Uusinta tietoa sukeltajantaudista ja sukellusfysiologiasta (Osa 2)

Viime kuussa julkaisimme ensimmäisen tätä aihetta käsittelevän artikkelin. Esittelemme nyt lisää tutkimustuloksia The Science of Diving -konferenssista, joka oli PHYPODE-tutkimusprojektin päätöstapahtuma.

Eräs olettamus oli, että endoteelisolukko, joka verhoaa verisuonten sisäseinämää, on merkittävässä roolissa sukeltajantaudin (decompression sickness, DCS) syntymisessä. F. Guerrero (Laboratoire Optimsation des Regulations Physiologiques – ORPhy-, Brestin yliopisto, Ranska) tutki endoteelin toiminnassa tapahtuvia muutoksia sukelluksen jälkeen. Yleisesti ottaen endoteeli säätelee verisuonten aktiivisuutta ja sydän- ja verenkiertojärjestelmän toimintakykyä vapauttamalla välittäjäaineita, jotka säätelevät monia eri toimintoja elimistössä. Näitä ovat esimerkiksi verenvirtaus, tulehdus, verisuonitukosten muodostuminen, oksidatiivinen stressi ja muut vastaavat tekijät. Endoteelin lisääntynyt läpäisevyys liittyy sukeltajantautiin. Se johtuu mikroverisuonten endoteelisolujen välisten yhteyksien heikkenemisestä, jolloin niiden kiinnittyminen tyvikalvoon vähenee. Mitattaessa virtauksen synnyttämää verisuonten laajenemista, huomattiin sen olevan heikentynyttä. Sekä suurten verisuonten että hiusverisuonien verkoston, jossa kaasujen vaihto tapahtuu, toiminta heikkenee sukelluksen jälkeen. Sukeltajantauti edelleen huonontaa tätä toimintaa. Tutkimustulokset viittaavat siihen, että vapaasukeltajilla hydrostaattinen paine ja hyperoksian aiheuttama oksidatiivinen stressi vaurioittavat endoteelia, sillä heillä ei synny vaurioittavia kuplia. Koska toisinaan heillä esiintyy myös vakavia sukeltajantautitapauksia ilman endoteelimuutoksia, voidaan päätellä, että endoteeli itsessään ei ole merkittävä sukeltajantaudin syntymekanismissa, vaan pikemminkin endoteelin tuottamat välittäjäaineet, kuten typpioksidi. Estäessään typpioksidin tuotannon eläinkokeissa tutkijat löysivät sukupuolten välillä eroja. Sukeltajantaudin esiintyvyys lisääntyi naisilla, mutta ei miehillä. Tulevaisuudessa tutkimus pyrkiikin etsimään sukeltajantaudin syntymekanismien eroja sukupuolten välillä.

Kuten tiedetään, happi on tärkeä kaasu sukellettaessa, ja puhtaan hapen hengittäminen on tunnettu ja tehokas ensiapu sukeltajantaudin hoidossa. **Hapella on kuitenkin myös negatiivisia vaikutuksia**. J. Kot tutki asiaa kansallisessa ylipainelääketieteen keskuksessa, Gdanskin lääketieteellisessä yliopistossa Puolassa. Vapaiden radikaalien (O2, H2O2, OH) kudosta vaurioittava vaikutus on syynä oksidatiiviseen stressiin. Vapaita radikaaleja syntyy, kun happi pelkistyy epätäydellisesti soluissa. Nämä happiradikaalit ovat aggressiivisia ja lyhytikäisiä molekyylejä, jotka tuhoavat DNA:ta, proteiini- ja rasvamolekyylejä. Onneksi ihmiskehossa on puolustusjärjestelmä, jonka toiminnassa antioksidantit ovat keskeisiä. Tämän järjestelmän avulla elimistö voi säilyttää tasapainon antioksidanttien ja happiradikaalien välillä ja kykenee näin kontrolloimaan vaurioiden syntymistä. Hapen osapaine on korkein keuhkoissa, jotka toimivat etulinjassa puolustusjärjestelmässä. Vapaiden radikaalien vaurioittava vaikutus voi johtaa keuhkokudoksen fibrotisoitumiseen eli arpeutumiseen. Potilaat voivat tällöin kärsiä hapen puutteesta, vaikka he hengittäisivätkin puhdasta happea. Tämän kaltaista oksidatiivista stressiä esiintyy lähinnä happiseoksia käyttävillä tekniikkasukeltajilla. Onneksi tämä ongelma ei koske virkistyssukeltajien enemmistöä, joka käyttää hengityskaasuna esim. Nitroxia.

PHYPODE:n tutkimustulosten mukaan jotkut ihmiset ovat alttiimpia sukeltajantaudille kuin toiset. Tutkimukset ovat osoittaneet, että toisilla on suurempi geneettinen alttius sukeltajantautiin. Sukeltajien endoteelin laatu voi myös olla erilainen, osalla muodostuu enemmän kuplia, ja joillakin veri pääsee helposti virtaamaan ns. oikovirtausten kautta jne. Kuten artikkelisarjan osassa 1 on jo mainittu, hyvä keino sukeltajataudin riskin pienentämiseen on esivalmistelu (preconditioning). Toinen mahdollisuus on kehittää

uutta sukellusteknologiaa ja ottaa käyttöön monimutkaisempia dekompressiomalleja, jotka pystyvät yhdistämään yksilölliset tiedot sukeltajan terveydentilasta reaaliaikaiseen sukellusta koskevaan informaatioon.

Bionic Diver -käsite syntyi joitakin vuosia sitten. Se pohjautuu uusiin dekompressioalgoritmisovelluksiin (fysiologisiin muuttujiin pohjautuva algoritmisovellus). Nämä sovellukset tarkkailevat sukeltajan terveydentilaa 24 tuntia vuorokaudessa mitaten fysiologisia muuttujia kuten sydämen sykettä, painoindeksiä (BMI) ja muita henkilökohtaista terveydentilaa kuvaavia tekijöitä. Tavoitteena on kehittää yksilöllisesti säädettävä sukellustietokone, joka räätälöi dekompressiotaulukot kunkin sukeltajan fysiologian mukaan reaaliajassa. Tietokone laskee nestetasapainon ja ottaa huomioon väsymyksen sekä joukon muita tekijöitä, joiden avulla nähdään, miten sukeltajan elimistö reagoi sukelluksen aikaansaamaan stressiin.

MARES testaa parhaillaan muokattua Icon HD -sukellustietokonetta, jossa on värinäyttö ja tehokas prosessori. Se kykenee tallentamaan tietoa sukelluksen aikana ja myös ennen ja jälkeen sukelluksen. Se tunnistaa typpinarkoosin oireet, suorittaa dekompressiolaskelmia jne. G. Distefano (MARES:in tuotepäällikkö, Genova, Italy) esitteli viimeaikaisen kehitystyön tuloksia.

Sukellustutkimuksessa keskeiseksi tavoitteeksi on tullut ihmisen fysiologisten vasteiden mittaaminen sukelluksen aikana. N. Donda kertoi niistä mahdollisuuksista, joita suljetun kierron laite tarjoaa tutkimukselle. Rebreather-laite kierrättää uloshengitetyn kaasun, joka puhdistetaan hiilodioksidista (CO_2) monien vaiheiden kautta suljetussa kierrossa. Samalla laite lisää saman määrän happea kuin minkä elimistö on käyttänyt aineenvaihdunnassaan. Koska rebreather estää uloshengitettyä kaasua poistumasta suljetusta kierrosta, sen avulla voidaan sukelluksen aikana koota tietoa ihmisen fysiologisista toiminnoista. Tutkijat asensivat eri kohtiin suljetun kierron laitetta tunnistimia, joiden avulla voitiin mitata laitteen eri ilmatilojen kaasun määrää ja laatua sisään- ja uloshengityksen aikana. Tarkkailtaviin muuttujiin kuuluivat ulos- ja sisäänhengitetyn kaasun määrä, uloshengitetyn hiilidioksidin määrä, hengitystaajuus, hengityskaasun kokonaismäärä, kaasun lämpötila ulos- ja sisäänhengitettynä sekä sisäänhengitetyn kaasun kosteuspitoisuus. Edellä mainittujen asioiden lisäksi tarkkailun kohteena olivat myös syvyys (paine), sukellusaika, sukellusasento, räpyläpotkujen taajuus, sydämen syke ja sukeltajan lasku- ja nousunopeus. Tunnistimien luotettavuus testattiin, ja saadut arvot muutettiin hyödynnettäväksi tiedoksi, joka siirrettiin joko langattomasti tai sähköisesti keskusyksikköön.

Sukelluslääketiede kehittyy koko ajan, ja tutkimukset ovat paljastaneet uutta tietoa dekompression mekanismeista. Tähän mennessä fysiologista tietoa sukeltajasta on kerätty ainoastaan laboratorio-olosuhteissa tai ennen tai jälkeen sukelluksen, mutta ei koskaan sukelluksen aikana. Sukelluksen aikaista tarkkailua varten ei ole ollut saatavilla tarkoitukseen sopivaa tekniikkaa. Arne Sieber, joka toimii tutkijana IMEGO AB -yhtiössä Göteborgissa Ruotsissa, kehitti uutta tunnistintekniikkaa, jonka avulla voidaan seurata sukeltajan kehon lämpötilaa ja EKG:tä veden alla. Tietoa sukeltajan aineenvaihdunnasta kerättiin suljetun kierron laitteella, jolla voitiin mitata hapen ja hiilidioksidin pitoisuuksia, hengitystiheyttä, -tilavuutta ja hengityksen minuuttitilavuutta sekä verenpainetta. Kun puhutaan Bionic tai Digital Diver -käsitteistä, tärkein tekijä tässä yhteydessä on uusi sukellustietokone, johon voidaan yhdistää useita tunnistimia langattomasti. Tällaisessa tietokoneessa on tehokas mikroprosessori, joka kykenee suorittamaan monimutkaisia dekompressiolaskelmia. Tällä hetkellä järjestelmä on käytössä vain sotilassukelluksessa, mutta pian se on käytettävissä laajemminkin siviilipuolella.

Yhteenvetona todettakoon, että PHYPODE-tutkimusprojekti on tuonut poikkeuksellisen paljon uutta ja korkealaatuista tutkimustietoa sukellusfysiologiasta ja samalla todistanut hyödylliseksi käytäntöjä, joita sukeltajat ovat tehneet intuitiivisesti. Täsmällinen mittaaminen ja mekanismien ymmärtäminen voivat nyt

johtaa turvallisempien ja yksilöidympien dekompressiomallien kehittämiseen ja niiden käyttämiseen sukellustietokoneissa yhdistettynä muuhun sukeltajan lääketieteelliseen tietoon. Nämä neljä vuotta intensiivistä tutkimusta ovat olleet työntäyteisiä, mutta varmasti parantaneet sukellusturvallisuutta kehittämällä sukellusteknologiaa suuren harppauksen eteenpäin. Tutkimus on myös selkiyttänyt tulevaisuuden tutkimuslinjaa uusien kysymysten noustua esille ja toisaalta vastaamalla joihinkin vanhoihin kysymyksiin.

Projektin vetäjät käyttivät konferenssissa tilaisuutta hyväkseen ja esittelivät kirjan, jonka nimi on "The Science of Diving, Things your instructor never told you". Kirjassa on esitelty laajasti ajankohtaisia ajatuksia ja käsityksiä aiheesta, samoin kuin tämän erittäin merkittävän tutkimustyön tuloksia. Kirja koostuu 11 luvusta ja siinä on 273 sivua. Se on erinomainen oppikirja jokaiselle sukelluksen parissa tavalla tai toisella toimivalle tai siitä kiinnostuneelle. Kirjaa voi suositella esimerkiksi sukelluslääkäreille, painekammiohoitajille, tutkijoille, sukelluskouluttajille, muille alan ammattilaisille sekä sukellusta opetteleville. Kirjan kieli on elävää ja helppolukuista, eikä tekstissä ole käytetty liikaa alan erikoissanastoa. Sen avulla on helppo ymmärtää vaikeimpiakin tieteellisiä kysymyksiä.

Kirjan ovat toimittaneet professori Balestra ja tohtori Germonpré. Mukana toimitustyössä ovat olleet M. Rozloznik, P. Buzzacott ja D. Madden European Underwater and Baromedical Societysta (EUBS). Kirjoitustyöhön ovat osallistuneet kaikki PHYPODE-projektin 14 tutkijaa.

Mielenkiintoinen julkaisu

"The Science of Diving, Things your instructor never told you"
Julkaisija: Lambert Academic Publishing. Voit hankkia kirjan internetin kautta tästä tai tilata sen minkä tahansa kirjakaupan kautta käyttämällä ISBN-numeroa 978-3-659-66233-1. Kirjan hinta on 49,90 €, ja kaikki myynnistä saadut tekijänpalkkiot lahjoitetaan EUBS-yhdistykselle. Varoilla on tarkoitus edistää tulevaa sukelluslääketieteellistä tutkimusta.

Koulutusetuja DANin jäsenille
DANin jäsenet saavat säännöllisesti tietoa mielenkiintoisista konferensseista, seminaareista ja tapahtumista, joissa aiheena on sukellusturvallisuus. Jäsenet ovat tervetulleita näihin tapahtumiin. DANin jäsenillä on mahdollisuus saada alennuksia pääsymaksuista tai sisäänpääsy voi olla täysin ilmaista. DAN tarjoaa myös monia muita etuja jäsenilleen. Jotta saat aina ajankohtaista tietoa PHYPODE-konferenssin kaltaisista tapahtumista, rekisteröidy DAN Europen verkkosivustolle. Saat säännöllisesti uutiskirjeemme ja lisäksi arvokasta tietoa kulloinkin järjestettävästä ensiapukoulutuksesta, sukellusvakuutusohjelmista, webinaareista ym.