

Tuoreinta tietoa sukeltajantaudista ja sukellusfysiologiasta (Osa 1)

Kaikki sukeltajat maailmassa tietävät kuplat, jotka altistavat ns. sukeltajantaudille (DCS). Näitä kuplia muodostava kaasu on tavallisesti typpi, joka on inertti kaasu. DCS on tunnettu sukellukseen liittyvä terveysriski, joka voi lievänä aiheuttaa ihottumaa tai nivelkipuja, mutta vakavassa tapauksessa se saattaa johtaa elinikäiseen halvaantumiseen tai jopa kuolemaan. Sukeltaja altistuu sukeltaessaan ympäröivän paineen kasvulle, jolloin hänen kudoksensa kyllästyvät inertillä kaasulla paineen vaikutuksesta. Jos kaasu pääsee vapautumaan kudoksista liian nopeasti, se voi muodostaa kaasukuplia verenkiertoon tai kudoksiin. Kuplat voivat tukkia verisuonia elimistössä, erityisesti pieniä hiussuonia. Jos näin tapahtuu aivoissa, selkäytimessä tai sydämessä, seuraukset voivat olla vakavia ja jopa kohtalokkaita. Tiedon lisääminen ja ennaltaehkäisy ovat ratkaisevan tärkeitä tämän ongelman välttämiseksi ja mahdollisten seurausten minimoimiseksi.

Vuonna 2009 tutkimusryhmä, johon kuului 14 tutkijaa, aloitti PHYPODE-projektin (PhysioPathology Of Decompression). Tätä dekompression fysiopatologiaa tutkivaa hanketta rahoitti Euroopan unioni Marie Curie Initial Training Networks -järjestön aloitteesta. Tutkimusryhmän tavoitteena oli tutkia sukeltajantautia laajemmin kuin pelkästään siihen liittyviä fysikaalisia prosesseja.

Projekti kesti neljä vuotta ja 20.12.2014 DAN (Divers Alert Network Europe) järjesti ISEK-järjestön tiloissa Brysselissä konferenssin nimeltä "The Science of Diving" (Sukellustiede), jossa esiteltiin projektissa saatuja tutkimustuloksia.

Tutkijoiden hypoteesit

Osa DCS-tapauksista näyttää ilmaantuvan ilman varsinaista syytä, eikä niitä voida selittää pelkästään kaasun supersaturaatiolla kudoksiin. Siksi voidaankin olettaa, että nykyiset dekompressiomallit, jotka ovat tällä hetkellä käytössä sukellustietokoneissa, eivät takaa sukeltajan turvallisuutta riittävän hyvin, vaan niitä täytyy päivittää. Lisäksi on oletettavaa, että sukeltajantaudin kehittyminen ei ole puhtaasti fysikaalinen tapahtuma, vaan se on monimutkainen patofysiologinen prosessi, johon vaikuttavat, tai jonka laukaisevat monet eri tekijät. Nämä tekijät voivat vaihdella eri henkilöiden välillä. Tämän perusteella voimme olettaa, että jokaisella sukeltajalla on yksilöllinen riski sairastua sukeltajantautiin. Näin ollen edistyneemmän ja reaaliaikaisen sukellusteknologian kehittäminen tulee olemaan tavoitteena alan tutkimuksessa tulevaisuudessa. Kehittämistyön tuloksena voisi ihannetapauksessa olla sellainen "supersukellustietokone", jossa on uusi sukellusalgoritmi ja joka kykenee reaaliaikaisesti seuraamaan sukeltajan terveystietoja (ennen sukellusta, sen aikana ja sen jälkeen). Tämä tietokone yhdistäisi siis tulevaisuuden sukeltajassa biologian ja elektroniikan tiiviksi kokonaisuudeksi, niin sanotuksi Bionic-sukeltajaksi.

Tutkimustuloksia

Projektissa tarvittiin monipuolista lähestymistapaa, jotta voitiin paremmin ymmärtää eri fysiologisia tekijöitä ja mekanismeja. Jokainen tämän alan tutkimus on arvokas askel sukellusturvallisuuden edistämiseksi, jos sen avulla saamme lisää tietoa sukeltajantautiin johtavista mekanismeista ja prosesseista. Sukellusturvallisuuden lisääminen on aina ollut tärkeä osa DANin toimintaa, ja siksi DAN perusti DSL:n (Diving Safety Laboratory) vuonna 1994. Tarkoituksena on ollut kerätä mahdollisimman paljon tietoa todellisista sukelluksista mukaan luettuna sukellusonnettomuudet. Prof. A. Marronin (DAN Europen presidentti ja PHYPODE-projektin johtava tutkija) johdolla tutkimustietoa on käsitelty

epidemiologisin menetelmin ja pyritty tunnistamaan sukeltajataudin riskitekijöitä.

Vuoteen 2014 mennessä DSL:n tietokannassa oli tallennettuna 39 944 sukellusta yhteensä 2 615 sukeltajalta. Heistä 2 176 oli miehiä ja 439 naisia. Iältään he olivat keskimäärin 33 - 51-vuotiaita.

Ultraäänidoppler-tekniikalla voitiin paljastaa verenkierrossa esiintyvien kuplien muodostuminen. Tutkijat saattoivat tämän avulla osoittaa, että kuplia esiintyy pinnalle nousun jälkeen 30 - 75 minuutin ajan, mutta puolentoista tunnin kuluttua niitä ei enää havaita. Havaittiin myös, että kuplien tuotanto lisääntyy iän myötä, mutta sukupuoli ei vaikuta siihen.

Tutkimuksissa saatiin myös uutta mielenkiintoista tietoa **lentämisestä sukeltamisen jälkeen**. Lennon aikana tehtiin sydämen kaikututkimus sukeltajille, jotka olivat palaamassa viikon sukellusreissulta. Tämä sydäntutkimus osoitti, että niiden sukeltajien, joiden elimistössä muodostuu yleensä paljon kuplia, olisi hyvä odottaa pidempään viimeisen sukelluksensa jälkeen ennen vuorolennolle nousua (36-48 tuntia suositellun 24 tunnin sijaan).

Mitä tulee muihin sukeltamiseen liittyviin riskeihin, niin sukeltaville **diabeetikoille** on tiedossa hyviä uutisia. Uuden teknologian kehittäminen on itse asiassa viime aikoina tehnyt mahdolliseksi verensokerin jatkuvan seurannan myös veden alla. Testauksessa käytettiin vesitiiviitä monitoreja, joiden anturit oli asennettu märkäpuvun alle.

Vapaasukelluksen (apneasukellus) aiheuttamasta keuhkopöhostä on saatu uutta tutkimustietoa geneettisestä alttiudesta, joka saattaa toimia välittäjänä myös laitesukelluksessa saadussa sukeltajataudissa. Useiden viimeaikaisten tutkimusten mukaan ne genotyypit, joissa e-NOS-entsyymiin aspariinihappo on korvautunut glutamiinihapolla, tuottavat runsaammin typpioksidia (NO), mikä puolestaan voi suojata sukeltajantautia vastaan.

Kuplista tiedetään paljon yleisellä tasolla, mutta niiden tarkka muodostumismekanismi on jäänyt melko hämäräksi aivan viime aikoihin asti. Professori C. Balestra, -integroivan fysiologian laboratorion johtaja Haute-Ecole Paul Henri Spaak -yliopistossa Brysselissä, johti tutkimusta koskien kuplien muodostumista laitesukelluksessa dekompression aikana. Typpikuplia muodostuu verenkiertojärjestelmässä laitesukelluksen jälkeen ja siihen liittyy fysiikan ja fysiologian prosesseja, jotka ovat keskenään vuorovaikutuksessa. Balestra käytti videotallennusta koejärjestelyssä, jolla kuplien kasvu ja niiden tiheys saatiin näkyväksi ja voitiin tutkia niiden muodostumismekanismeja. Hän tarkasteli kahden eri kudostyyppin, hydrofiilisen ja hydrofobisen, pintaa eli vertasi lihaskudosta rasvakudokseen ja löysi merkittävästi enemmän kuplia rasvakudoksesta (hydrofobinen) kuin lihaskudoksesta (hydrofiilinen). Tämän uskottiin johtuvan niin kutsutuista hydrofobisista nukleiinipilkuista (nucleic spots), joiden pinnalle kuplat voivat muodostua. Ikä näyttäisi lisäävän näiden hydrofobisten pilkkujen muodostumista ihmisen verisuonistossa. Tämä saattaisi selittää sukeltajataudin riskin kasvamisen iän myötä, mutta myös korkeamman riskin sairastua sen kaltaisiin sairauksiin kuin Alzheimerin tauti, keliakia, allergiat, diabetes ja syöpä. Hydrofobisilla pilkuilla verisuonten sisäseinämissä, jossa kaasufaasi pystyy muodostumaan, on kauaskantoisia, poikkitieteellisiä merkityksiä muillekin kuin vain sukeltajille.

Peter Germonpré (lääketieteellinen johtaja, Brysselin sotilassairaalan ylipainelääketieteellinen keskus) painotti niin kutsutun **esivalmistelun (preconditioning)** tärkeyttä eli niitä toimenpiteitä, joiden avulla jokainen sukeltaja voi alentaa sukeltajataudin riskiä. Yleisesti ottaen voidaan olettaa, että on olemassa kaksi mahdollista kuplia vähentävää mekanismia. Yksi on biokemiallinen mekanismi, jolloin dekompressiokuplat elimistössä laukaisevat oksidatiivisen tulehdusreaktion syntymisen. Toinen, mekaaninen mekanismi puolestaan vähentää kupliksi kehittyvien mikroakuplien määrää verisuonissa.

Seuraavat asiat vähentävät kuplien muodostumista ja ovat suositeltavia ennen sukeltamista: liikunta, korkea lämpötila, nesteytys, hapen hengittäminen, –tärinä sekä antioksidanttipitoisen ravinnon nauttiminen.

Verisuonten kaasuemboliaa (**vascular gas embolism, VGE**) on pitkään pidetty sukeltajataudin aiheuttajana ja myös sen tunnusmerkkinä. Mitä enemmän kuplia on veressä, sitä todennäköisemmin on nähtävissä dekompressiosta johtuvia oireita. Kuten aiemmin mainittiin, kuplat kehittyvät hydrofobisten nukleiinipilkkujen päällä verisuonten pinnalla. Näin ollen omasta verenkiertojärjestelmästä huolehtimalla ja hyvän kunnon ylläpitämisellä voidaan alentaa sukeltajataudin riskiä.

Liikunta lisää kaasujen vaihtoa ja saa pienet kuplan alut liikkeelle ja poistumaan. Korkea lämpötila tuottaa kuumuudelta suojaavia proteiineja, jotka saattavat ehkäistä kuplien muodostumista. **Riittäväällä nesteytyksellä** tiedetään olevan ehkäisevä vaikutus, mutta nesteytys tulee hoitaa hyvissä ajoin ennen sukellusta, jotta vesi ehtii saavuttaa elimistön kudokset. Runsaan veden juominen juuri ennen sukellusta ei auta, vaan se lisää nesteen määrää suonissa ja johtaa näin äkilliseen nestehukkaan sukelluksen aikana, jolloin dekompressiotaudin riski kasvaa. Ulkoinen, mekaaninen värähtely, joka kohdistetaan koko kehoon, laskee myös DCS:n riskiä. Syynä on mahdollisesti se, että ennen sukellusta esiintyvät mikrokuplat poistuvat ravistelun myötä. Siksi jotkut sukellusretkien järjestäjät valitsevat usein pikaveneen kuljettaessaan sukeltajia sukelluspaikoille. Myös imunestekierrolla on tärkeä tehtävä poistaa kuplia muodostavia mikroytimiä imusuonten kautta. Sukellusta edeltävä tärinä tehostaa myös tätä mekanismia. Viimeisenä, vaan ei vähäisimpänä, on **100-prosenttisen hapen** hengittäminen ennen sukellusta. Tämä on tehokas tapa poistaa tyypeä verenkiertojärjestelmästä.

Kevyen liikunnan tiedetään siis suojaavan DCS:ltä, mutta **rankkaa liikuntaa** sukellukseen yhdistettynä pidetään merkittävänä riskitekijänä sukeltajataudin kehittymisessä, koska kova liikunta vaikuttaa tulehdustilaa lisäävästi verisuonissa.

Z. Dujic, Splitin yliopiston lääketieteellisestä tiedekunnasta Kroatiaasta, tutki eri rasiuksella liikkuneita sukeltajia, jotka harrastivat liikuntaa sukelluksia ennen, niiden välillä ja niiden jälkeen. Hän halusi selvittää, mikä vaikutus liikunnan voimakkuudella oli. Sukelluksen jälkeinen rasitus voi aiheuttaa arterialisaation eli kuplien virtaamisen laskimoveren kierrosta valtimoverenkiertoon joko sydämessä olevien aukkojen kautta tai avaamalla ns. oikovirtauksen, jonka tiedetään liittyvän lisääntyneeseen sukeltajataudin suhteelliseen riskiin. Arterialisaatio vaihtelee yksilöstä toiseen. Toisilla vähäinen rasitus, kuten pintauinti sukelluksen jälkeen tai varusteiden kantaminen voi laukaista arterialisaation. Rasitukseen liittyvä arterialisaatio voidaan estää hengittämällä 100% happea. Happi on verisuonia supistava aine ja pystyy sulkemaan oikovirtauksen. Tämä voi olla selittävä mekanismi, jolla happiensiapu auttaa sukeltajataudin oireisiin. Kahdessa vertailevassa tutkimuksessa ennen sukellusta aerobisella tasolla tehtävällä juoksulla tai anaerobisella tasolla tehtävällä pyöräilyllä oli molemmilla suojaava vaikutus ja ne vähensivät mikrokuplien syntymistä (ts. "kuplan siementen" syntymistä). Sitä vastoin rasitus sukelluksen jälkeen avasi oikovirtauksen ja aiheutti 50%:lla arterialisaatiota. Loppupäätelmänä voidaan todeta, että sukeltajilla, jotka ovat "runsaasti kuplivia" ja "helposti oikovirtaavia", on selvästi suurentunut riski saada sukeltajantauti.

Muista mielenkiintoisista tutkimustuloksista kerrotaan artikkelin toisessa osassa, joka julkaistaan seuraavassa Alert Diver -lehden numerossa. Aiheina on muun muassa hapen myrkyllisyys, verisuonten endoteelin merkitys sukeltajataudissa ja biologian ja elektroniikan yhdistäminen sukeltajassa ("Bionic Diver").

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 myynistä saadut tekijäpalkkiot 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.