

Hiilidioksidi - pelätty vihollinen (osa 1)

Tämä on hiilidioksidia käsittelevän kolmiosaisen sarjamme ensimmäinen osa. Hiilidioksidi on yksi yleisimmistä sukellusonnettomuuksien aiheuttajista. Artikkelisarjan toisen ja kolmannen osan julkaisemme Alert Diver -verkkolehden tulevissa numeroissa.

Läheltä piti -tilanne

Haluan aluksi kertoa oman henkilökohtaisen tarinani aiheeseen liittyen. Vuonna 2016 lähdin mukaan luolasukellukselle Cenote Reginalle. Se sijaitsee Tulumin lähellä Quintana Roossa Meksikossa. Tavoitteenamme oli vieraila suolavesialueella, joka kulkee noin 30 metrin syvyydessä. Tällä kyseisellä sukelluksella maksimisyvyydeksi oli ajateltu 34 metriä. Kun menimme sisään, meillä oli käytössämme neljä EAN32:n AL80-sukelluspulloa (tuupapullot ja kaksi stage-pulloa) sekä happea sisältävä AL40-pullo dekompressiota varten. Tämän pullon asetimme sisäänkäynnin lähelle 6 metrin syvyyteen. Sukelluksen oli tarkoitus kestää 200 - 210 minuuttia.

Edellisen yön nukkumiset jäivät vähäisiksi. Nukuin korkeintaan kolme tuntia työtehtävien takia. Jälkikäteen ajateltuna ei ollut mikään paras idea lähteä sukeltamaan vähillä yönillä. En kuitenkaan voinut hyödyntää tätä jälkiviisautta etukäteen, silloin kun tein lähtöpäätöksen. Halusin niin kovasti lähteä tälle sukellukselle, että en pohtinut asiaa sen enempää.

Cenote Regina on hämmästyttävän kaunis paikka, ja kaikki sujui aluksi hyvin. Kun paineen määrä osoitti, että nyt oli oikea hetki kääntyä takaisin, aloitimme paluun sisäänkäyntiä kohti 90 minuutin erittäin nautinnollisen sukelluksen jälkeen. Edessämme oli suunnilleen saman pituinen uintimatka, jonka jälkeen olisi 20 minuutin dekompressiopysähdys matalassa vedessä.

Noin kymmenen minuuttia myöhemmin, noin 100 minuutin kohdalla, aloin tuntea omituisia tuntemuksia. Palleani alkoi ikään kuin tykyttää ja hengitykseni muuttui vähitellen kuin hallitsemattomiksi nyhkytyksiksi, vaikkakaan en tuntenut mitään sellaista, mitä yleensä liittyy tällaiseen fysiologiseen tunnetilaan. Yritin keskittyä ja saada lihakseni taas hallintaan, mutta nyhkytykset vain vahvistuivat. Tajusin, etten luultavasti hengittänyt kovin tehokkaasti. Myös kuplia tuli tavallista enemmän hengittäessäni.



Kuvan luotto: Joram Mennes

Ei kestänyt kauan, ennen kuin mielialani alkoi laskea. Ahdistus hiipi mieleeni, samalla kun tunsin, etten saanut tarpeeksi ilmaa annostimestani. Vaihdoin varmuuden vuoksi varapulloon, mutta sillä ei ollut mitään vaikutusta.

Ilmoitin ryhmälle, että minulla oli ongelma, ja me pysähdyimme. Tunsin tarvetta päästä pintaan mahdollisimman nopeasti. Tämä oli keskushermostoni vähemmän kehittyneiltä alueilta tuleva täysin turha vaatimus, koska olimme melkein kahden tunnin päässä uloskäynnistä, ja yläpuolellamme oli kolmekymmentä metriä kiviä ja maata.

Seuraavat minuutit väittelin kiivaasti pääni sisällä olevan äänen kanssa, joka yritti saada minut vakuuttuneeksi siitä, että hyvä vaihtoehto olisi luovuttaa saman tien. Ihmiset kyllä ymmärtäisivät. En ole varma, kuinka kauan tätä tarkalleen ottaen kesti, mutta aika tuntui ikuisuudelta. Vaati lujasti tahdonvoimaa pakottaa tuo päässäni jyskyttävä ajatus takaisin sinne, mistä se oli tullutkin. Olen valmis myöntämään, että lopputulos ei ollut itsestäänselvyys.

Lopulta nyhkytykset laantuivat ja jatkoimme hitaasti paluumatkaa. Viivästyminen ja kohonnut hengitystiheyteni olivat kuluttaneet kaasuvaroja. Vaikka kaasu ei ollut vielä lähelläkään lopussa, oli helpottavaa löytää ensimmäinen stage-pullo, jossa oli käytettävissä vielä toiset 110 baaria nitroksia.

Päätimme sukelluksen puoli tuntia suunniteltua myöhemmin, koska minun oli täytynyt pitää tauko ja koska tämän takia myös pakollinen dekompressiopysähdys oli pidempi. Tärkeintä oli kuitenkin se, että selvisimme. Palasin luolasukellukseen seuraavana päivänä ja päätin nukkua enemmän ja ottaa vähän rennommin, ainakin lähitulevaisuudessa.

Sukelluksen jälkeisessä keskustelussa tulimme siihen tulokseen, että ongelmani pääasiallinen syy oli luultavasti hiilidioksidin kertyminen verenkiertoon. Myös huonosti nukutun yön aiheuttama väsymys vaikutti tilanteeseen. Tästä pääsemmekin siis nyt tämän artikkelin varsinaiseen aiheeseen.



Kuvan luotto: Joram Mennes

Hiilidioksidin aineenvaihdunta pähkinänkuoressa (todella pienessä)

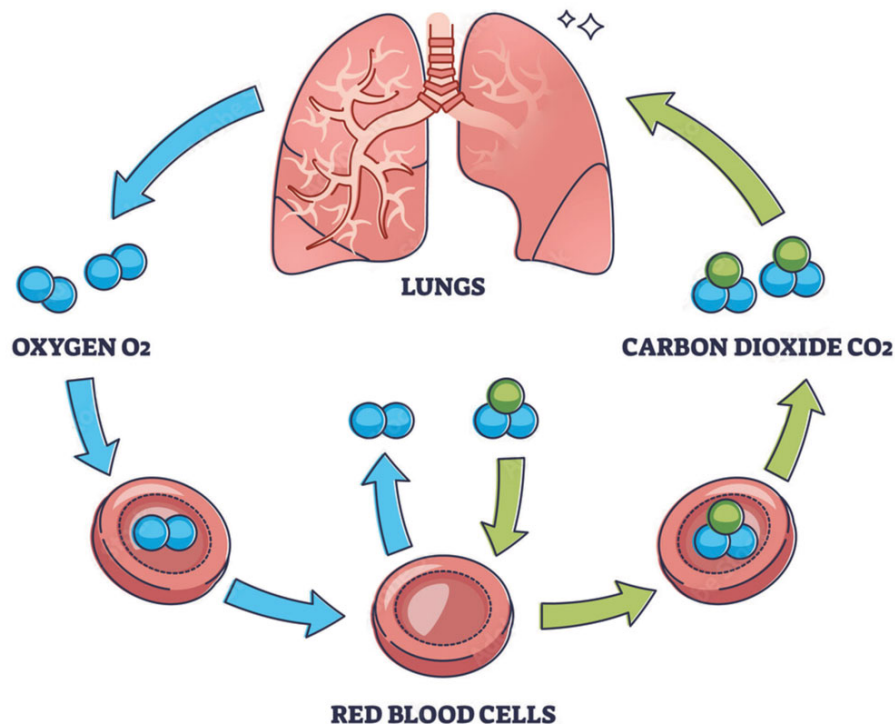
Hiilidioksidi on soluissa tapahtuvan aineenvaihdunnan jätetuote. Hengitämme happea sisältävää kaasua. Keuhkomme absorboivat osan tästä hapesta verenkiertoon, jossa punasolut (*hemoglobiini*) sitovat sen itseensä. Happirikas veri kulkee sydämen vasemman puolen läpi, josta se pumpataan ensin aivoihin ja keskushermostoon ja sitten muualle kehoomme.

Kehon eri osissa tapahtuu joukko biokemiallisia reaktioita, joissa happi yhdistyy ruoan mukana tulleeseen hiileen. Tällöin muodostuu hiilidioksidia. Nämä reaktiot tuottavat energiaa, joka pitää meidät käynnissä.

Vähähappinen veri, joka kuljettaa nyt hiilidioksidia eri muodoissa, kulkee takaisin sydämen oikealle puolelle. Sydän pumpkaa sen edelleen keuhkoihin. Siellä hiilidioksidi poistuu verestä, ja lopulta se hengitetään ulos.

Huom. Varsinainen mekanismi on huomattavasti monimutkaisempi. CO₂ ei ole pelkästään jätetuote. Sillä on tärkeä rooli veren happamuuden säätelyssä, ja alle 10 % veren sisältämän hiilidioksidin kokonaismäärästä poistuu kullakin kerralla keuhkojen kautta. Aiheeseen liittyviä yksityiskohtia löydät [täältä](#).

HUMAN GAS EXCHANGE



Miten tätä “pahista” sitten voi mitata

On olemassa useita mitattavissa olevia fysiologisia suureita, jotka kuvaavat tätä prosessia. Keuhkojemme kykyä absorboida happea kutsutaan $VO_2 \text{ max}$ -arvoksi. $VO_2 \text{ max}$ kuvaa sitä hapen enimmäismäärää, jonka keuhkomme pystyvät tarjoamaan kehollemme energiantuotantoon aikayksikköä kohden ja suhteessa ruumiinpainoon. Kestävyysurheilijat tuntevat sen verenkiertoelimistön suorituskyvyn mittarina.

Toinen tärkeä suure on *hengitysosamäärä* (*respiratory exchange ratio*), lyhennettynä *RER*. RER kuvaa hiilidioksidin poiston suhdetta hapenottoon. Normaali RER levossa olevalla ihmisellä on 0,8. Aivan oikein, levossa hengitämme ulos vain neljä CO₂-molekyyliä jokaista viittä kuluttamaamme O₂-molekyyliä kohden. Hapen tasapaino säilyy kehossa. Rasituksen aikana RER voi nousta [jopa sellaiseen lukemaan kuin 1,2 tai yli](#). Tämä tarkoittaa, että aineenvaihduntamme hyödyntää happivarastoja, jotka on varastoitu lihaksiimme levon aikana (kemiallisesti sitoutuneena *myoglobiiniin*). RER-arvoa 1,0 kutsutaan *anaerobiseksi kynnykseksi*, joka on toinen urheilijoille tuttu termi.

Rasituksen aikana kehomme tarvitsee enemmän happea ja tuottaa enemmän hiilidioksidia. Hiilidioksidia alkaa kertyä elimistöön silloin, kun sitä tuotetaan enemmän kuin mitä hengitysteissä tapahtuva aineenvaihdunta kykenee sitä poistamaan ja kykenemme hengittämään ulos. Silloin kun sukeltajasta tuntuu, että hänen pitäisi hengittää voimakkaammin eikä hän saa riittävästi ilmaa, on syynä tähän liiallinen hiilidioksidin määrä. Tämä tila tunnetaan nimellä *hyperkapnia*. Jokainen vapaasukeltajahan tietää tämän. Tämä tunne ei siis johdu hapen puutteesta, sillä sitä on useimmiten riittävästi. Hapen puute saisi sinut pyörtymään.

Tässä oli siis pienen sarjamme ensimmäinen osa. Toisessa osassa tarkastellaan lähemmin hiilidioksidin fysiologiaa ihmiskehossa sekä sitä, miten sukeltaminen vaikuttaa siihen. Kerromme myös siitä, mikä tekee

hyperkapniasta niin vaarallisen. Kolmannessa osassa keskitytään vastatoimiin, toisin sanoen niihin taitoihin ja menetelmiin, joilla hiilidioksidikuormituksemme pysyy kurissa. Pysy turvassa ja kuulolla!

Tämän artikkelin vedenalaisissa kuvissa on upea Cenote Regina. Ne on ottanut [Joram Mennes](#), ja mallina on sukeltaja [Stratis Kas](#). Kiitos molemmille näiden upeiden kuvien ottamisesta nimenomaan tätä Alert Diver -sisältöä varten.

Tietoa artikkelin kirjoittajasta

Tim Blömeke opettaa virkistys- ja tekniikkasukellusta Taiwanissa ja Filippiineillä. Hän on myös freelance-kirjoittaja ja -kääntäjä sekä Alert Diver -verkkolehden toimitusryhmän jäsen. Hän sukeltaa Fathom CCR -järjestelmällä. Kysymyksiä ja kommentteja varten voit olla häneen yhteydessä hänen [blogisivunsa](#) kautta tai [Instagramissa](#).

Kääntäjä: Marianna Rantanen