

Rajojen testaamista. Uutta tutkimustietoa siitä, miten suljetun kierron laitteilla syväälle sukeltaminen vaikuttaa fysiologisesti

Suljetun kierron laitteilla syväälle sukeltavien sukeltajien toiminta ei tarkoita ainoastaan sitä, että nämä henkilöt tutkivat uusia sukelluskohteita, joissa harvoin käy ihmisiä. He liikkuvat tutkimattomalla alueella myös sen suhteen, miten tällaiset sukellukset vaikuttavat ihmisen fysiologiaan. Ylipainetutkijoiden kahden äskettäin tekemän tutkimuksen ansiosta on näistä asioista saatu taas vähän lisää tietoa. Kyseisten tutkijoiden joukossa oli myös DAN Europen oma tutkija Costantino Balestra.

Suljetun kierron laitteilla (rebreather-laitteilla) sukeltavat voivat säädellä sukelluskaasunsa koostumusta sukelluksen aikana. Avoimen kierron laitteilla sukeltavathan eivät voi tähän vaikuttaa, koska heillä on käytössä vain sukelluspulloissa mukana kuljetettavat tietyt kaasuseokset. Rebreather-sukeltajat kykenevät ylläpitämään optimaalista hapen osapainetta (PO₂) ja minimoimaan näin inerttien kaasujen aiheuttaman kuormituksen. Tästä kaikesta seuraa se, että suljetun kierron laitetta käytettäessä dekompressioajat voivat olla lyhyempiä verrattuna avoimen kierron laitteiden käyttöön.

Suljetun kierron laitteen käyttäminen vähentää lisäksi huomattavasti sukeltajan kuluttaman kaasun määrää. Tämä on tärkeä seikka, kun otetaan huomioon heliumin saannin vaikeus ja kustannukset monilla alueilla maailmassa. Kaikki nämä tekijät ovat vaikuttaneet siihen, että siirtyminen avoimen kierron laitteista rebreather-laitteisiin on lisääntynyt tekniikkasukelluksen parissa jatkuvasti kahden viimeisen vuosikymmenen aikana. Markkinoille on tullut uusia suljetun kierron laitteiden ja elektronisten ohjainten valmistajia. Suljetun kierron laitteisiin liittyvä teknologia kehittyy koko ajan ja on yhä luotettavampaa. Syvät sukellukset näillä laitteilla yleistyvät.

Voidaan sanoa, että tähän kätkeytyy myös ansa. Tietomme dekompressiosta ja muista sukeltamiseen liittyvistä fysiologisista tekijöistä nojaa vahvasti siihen tietoon, jota on saatu erittäin isosta määrästä sellaisia sukelluksia, joista suurin osa on suhteellisen matalia. 50 metrin syvyyteen asti meillä on melko tarkka käsitys siitä, mikä toimii ja mikä ei toimi keskivertoihmisen kohdalla. Kun tästä mennään kuitenkin vielä syvemmälle, tietoa eri vaikuttavista tekijöistä on vähemmän. Vaikka erittäin syvistä saturaatio- ja kaupallisista sukelluksista on olemassa vankka kokonaisuus tutkimusaineistoa, on nämä sukellukset toteutettu olosuhteissa, jotka eroavat selvästi tekniikkasukeltajien tekemistä "loikkasukelluksista", toisin sanoen pinnalta pinnalle. Niinpä näitä tutkimustuloksia voidaan soveltaa vain rajallisesti.

Syväälle sukeltavien tekniikkasukeltajien ja rebreather-sukeltajien tekemät päätökset dekompressioon liittyen ovat jossain määrin teoreettisia, koska heidän käyttämänsä dekompressioalgoritmit on validoitu koskemaan vain vähäisempiä syvyyksiä.



Nestehukka, keuhkojen toiminnan heikkeneminen ja yllättävät kuplat

Tähän tilanteeseen liittyy siis valitettavasti tiettyjä ongelmia. Pyrkimyksenä on saada tähän muutosta aikaiseksi, ja kaksi vuonna 2021 julkaistua fysiologian alan tutkimusta ovatkin tuoneet taas vähän lisää tietoa aiheesta. [Ensimmäinen tutkimus](#) tehtiin Tahitille tehdyn tutkimusretken aikana. Retken ensisijaisena tavoitteena oli kerätä näytteitä äskettäin löydetyiltä koralliriutoilta mesofoottiselta vyöhykkeeltä 90 ja 120 metrin syvyyksistä. Sukeltajat olivat fyysisesti hyväkuntoisia miehiä, joista suurin osa oli 30 - 39-vuotiaita. Osallistujat olivat hyvin kokeneita sukeltajia. Sukelluksia oli yhteensä 16. Tutkimusta tekevät tutkijat mittasivat erilaisia fysiologisia parametreja. Näihin sisältyivät spirometria (keuhkojen suorituskyky), kehon massa (toimii indikaattorina kuivumisen suhteen), hematokriitti, lyhyen aikavälin sykevaihdelu (HRV) ja suurin yksilön näkemä valon välkyntätaajuus (Critical Flicker Fusion Frequency, CFFF). Viimeksi mainittu kertoo kognitiivisten toimintojen mahdollisesta heikkenemisestä.

Tutkijoiden tärkeimpiä havaintoja oli se, että kehon massa väheni huomattavasti kuivumisen takia. Tämä pudotus oli keskimäärin 3,5 kilogrammaa, 73,5 kilogrammasta 70,0 kilogrammaan. Tärkeimpiin havaintoihin sisältyi myös se, että heti sukelluksen jälkeen keuhkojen toiminnassa näkyi merkittävää heikkenemistä. Tästä sukeltajat kuitenkin loppujen lopuksi toipuivat. Yhä edelleenkin ajatellaan, että CFFF-arvot [ilmaisevat kognitiivista toimintakykyä](#). Se tosiasia, että näissä arvoissa ei havaittu mitään muutoksia, vastaa sitä käsitystämme, että heliumin käyttö vähentää narkoosia ja ylipaineisen hapen hengittämisen aiheuttamaa pirstävää vaikutusta.

[Toisessa tutkimuksessa](#) tutkijat lähtivät mukaan tutkimusretkelle, joka tehtiin hylkysukellukselle Punaisellemerelle. Sukellusten syvyydet olivat 64, 97 ja 123 metriä. Vaikka kaikki sukeltajat olivat tälläkin kertaa miehiä, ryhmä oli kuitenkin iän, kehon koostumuksen ja fyysisen kunnan suhteen heterogeenisempi

kuin ensimmäisessä tutkimuksessa. Tässä toisessa tutkimuksessa keskityttiin dekompression aiheuttamaan stressiin, jota mitattiin tarkkailemalla laskimokaasuemboliaa (VGE) eli kuplien muodostumista sekä hyödyntämällä sydämen ja solisvaltimon doppler-ultraäänitutkimusta. Tutkimus tehtiin sekä 30 että 60 minuutin kuluttua sukeltajan noustua pintaan.

Costantino "Tino" Balestra toimii fysiologian professorina Haute École de Bruxelles-Brabant -yliopistossa. Samoin hän on DAN Europan varapuheenjohtaja tutkimuksen ja koulutuksen alalla. Hän oli molempien tutkimusryhmien jäsen ja suostui ystävällisesti jakamaan *Alert Diver* -lehdelle näkemyksiään näistä kahdesta tutkimuksesta.

"Yksi asia, joka näyttää nyt selviävän, on se, että on hyvin vaikeaa ennustaa yksittäisen sukeltajan kuplamääriä sen perusteella, onko kyllästymispiste saavutettu vai ei. Näin on siitä huolimatta, että huomioon otetaan myös sellaiset tekijät kuin ikä, kunto ja painoindeksi", Balestra selittää. "Joillakin ihmisillä voidaan havaita kuplia sielläkin, missä niitä ei pitäisi olla. Toisilla taas kuplia ei näytä muodostuvan paljoakaan, vaikka heidän sukellustensa profiilit ovat suhteellisen aggressiivisia. Yksilölliset tekijät näyttävät olevan tässä merkittävässä roolissa."

Tahitin tutkimuksesta Balestra sanoo: "Tärkeimmät havaintomme tähän tutkimukseen liittyen olivat nestehukka hyvin syvien sukellusten jälkeen ja hengitystoimintojen väliaikainen heikkeneminen. Oletuksemme on, että nämä sukellukset rasittavat merkittävästi sukeltajien elimistöä."



Ihmiset koehenkilöinä ja tutkimuksen etiikkaa

Syvien suljetun kierron laitteilla tehtyjen sukellusten tutkimiseen liittyy tiettyjä haasteita. "Syvät rebreather-sukellukset eivät ole kovin tavallisia, ja ne tapahtuvat yleensä kaukana yliopistojen laboratorioista. Mahdollisuuksia tutkimuksen tekemiseen on vähän, ja kartoitamme tämän suhteen uusia

alueita”, Balestra kertoo. “On myös muita rajoittavia tekijöitä. Tutkijana minä voin tarkkailla asioita ja tehdä mittauksia, mutta en voi sanoa ihmisille, kuinka heidän pitää sukeltaa. Tämä olisi hyvin epäeettistä. Syvä sukellus suljetun kierron laitteella on riski, ja ihmiset altistavat elimistönsä vaaratilanteille. Näiden sukellusten toteuttamisen on siis oltava sataprosenttisesti heidän oma päätöksensä.”

Tulevaisuudennäkymät ja joitakin neuvoja

Selkeä suuntaus on ollut se, että rebreather-laitteita käytetään yhä enemmän syvillä sukelluksilla. Balestra uskoo, että tämä suuntaus ei muutu lähiaikoina. “On niin paljon jännittävää nähtävää, ja ihmisiä kiehtoo teknologia”, hän sanoo. Kun Balestralta kuitenkin kysytään, millaisia neuvoja hän antaisi tämäntyyppistä sukellusta harkitsevalle henkilölle, hän kehottaa varovaisuuteen. “Ensimmäiseksi olisi hyvä kysyä itseltään, kuinka monta sukellusta on tarkoitus tehdä vuodessa. Suljetun kierron laitteet ovat paljon monimutkaisempia käytössä kuin avoimen kierron laitteet. Näin ollen tarvitaan paljon harjoittelua, jotta taidot säilyisivät riittävällä tasolla. Rebreather-laite on lisäksi hyvin kallis. Jos sukelluksia tulee vähemmän kuin 50 sukellusta vuodessa, niin silloin mielestäni tämäntyyppinen sukeltaminen ei ole vaivan arvoista. Tämä koskee sekä toimintaan liittyviä riskejä että kustannuksia.”

Mikä on sitten neuvo niille, jotka päättävät ottaa ratkaisevan askeleen?

“Ylipainetieteen näkökulmasta katsottuna tilanne on seuraava: älä luota liikaa siihen, että noudattamasi säännöt dekompressiota koskien estäisivät sinua sairastumasta sukeltajantautiin. Kyseessä on laajempi kokonaisuus. Yhtä tärkeää kuin oikeiden gradienttitekijöiden valitseminen saattaa nimittäin olla se, miten toimit jokapäiväisessä elämässäsi ja vaikkapa juuri ennen sukellusta. Tähän liittyen on nyt käynnissä mielenkiintoinen tutkimustyö, eikä tämä tutkimus koske vain niitä ihmisiä, jotka sukeltavat 120 metriin. Muista liikkua. Harrasta erilaisia liikuntamuotoja. Täällä DAN Europessa olemme havainneet viime aikoina nousua sukeltajantautitapausten esiintyvyydessä ja uskomme, että tämä liittyy siihen, että ihmiset ovat pandemia aikana viettäneet paljon aikaa istuen.”

Viitteet

Dugrenot, E., Balestra, C., Gouin, E. et al. [Physiological effects of mixed-gas deep sea dives using a closed-circuit rebreather: a field pilot study](#). *Eur J Appl Physiol* **121**, 3323–3331 (2021).

Balestra, C., Guerrero, F., Theunissen, S. et al. [Physiology of repeated mixed gas 100-m wreck dives using a closed-circuit rebreather: a field bubble study](#). *Eur J Appl Physiol* **122**, 515–522 (2022).

Artikkelin kirjoittaja

Tim Blömeke opettaa virkistys- ja tekniikkasukellusta Taiwanissa ja Filippiineillä. Hän on innokas luola- ja hylky-sukeltaja ja sukeltaa usein suljetun kierron laitteilla. Hän toimii myös avustavana toimittajana ja kääntäjänä Alert Diver -verkkolehdessä. Tim Blömeke asuu Taipeiissa Taiwanissa. Voit seurata häntä Instagramissa osoitteessa [@timblmk](#).

Kääntäjä: Marianna Rantanen