricercatori, queste osservazioni sono coerenti con la teoria proteica della narcosi, considerata oggi come meccanismo dominante rispetto alla vecchia teoria Meyer-Overton di anestesia basata sulla solubilità lipidica, anche se entrambe le teorie probabilmente sono in gioco. Si ritiene infatti che la narcosi e l'anestesia condividano gli stessi meccanismi.

Gli autori ipotizzano che l'effetto osservato di accresciuta allerta cerebrale, seguita da una sua diminuzione, sia il risultato di un equilibrio tra gli effetti "farmacologici" diretti dell'azoto e dell'ossigeno sui recettori del GABA e la farmacocinetica di queste interazioni. L'ossigeno mostra effetti attivanti sui neurotrasmettitori, mentre l'azoto mostra effetti inibitori (vedi Rostain et al. 2011; Balestra et al. 2018).

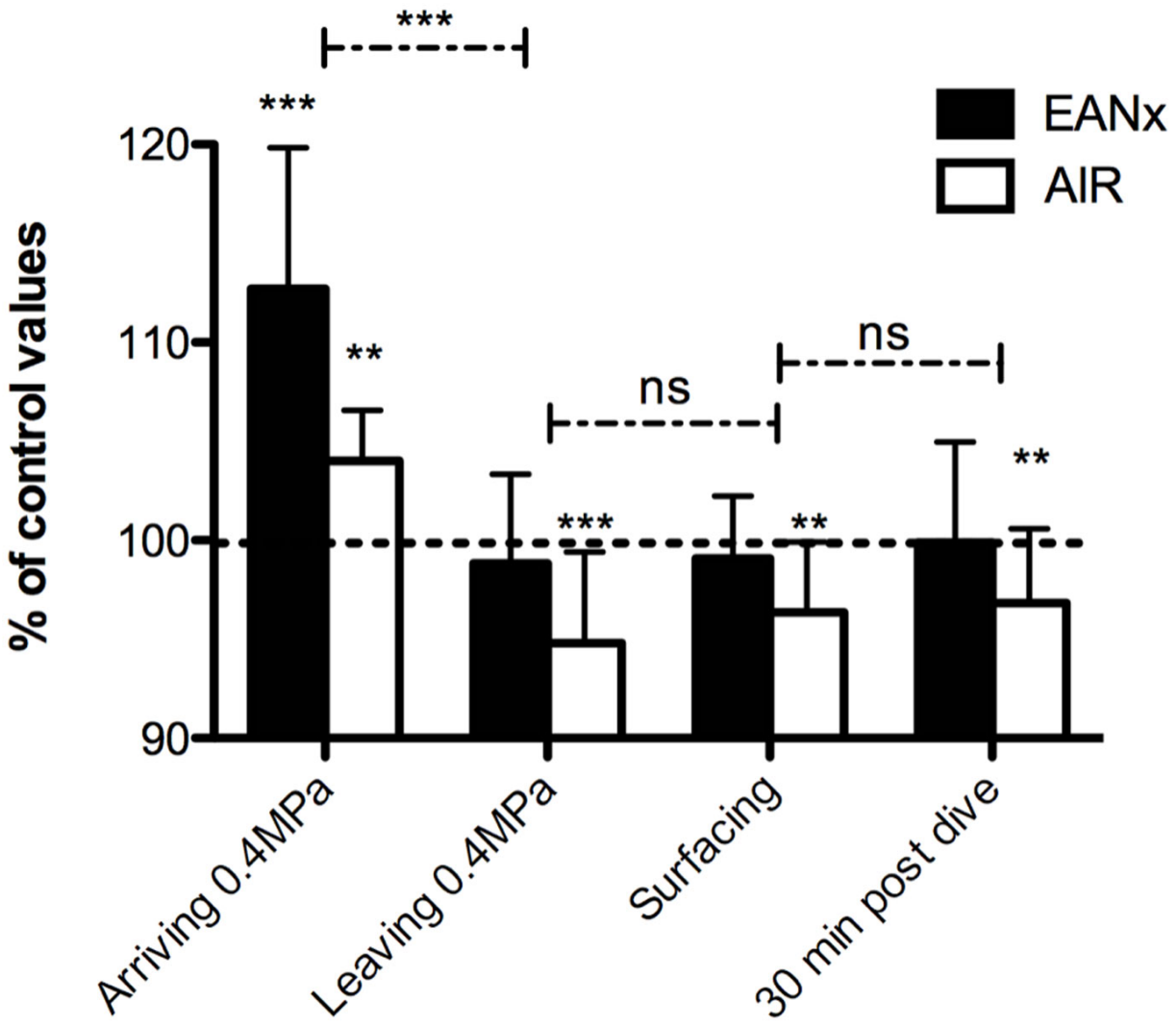
Gli autori hanno concluso che, se misurati oggettivamente, la pressione e i gas possono essere gli unici fattori esterni che influenzano la narcosi. Tuttavia, poiché lo studio non teneva conto del fattore sforzo (ad es. PCO2 elevata), anche questo potrebbe essere considerato, e probabilmente è, un fattore determinante.

Aria vs Nitrox

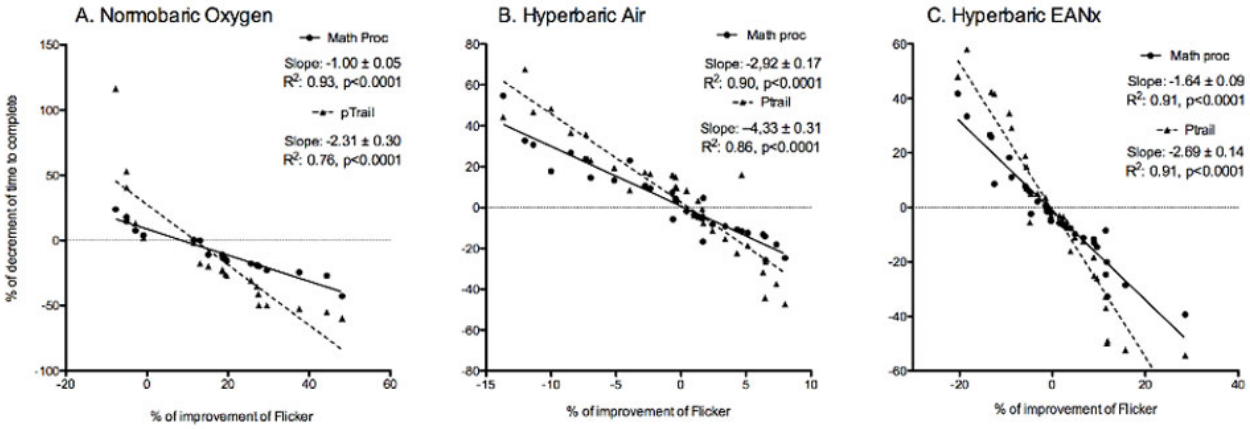
Esistono pochi studi comparativi sugli effetti dell'aria respirabile e dell'aria arricchita o Nitrox (EAN) sulla narcosi. Alcuni studi hanno riportato prestazioni psicomotorie peggiori quando si respira O2 o EANx. Altri studi sostengono che l'effetto narcotico sia lo stesso, anche se la percezione dei subacquei può essere diversa. Gli obiettivi dello studio DAN erano di migliorare le prestazioni cognitive con diverse pressioni parziali di ossigeno e testare l'efficacia del CFFF come strumento di misurazione.

Per lo studio, i ricercatori hanno selezionato otto subacquei maschi con parametri simili: fascia d'età 30-40 anni, Indice di Massa Corporea 20-25. Le immersioni di test sono state condotte in aria o in EANx 40, in ordine casuale, in una camera iperbarica dove i gas venivano inspirati attraverso una mascherina. Il profilo d'immersione è stato ideato in modo da generare narcosi: 30m o 4 ATA con un tempo di fondo di 22 minuti, e una decompressione lineare di 12 minuti a 3m/minuto con una sosta di sicurezza di 3 minuti a 3 m.

Le prestazioni cognitive dei subacquei sono state valutate durante le immersioni utilizzando sia il dispositivo di test CFFF che una batteria computerizzata di test PEBL composta da un'elaborazione matematica, un test di trail-making e un test di vigilanza percettiva. Come nello studio precedente, i subacquei sono stati valutati prima dell'immersione, all'arrivo sul fondo a 4 ATA, prima di iniziare la risalita da 4ATA, al momento dell'emersione e 30 minuti dopo la fine dell'immersione.



Come mostrato nella Fig. 2, l'evoluzione dei valori CFFF sia per l'aria che per l'EANx ha mostrato uno schema simile a quello del primo studio. Respirando aria, i valori CFFF sono aumentati all'arrivo a 4ATA, seguiti 15 minuti dopo da una diminuzione. Questa condizione persisteva durante la risalita in superficie e 30 minuti dopo l'immersione. Quando si respirava l'EANx, i valori CFFF aumentavano all'arrivo in profondità, per poi diminuire dopo 15 minuti. Tuttavia, la diminuzione è stata seguita da un ritorno ai valori di base. Solo la prima misurazione era statisticamente distinta dai valori di base.



La Fig. 3 mostra la significativa correlazione inversa tra le variazioni dei valori CFFF e il tempo necessario per completare i test PEBL per entrambe le miscele di gas. Similmente ai valori CFFF, il tempo necessario per completare le prove ha mostrato un miglioramento al raggiungimento della profondità per entrambi i gas, per poi peggiorare (i tempi erano più lunghi) durante l'immersione, con un perdurare della condizione per 30 minuti dopo l'emersione. Ciò ha confermato la validità del CFFF come strumento di misura in condizioni iperbariche ed ha suggerito che il CFFF produce risultati paragonabili al PEBL.

L'aria compressa va bene solo per i pneumatici?

Anche se l'evoluzione delle immersioni ha mostrato uno schema simile, c'era una differenza significativa tra i due gas. Il Nitrox era associato ad una maggiore attivazione cerebrale rispetto alle immersioni in aria, e la riduzione nella performance durante e dopo l'immersione era minore. Risultati coerenti con quanto osservato nel primo studio sulle condizioni ambientali.

Gli autori hanno ipotizzato che la frazione più alta di ossigeno inspirato ha avuto un effetto benefico sull'attenzione e sulle prestazioni cognitive. Questo conferma quanto dimostrato in altri studi sulla respirazione di ossigeno.
I risultati suggeriscono che i subacquei più suscettibili alla narcosi possono essere anche suscettibili agli effetti di PO2 elevata. Inoltre, anche una piccola riduzione di PN2 ha portato ad un effetto benefico di EANx 28 (28% di ossigeno) sulle prestazioni cognitive, secondo uno studio precedente.

Il risultato? Lo studio sembra dar credito al celebre *meme* creato da Global Underwater Explorers (GUE), secondo cui "L'aria compressa è per i pneumatici". È probabile che i subacquei sentano meno gli effetti della narcosi usando Nitrox rispetto all'aria, ed il Nitrox offre vantaggi anche nella fase decompressiva.

Referimenti chiave

Rocco M, Pelaia P, Di Benedetto P, Conte G, Maggi L, Fiorelli S, Mercieri M, Balestra C, De Blasi RA & Investigators RP. (2019). Inert gas narcosis in scuba diving, different gases different reactions. *Eur J Appl Physiol* 119, 247-255.

Lafere P, Hemelryck W, Germonpre P, Matity L, Guerrero F & Balestra C. (2019). Early detection of diving-related cognitive impairment of different nitrogen-oxygen gas mixtures using critical flicker fusion

frequency. *Diving Hyperb Med* 49, 119-126.

Balestra C, Machado ML, Theunissen S, Balestra A, Cialoni D, Clot C, Besnard S, Kammacher L, Delzenne J, Germonpre P & Lafere P. (2018). Critical Flicker Fusion Frequency: A Marker of Cerebral Arousal During Modified Gravitational Conditions Related to Parabolic Flights. *Front Physiol* 9, 1403.

Lafere P, Balestra C, Hemelryck W, Guerrero F & Germonpre P. (2016). Do Environmental Conditions Contribute to Narcosis Onset and Symptom Severity? *International journal of sports medicine* 37, 1124-1128.

Freiberger JJ, Derrick BJ, Natoli MJ, Akushevich I, Schinazi EA, Parker C, Stolp BW, Bennett PB, Vann RD, Dunworth SA & Moon RE. (2016). Assessment of the interaction of hyperbaric N2, CO2, and O2 on psychomotor performance in divers. *J Appl Physiol (1985)* **121,** 953-964.

Balestra C, Lafere P & Germonpre P. (2012). Persistence of critical flicker fusion frequency impairment after a 33 mfw SCUBA dive: evidence of prolonged nitrogen narcosis? *Eur J Appl Physiol* 112, 4063-4068.

Rostain, J. C., Lavoute, C., Risso, J. J., Vallee, N., and Weiss, M. (2011). A review of recent neurochemical data on inert gas narcosis. *Undersea Hyperb. Med.*38, 49–59.

Altre risorse (solo in inglese)

The Science of Diving: Things your instructor never told you (DAN Member's link – NON Member's link)

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.