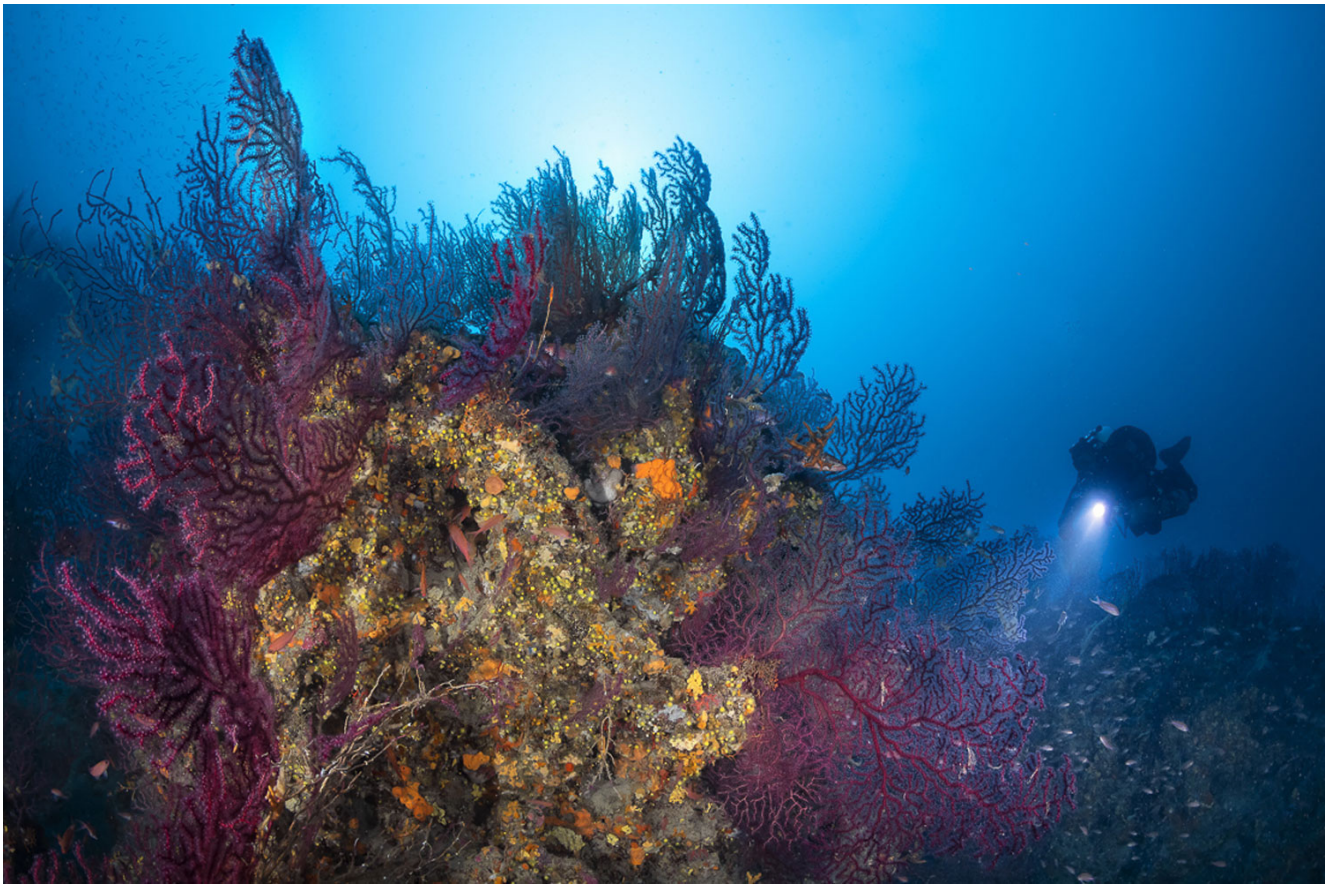
Het meten van Inert Gas Narcose

Hoewel het begrijpen van de mechanismen en de effecten steeds beter wordt, wordt inert gas narcose (IGN), door Jaques Cousteau poëtisch omschreven als “diepteroes”, al sinds lange tijd herkend als een belangrijke ricisofactor die invloed heeft op duikerveiligheid. In feite lopen sportduikers meer kans op het oplopen van IGN dan van decompressieongeval (DCO). Weliswaar is aangetoond dat duikers geen tolerantie voor narcose opbouwen, kunnen ze wel leren om er tot op zekere hoogte mee om te gaan.

In de begindagen van persluchtduiken was stikstofnarcose de belangrijkste beperkende factor voor duiken dieper dan een 30-40 meter (m) en duikers kregen op eigen risico te maken met steeds grotere problemen naarmate ze zich dieper waagden. Tegenwoordig, met de voordelen van menggastechnologie, kunnen de operationele gevaren van IGN gemakkelijk verkleind worden.



Maar er blijft echter onenigheid bestaan betreffende hoe veel narcose voorzichtig is, in hoe verre ermee omgegaan kan worden en of zuurstof ook bijdraagt aan het narcotische potentie van het ademgas van een duiker. Als gevolg daarvan **lopen de gebruiken in de sportduikgemeenschap ver uiteen**.

Een grote uitdaging bij het bestuderen van IGN is het gebrek aan objectieve betrouwbare meting om de start en de ernst van de narcose te kwantificeren. Duikers blijken onbetrouwbaar in het zelf beoordelen van subjectieve symptomen en de gebruikelijke, psychologische testen kunnen onderwater moeilijk afgenomen worden.
In de laatste tien jaar echter hebben DAN Europe onderzoekers een reeks artikelen gepubliceerd die de effectiviteit evalueerden van een nieuw instrument voor het beoordelen van de cognitieve functie van een duiker, genaamd Critical Flicker Fusion Frequency (CFFF), die belooft een objectieve meting van IGN te kunnen zijn en een die gemakkelijk toegepast kan worden.

Dit artikel richt zich op twee publicaties die een paar verrassend nieuwe inzichten bieden in IGN. De eerste, gepubliceerd in 2016, "Do Environmental Conditions Contribute to Narcosis Onset and Symptom Severity?" onderzocht de effecten van verschillende, hyperbare omgevingen op IGN en concludeerde dat druk en gas de enige, externe factoren van invloed op narcose zouden kunnen zijn. Men vond ook dat de start van IGN begint na een korte periode van verhoogde, mentale scherpte bij het afdalen en dat de effecten ervan tenminste tot 30 minuten na de duik aanhouden.

De tweede publicatie "Early detection of diving-related cognitive impairment of different nitrogen-oxygen gas mixtures using critical flicker fusion frequency," vergeleek IGN voor lucht en verrijkte lucht nitrox (EANx) duiken en gebruikte daarbij zowel CFFF als traditionele, psychologische testen en concludeerde dat de verhoogde, partiële zuurstofdrukken in EAN een mogelijke modulator kan zijn voor de effecten van IGN.

Het ware verhaal over Flicker Fusion

Critical Flicker Fusion Frequency (CFFF) is de frequentie waarop een flikkerend licht gezien wordt als constant en ononderbroken. Als eerste ontwikkeld in het begin van de 20ste eeuw voor het bestuderen van de fysiologie van het zicht is CFFF een belangrijk instrument geworden voor het meten van mentale alertheid en scherpte onder condities betreffend pathologie, anesthesie en beroepsmatige blootstelling in de luchtvaart.

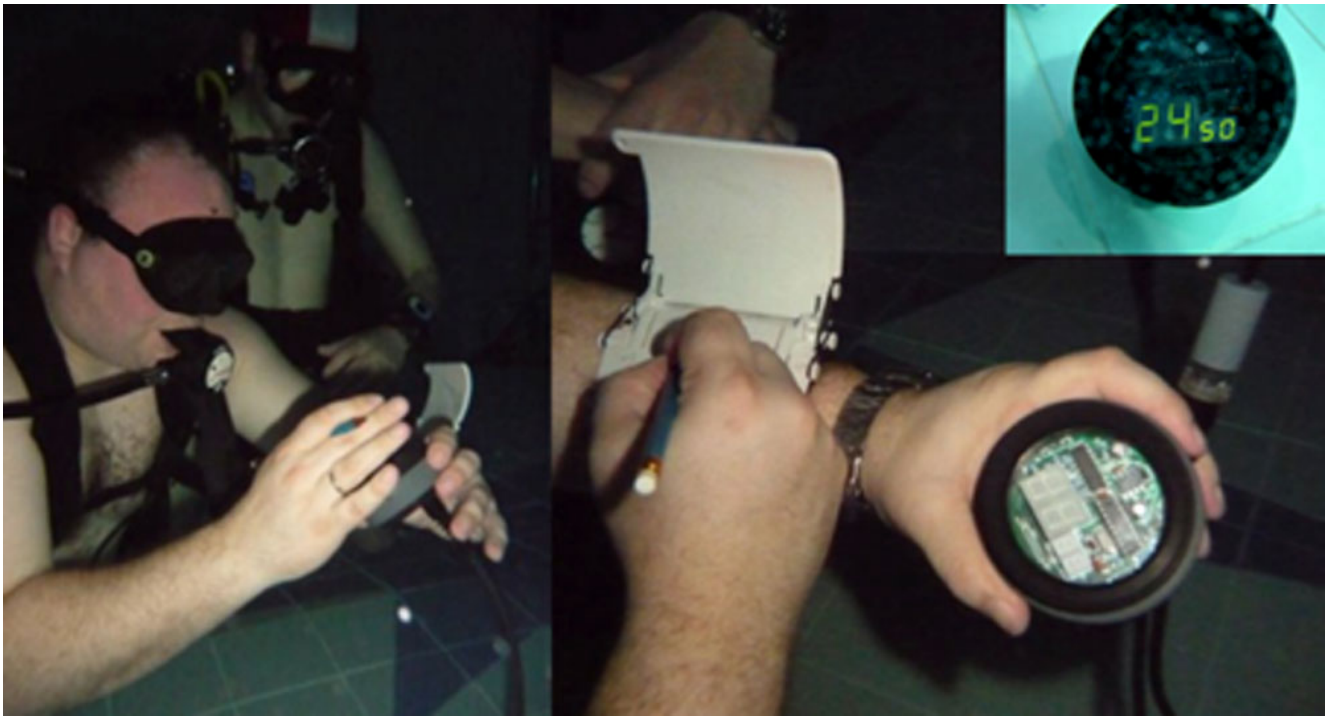


Naarmate de cognitieve functies van mensen minder zijn of worden, wordt de frequentie waarop ze zien dat het flikkeren ophoudt, d.w.z de "fusion frequency", lager. In een staat van verhoogde, mentale alertheid daarentegen, neemt de fusion frequency toe. Daar mensen verschillende frequenties waarnemen, wordt de baseline fusion frequency van iemand gezien als 100% en de CFFF wordt gemeten als een percentage van de baseline.

DAN USA oprichter, Dr. Peter Bennett, rapporteerde in 1960 voor de eerste maal over een correlatie tussen de mentale status van duikers, CFFF en elektro-encefalogram (EEG). In later werk werd gevonden dat CFFF veranderingen tijdens een helioxsaturatieduik ruwweg overeenkwamen met veranderingen in de EEG. Latere onderzoekers waren echter niet in staat om deze resultaten te herhalen en het gebruik van CFFF werd afgeschaft.

In de afgelopen jaren hebben DAN onderzoekers die obscure meting nieuw leven ingeblazen en hebben veelbelovende resultaten laten zien. Ze hebben aangetoond dat CFFF testen betrouwbare metingen onderwater geven (2012), en een beoordeling bieden van de cognitieve functie van een duiker gelijk aan sommige van de testen van de Psychology Experiment Building Language (PEBL), wanneer er lucht en zuurstof op atmosferische druk wordt ingeademd (2014).

CFFF testen zijn feitelijk onderwater gemakkelijker af te nemen dan PEBL testen en zijn duidelijk minder door de te testen persoon te beïnvloeden. De testen worden uitgevoerd met gebruikmaking van een klein, cylindervormig apparaat met een blauwe LED en een draaiende ring die de flikkerfrequentie verandert. Tijdens de test kijkt de duiker recht in de LED. De onderzoeker verhoogt of verlaagt dan de flikkerfrequentie. Als de duiker de LED ziet veranderen van flikkeren naar constant (fusie) wordt de test gestopt en wordt de fusiefrequentie opgetekend. Het resultaat wordt dan vergeleken met de preduik CFFF van die persoon, die als baseline dient. In dit geval werd een toename in fusiefrequentie gelijk gesteld aan een toegenomen cognitieve functie en een afname werd beschouwd als bewijs van IGN.



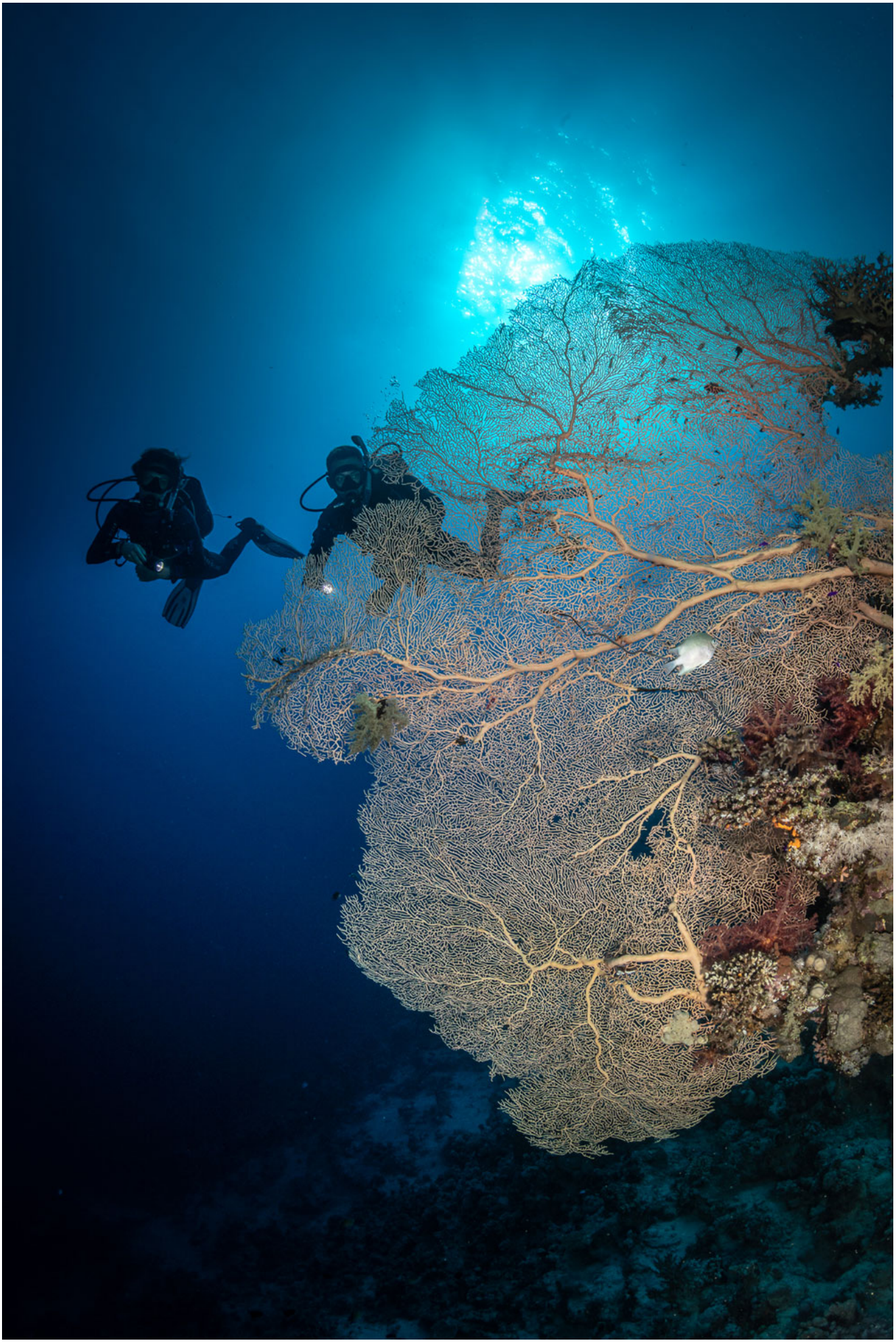
Hoe belangrijk is de omgeving?

Sinds duikers zich aan onderwater hebben aangepast wordt ingezien dat de omgeving zelf waarschijnlijk invloed heeft op de prestaties door een combinatie van factoren. Dientengevolge zijn er veel factoren naar voren gebracht als bijdragend aan start en ernst van IGN.

Als eerste verhoogde partiële druk van kooldioxide (PCO2) als gevolg van inspanning door werken, zwaar zwemmen en ook het werk van ademhalen, is de voornaamste verdachte. Van een verhoogde PCO2 wordt gedacht dat het de cerebrale bloedvaten verwijdt wat leidt tot een hogere stikstofspiegel in de hersenen.

Koude is ook een waarschijnlijke factor omdat het aanleiding is voor de perifere bloedvaten zich samen te trekken, maar omdat hersenbloedvaten zich niet kunnen samentrekken zal dit leiden toot een verhoogde stikstofbelasting.

Andere factoren waarvan men denkt dat ze bijdragen tot IGN zijn onder andere alcohol en / of drugs, een kater of vermoeidheid, spanning, belasting, stress, beperkt zicht, afdaal snelheid, draaiduizeligheid en ruimtelijke disoriëntatie. Gezien vanuit een wetenschappelijk standpunt is dit bewijs voor deze factoren echter niet heel sterk en zijn er meer data nodig. Om die reden richt deze eerste studie zich dan ook op de duikomgeving.

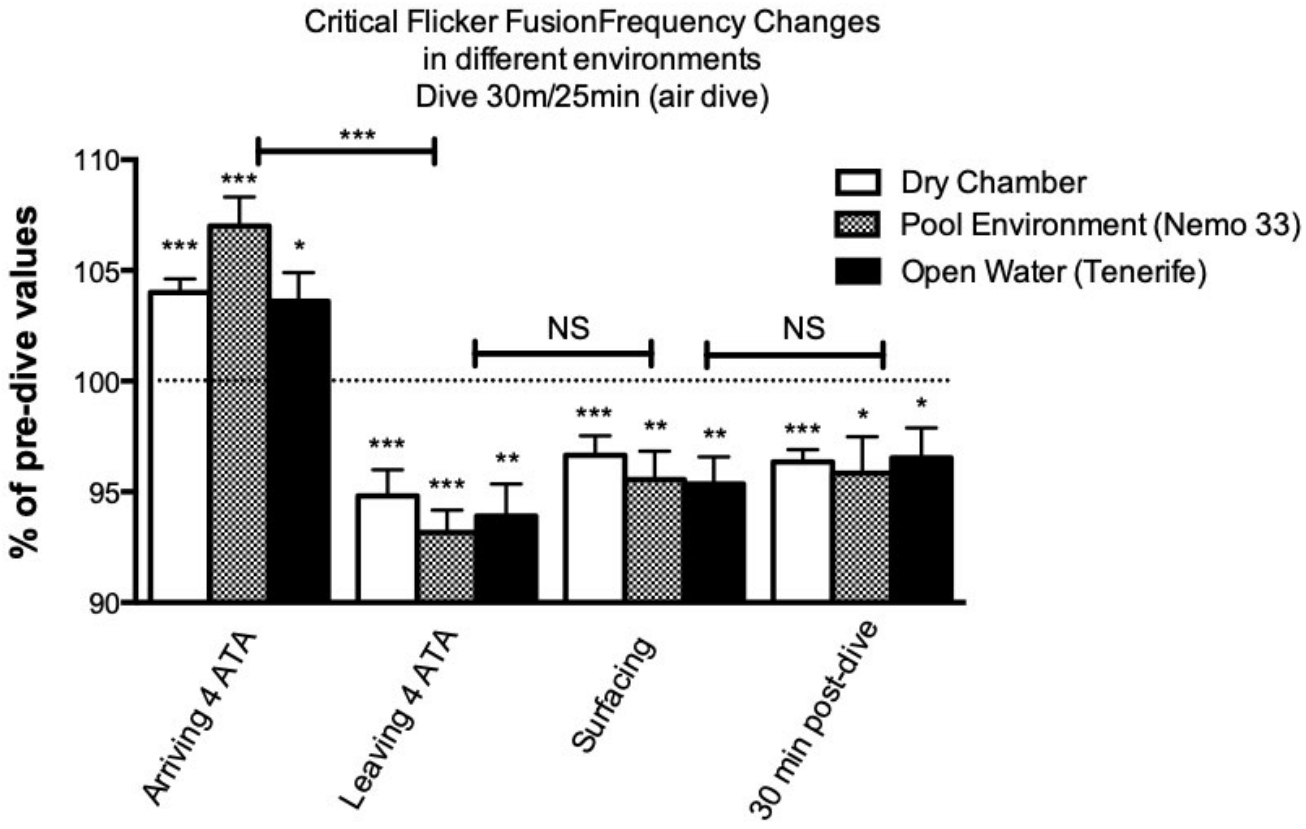


Onderzoekers hebben een uniforme groep aangetrokken van 40 niet rokende mannelijke duikers, in de leeftijd van 30-40, die regelmatig aan sport deden en een Body Mass Index (BMI) van 20-25 hadden. De duikers onthielden zich 72 uur voor de studie van alcohol.

De testduiken werden uitgevoerd op 30 m. met 20 minuten bodemtijd in drie duidelijk verschillend omgevingen; een hyperbare kamer, het diepe Nemo 33 zwembad en een oceaanduik. De watertemperatuur in het zwembad was 33°C en er was geen bescherming tegen kou nodig. De temperatuur in de oceaan was 19°C en duikers droegen een geschikt wetsuit.

Vijf sets van CFFF metingen werden voor iedere duik afgenomen. Dit waren:
• Voor de duik om de baseline van de duiker vast te stellen
• Bij aankomst op 30m diepte
• Vijf minuten voor boven komen
• Bij het boven komen
• Dertig minuten na de duik

Volgens de auteurs is dit de eerste keer dat de effecten van IGN bij een standaard populatie gemeten zijn onder verschillende omgevingsomstandigheden, d.w.z. droog vs nat, een beschermend pak vs geen, geen “boven” referenties in blauw water vs een zwembad). Hun bevindingen waren verrassend.



Zoals figuur 1 laat zien waren de CFFF resultaten opmerkelijk consistent voor ieder van de drie omgevingen. Als eerste namen de duikers’ CFFF waardes toe bij aankomst op diepte, een indicatie van een verhoogde cognitieve functie. Dit werd 15 minuten laten gevolgd door een duidelijke afname in CFFF waardes wat een cognitieve degradatie laat zien als IGN kennelijk effect sorteert. Verrassend genoeg bleef deze handicap bij het bovenkomen en 30 minuten na de duik aanhouden.

Deze persistentie suggereert dat het oude advies om gewoon een paar meter op te stijgen bij het ervaren

van narcose waarschijnlijk een niet effectieve strategie is om er het hoofd aan te bieden. Verrassend was ook de initiële stijging van CFFF waardes bij het bereiken van de diepte wat wijst op een toegenomen mentale alertheid.

Volgens onderzoekers komen deze observaties overeen met de eiwittheorie van narcose, die recentelijk meer beschouwd wordt als het dominante mechanisme dan de oudere Meyer-Overton theorie van narcose gebaseerd op vetoplosbaarheid, hoewel beide mechanismen waarschijnlijk hetzelfde effect hebben. In feite denkt met dat IGN en narcose dezelfde onderliggende mechanismen delen.

De auteurs hebben de hypothese dat de waargenomen effecten van hersen stimulatie gevolgd door degradatie het gevolg zijn van een balans tussen de directe “drugs” effecten van stikstof en zuurstof op de GABA receptoren en de farmacokinetiek van deze interacties. Zuurstof vertoont activerende effecten op neurotransmitters, terwijl stikstof remmende effecten laat zien (Zie Rostain et al. 2011; Balestra et al. 2018).

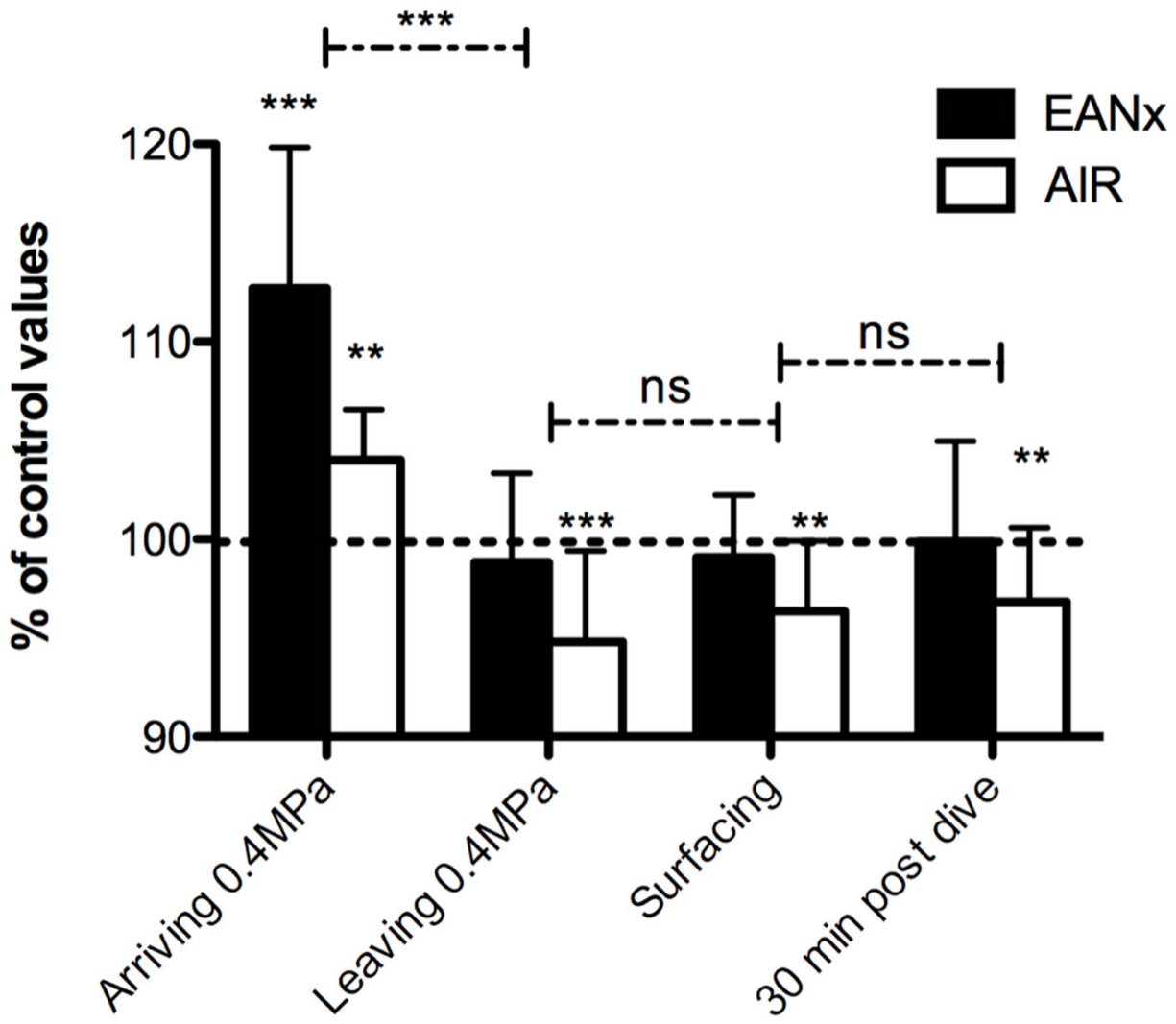
De auteurs concludeerden dat objectief gemeten druk en gas waarschijnlijk de enige externe factoren zijn die invloed hebben op IGN. Maar omdat de studie geen inspanning omvatte (d.w.z verhoogde PCO2), zou dit een kritische factor kunnen zijn en is dat waarschijnlijk ook.

Lucht Versus Nitrox

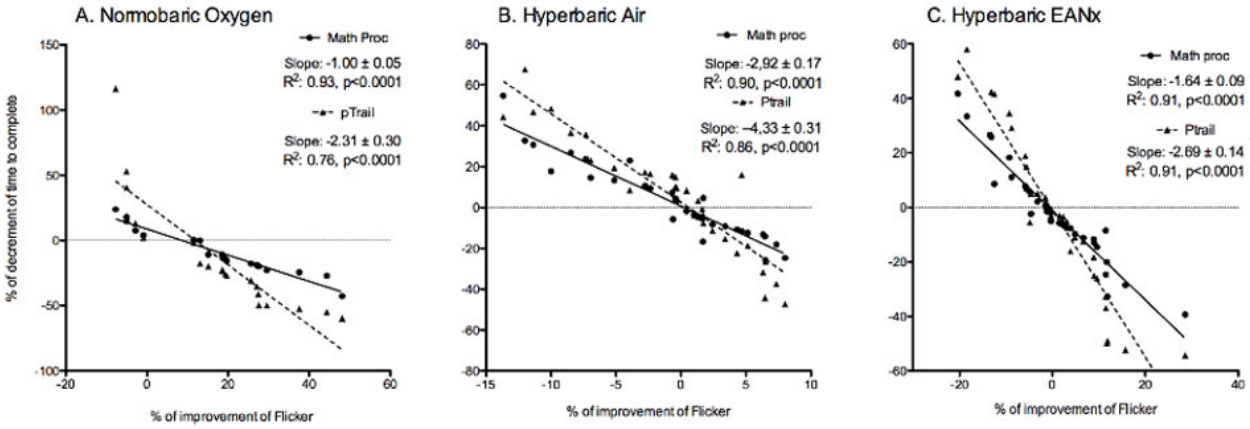
Er zijn maar een paar vergelijkbare studies naar de effecten van het ademen van lucht en verrijkte lucht nitrox (EAN) op IGN. Sommige studies rapporteerden verminderde psychomotorische prestaties tijdens het ademen van O2 of EANx. Anderen gaven aan dat de narcotische beperking hetzelfde is, hoewel duikers dat wellicht anders ervaren. De doelen van de studie waren het verbeteren van cognitieve prestaties bij verschillende partiële zuurstofdrukken en de effectiviteit van CFFF als meetinstrument.

Voor deze studie kozen onderzoekers acht mannelijke duikers, opnieuw tussen 30-40 jaar oud, met een BMI van 20-25. De testduiken werden uitgevoerd met lucht of EANx 40 in willekeurige volgorde in een droge kamer waar de ingeademde gassen via een gelaatsmasker werden toegediend. Het duikprofiel was opgezet om narcose op te wekken: 30 m of 4 ATA met een bodemtijd van 22 minuten en een 12 minuten lineaire decompressie op 3m/minuut met een 3 minuten veiligheidsstop op 3 m.

De cognitieve prestaties van de duikers tijdens de duiken werd beoordeeld met zowel het CFFF testinstrument als een digitale PEBL testbatterij bestaande uit een rekentest, trailmaking-test en een perceptuele waakzaamheidstest. Zoals in de voorgaande studie werden duikers beoordeeld voor de duik, bij aankomst op 4 ATA, bij het verlaten van 4 ATA en bij het bovenkomen, 30 min na de duik.



Zoals fig. 2 laat zien vertoonde de ontwikkeling van CFFF waardes voor zowel lucht als EANx een soortgelijk patroon als in de eerste studie. Bij het ademen van lucht namen de CFFF waardes toe bij het aankomen op 4 ATA, 15 minuten later gevolgd door een afname. Het probleem bleef bestaan bij het bovenkomen en 30 minuten na de duik. Bij het ademen van EANx namen de CFFF waardes toe bij aankomst op diepte en werden minder na 15 minuten. Maar de afname volgde een terugkeer naar de baseline. Alleen de eerste meting waas statistisch gezien anders dan de baseline.



Figuur 3 toont voor beide gassen de significant omgekeerde correlatie tussen veranderingen in CFFF waardes en de tijd nodig om de PEBL testen te maken. Net als de CFFF waardes liet de tijd nodig om de testen te maken een verbetering zien voor beide gassen na het bereiken van diepte en verslechterden vervolgens (de tijden werden langer) naarmate de duik doorging en hield aan 30 minuten na de duik. Dit bevestigde de validiteit van CFFF als een meetinstrument onder hyperbare condities en suggereert dat CFFF vergelijkbare resultaten geeft als PEBL.

Perslucht voor autobanden?

Hoewel de voortgang van de duiken soortgelijke patronen toonde, was er een significant verschil tussen de twee gassen. EANx werd geassocieerd met een grotere hersenactiviteit dan wat gevonden werd bij luchtduiken en er was een geringere late duik/post-duik verslechtering. Dit kwam overeen met de resultaten van het eerste artikel over omgevingscondities.

De auteurs stelden de hypothese op dat de hogere fractie ingeademde zuurstof een gunstig effect had op alertheid en cognitieve prestaties. Dit is ook aangetoond in andere studies over het ademen van zuurstof. Dit suggereert ook dat duikers gevoelig voor IGN wellicht ook gevoelig zijn voor de effecten van een verhoogde PO2. Bovendien had in een voorgaande studie zelfs een geringe reductie van PN2 een gunstig effect van EANx 28 (28% zuurstof) tot gevolg op de cognitieve prestaties.

Het resultaat? De studie onderstreept de meme door Global Underwater Explorers (GUE) dat “Perslucht voor autobanden is”. Duikers zullen waarschijnlijk minder narcose ondervinden bij het duiken met nitrox dan met lucht en nitrox biedt bovendien decompressievoordelen.

Belangrijke referenties

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.

Aanvullende bronnen:

De wetenschap van het duiken (DAN Member's link – NON Member's link)

Over de auteur

Michael is een prijs winnende journalist & technoloog die al sinds tientallen jaren schrijft over duiken en duiktechnologie. Hij heeft de term "technisch duiken" bedacht. Zijn werk is gepubliceerd in tijdschriften zoals Alert Diver, DIVER, Quest, Scientific American, Scuba Ties, Sports Diver, Undercurrent, Undersea Journal, WIRED en X-Ray. Hij heeft aquaCORPS opgezet en daar als hoofdredacteur aan meegewerkt, wat hielp om het techduiken op te laten nemen als een belangrijk onderdeel van het sportduiken. Hij heeft ook de eerste Tek, Eurotek en Asiatek conferenties opgezet.