Kooldioxide – de gevreesde vijand (deel 1)

Dit is het eerste deel van een driedelige serie over kooldioxide, een van de meest voorkomende oorzaken van duiknoodgevallen. Deel twee en drie worden in volgende nummers van Alert Diver gepubliceerd.

Een close call

Sta me toe om te beginnen met een persoonlijk verhaal: in 2016 nam ik deel aan een grotduik in Cenote Regina, in de buurt van Tulum in Quintana Roo, Mexico. Ons doel was om het zoutwatergedeelte te bezoeken, dat zich op een diepte van ongeveer 30 meter bevindt, met een maximum van 34 meter voor die specifieke duik. We gingen naar binnen met vier AL80-duikflessen (dubbele en twee stages) EAN32, plus een AL40 met zuurstof voor deco, die we bij de ingang op 6 meter diepte planden. De geplande duikduur was 200 tot 210 minuten.

Ik had de nacht ervoor ook niet meer dan drie uur geslapen vanwege werkverplichtingen – achteraf gezien niet het beste idee. Ik had echter niet het voordeel van terugkijken toen ik de beslissing nam, en ik wilde heel graag gaan, dus dat is dat.

Cenote Regina is verbluffend mooi, en alles verliep in het begin soepel. We kwamen op de druk voor teruggaan en begonnen onze terugtocht naar de ingang, ongeveer 90 minuten na het begin van een zeer plezierige duik. Voor ons lag een zwemtocht van ongeveer gelijke duur, gevolgd door twintig minuten decompressie in ondiep water.

Misschien tien minuten later, rond minuut 100, begon ik een heel eigenaardige sensatie te voelen: mijn middenrif begon te fladderen en mijn ademhaling veranderde geleidelijk in wat ik alleen maar kan omschrijven als oncontroleerbaar snikken, zij het zonder de emotionele inhoud die over het algemeen verbonden is aan dit soort fysiologische manifestaties. Ik probeerde me te concentreren en mijn spieren weer onder controle te krijgen, maar het snikken werd alleen maar sterker. Ik realiseerde me dat ik waarschijnlijk niet erg efficiënt ademde en meer bellen blies dan normaal.

Fotocredit door Joram Mennes

Het duurde niet lang voordat mijn gemoedstoestand ook een klap kreeg: angst begon binnen te sluipen, samen met het gevoel dat ik niet genoeg lucht uit mijn tweede trap kon halen. Ik schakelde over naar de back-up voor het geval dat, maar zonder enig effect.

Ik gaf het team een signaal dat ik een probleem had en we stopten. Ik begon de drang te voelen om naar de oppervlakte te schieten, een volkomen nutteloze eis van de onderste regionen van mijn centrale zenuwstelsel, gezien het feit dat we bijna twee uur verwijderd waren van de uitgang met dertig meter rots en aarde boven ons.

Ik bracht de volgende paar minuten door – ik weet niet zeker hoe lang precies, maar het voelde als een eeuwigheid – en debatteerde met een stem mijn hoofd die me probeerde te overtuigen dat het oké zou zijn om daar op te geven. Mensen zouden het begrijpen. Het terugslaan van die stem in het gat waar hij uit was gekropen, vroeg om gerichte wilsinspanning, en ik zal grif toegeven dat de uitkomst geen uitgemaakte zaak was.

Uiteindelijk verstomde het snikken en vervolgden we onze weg terug in een langzaam tempo. De vertraging en mijn versnelde ademhaling hadden een hap uit onze reserves genomen. Hoewel we bij lange na een tekort aan ademgas meer hadden, was het een opluchting om de first stage fles te vinden met nog eens 110 bar nitrox erin.

We eindigden de duik met een vertraging van een half uur als gevolg van de pauze die ik moest nemen en de daaruit voortvloeiende verhoogde deco-verplichting. Maar we waren eruit. Ik ging de volgende dag weer grotduiken, met het voornemen om meer te slapen en niet meer zo veel op mijn bordje te nemen, in ieder geval in de nabije toekomst.

In de nabespreking van de duik stelden we vast dat de belangrijkste oorzaak van mijn probleem waarschijnlijk de ophoping van kooldioxide in mijn bloedbaan was, met vermoeidheid door slaapgebrek als bijdragende factor. Dat brengt ons bij het onderwerp van dit artikel.

Fotocredit door Joram Mennes

Het metabolisme van kooldioxide, in een (zeer kleine) notendop

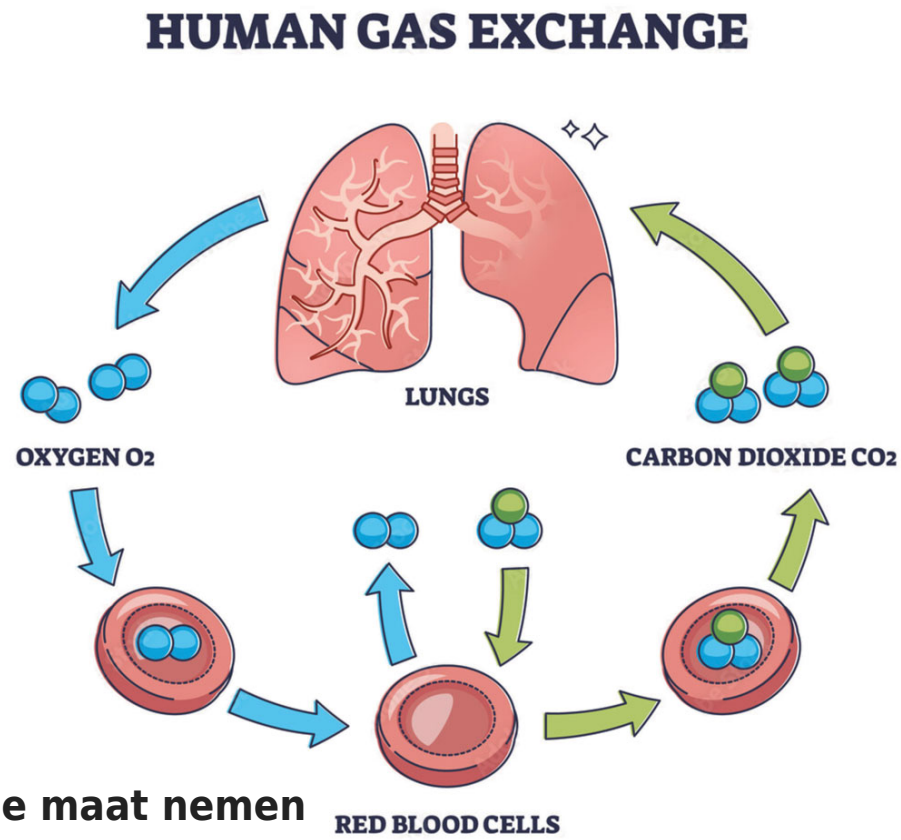
Kooldioxide is een afvalproduct van onze celstofwisseling. We ademen gas in dat zuurstof bevat. Onze longen nemen een deel van die zuurstof op in de bloedbaan, waar het wordt opgenomen door de rode bloedcellen (*hemoglobine*). Het zuurstofrijke bloed stroomt door de linkerkant van het hart, vanwaar het eerst naar de hersenen en het centrale zenuwstelsel wordt gepompt en vervolgens naar de rest van ons lichaam.

In de verschillende lichaamsdelen vindt een reeks biochemische reacties plaats waarbij de zuurstof wordt gecombineerd met koolstof (opgenomen via voedsel) om koolstofdioxide te vormen. Deze reacties wekken de energie op die ons op de been houdt.

Het zuurstofarme bloed, dat nu kooldioxide in verschillende vormen vervoert, reist terug naar de rechterkant van het hart, die het naar de longen pompt, waar koolstofdioxide wordt verwijderd en uiteindelijk wordt uitgeademd.

Opmerking: Het feitelijke mechanisme is aanzienlijk complexer. CO_2 is niet alleen maar een afvalproduct. Het speelt een belangrijke rol bij het reguleren van de zuurgraad van het bloed en minder dan 10% van de

totale CO_2 in het bloed wordt bij elke doorgang door de longen verwijderd. Enkele details zijn hier te vinden.



De schurk de maat nemen

Er zijn een aantal meetbare fysiologische grootheden die dit proces beschrijven. Het vermogen van onze longen om zuurstof op te nemen wordt *VO2 max genoemd*. VO2 max beschrijft het maximale zuurstofvolume dat onze longen aan ons lichaam kunnen leveren voor energieopwekking, per tijdseenheid en in verhouding tot het lichaamsgewicht. Duursporters zijn ermee bekend als een maatstaf voor cardiovasculaire prestaties.

Een tweede belangrijke grootheid wordt *de respiratoire uitwisselingsratio* genoemd, meestal afgekort als*UR*. RUR beschrijft de verhouding tussen de uitwassing van kooldioxide en de zuurstofopname. Een normale RUR voor een mens in rust is 0,8. Dat klopt: in rust ademen we slechts vier moleculen CO_2 uit voor elke vijf moleculen O_2 die we consumeren. De balans van de zuurstof blijft in het lichaam. Bij inspanning kan de RUR wel oplopen tot 1,2 en hoger. Dit betekent dat ons metabolisme zuurstofreserves aanboort die tijdens rust in onze spieren zijn opgeslagen (chemisch gebonden aan *myoglobine*). Een RUR van 1,0 wordt de *anaërobe drempel genoemd*, nog term die bekend is bij atleten.

Bij inspanning heeft ons lichaam een verhoogde behoefte aan zuurstof en produceert het meer kooldioxide. Wanneer de hoeveelheid geproduceerde CO_2 groter is dan de capaciteit van ons ademhalingsmetabolisme om het uit de bloedbaan te verwijderen en uit te ademen, begint CO_2 zich op te hopen. Zoals elke freediver weet, worden het gevoel van luchttekort en de drang om te ademen niet veroorzaakt door een gebrek aan zuurstof – er is genoeg van het spul om rond te gaan onder de meeste omstandigheden, en een gebrek eraan zorgt er gewoon voor dat je flauwvalt – maar door een teveel aan CO_2, een aandoening die bekend staat als *hypercapnie*.

Dit is het einde van het eerste deel van onze kleine serie. In deel twee gaan we dieper in op de fysiologie

van kooldioxide in het menselijk lichaam, hoe het wordt beïnvloed door duiken en wat hypercapnie zo gevaarlijk maakt . Deel drie focust op tegenmaatregelen – vaardigheden en procedures om onze CO_2 - belasting onder controle te houden. Blijf veilig en blijf op de hoogte!

De onderwaterfoto's in dit artikel tonen de adembenemende Cenote Regina. Ze zijn gemaakt door Joram Mennes, samen met modelduiker Stratis Kas. Met dank aan beiden voor het maken van deze prachtige foto's, speciaal voor deze Alert Diver content.

Over de auteur

Tim Blömekegeeft les in sport- en techduiken in Taiwan en de Filippijnen. Hij is een fervent grot-, wrak- en CCRduiker en daarnaast schrijvend redacteur en vertaler voor Alert Diver. Hij woont in Taipei, Taiwan. Je kunt hem op Instagram volgen via @timblmk.

Vertaler: Els Knaapen