

Onko paineen aleneminen turvallisempaa, jos sukeltajan nesteytys ja lämpötila ovat optimaaliset?

Kahden viimeisen vuosikymmenen aikana ylipaineeseen erikoistuneet tutkijat ja heidän jälkeensä myös sukeltajat ovat oppineet ymmärtämään, että on tärkeää huolehtia kunnolla nesteytyksestä, kun halutaan vähentää sukeltajantaudin (DCS) riskiä. Alkuun tässä asiassa oli kyse ennemminkin uskomuksesta, joka tuli ilmi aiheesta kerrotuissa kertomuksissa. Yleinen havaintohan oli, että sukeltajantautiin sairastuneet sukeltajat kärsivät nestevajauksesta. Viimeaikaiset tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että nestevajaus ei ainoastaan lisää kuplien muodostumista, vaan että ennen sukeltamista tapahtuva nesteytys itse asiassa vähentää verenkierrossa liikkuvia kuplia.

“Enemmän vettä, vähemmän kuplia”, DAN Europan perustaja ja puheenjohtaja tohtori Alessandro Marroni selittää hymyillen. “Nesteytys lisää verenkiertoa ja samalla siis myös hapen ja inerttien kaasujen liikkumista kaasujen kerääntyessä kudoksiin ja niiden poistumisen aikana. Paine-erot saavat kaasut liikkeelle.” Nesteytys, paineistus ja tietysti happi ovat pitkään olleet sukellussairauden hoidon peruspilareita.

Tarkkaan ei kuitenkaan ole tiedossa, kuinka paljon nestettä sukeltajien pitäisi nauttia ja mikä olisi oikea ajankohta ja kuinka tiheästi nesteytystä tulisi tehdä positiivisten vaikutusten maksimoimiseksi. On tärkeää ottaa huomioon se tosiseikka, että liiallinen nesteytys voi myös aiheuttaa ongelmia ja lisätä riskiä saada keuhkopöhö veden alla oltaessa (IPE). Kun siis sukeltajia muistutetaan huolehtimaan nesteytyksestä, on tätä kehotusta noudatettava harkiten.

Tutkijat ovat sitä mieltä, että nesteytyksellä on siis tärkeä rooli sukeltaessa. He ovat kuitenkin havainneet myös sen, että sukeltajan sukelluksen aikainen lämpötila voi vaikuttaa merkittävästi paineen alenemiseen liittyviin riskeihin. Mielenkiintoista on, että tämän seikan merkitys havaittiin [TWA Flight 800](#) -koneen etsintöjen ja löytymisen yhteydessä. Kyseinen lentokone räjähti 17. päivänä heinäkuuta 1996 ja syöksyi Atlantin valtameren pian sen jälkeen, kun se oli noussut ilmaan John F. Kennedyn lentokentältä New Yorkissa.



Eräs neuvokas tutkija huomasi tällöin, että niillä Yhdysvaltain laivaston sukeltajilla, jotka osallistuivat ohjaamon ääni- ja lentotietojen tallentimien etsintöihin ja pelastamiseen, esiintyi hieman enemmän sukeltajantautia kuin mitä olisi normaalisti ollut odotettavissa. Sukeltajilla oli sukelluspuvut, jotka pitivät heidät aktiivisesti lämpiminä kuumen veden avulla.

Sukelluksia oli yhteensä 752, ja ne tehtiin noin 36 metrin syvyyteen. 10 sukeltajaa kaikista 752 tarvitsi painekammiohoitoa pääasiassa tyypin 2 (neurologinen) sukeltajantautiin. Tämän tapauksen seurauksena julkaistiin vuonna 1997 artikkeli nimeltä [Recompression treatments during the recovery of TWA flight 800](#), jonka olivat kirjoittaneet C.T. Leffler ja J.C. White. Tässä tieteellisessä julkaisussa tultiin siihen johtopäätökseen, että sukeltajantautitapausten määrässä oli kasvua niiden sukeltajien kohdalla, jotka käyttivät aktiivisesti lämmittäviä pukuja. Tämä tulos oli yhtäpitävä niiden aiempien havaintojen kanssa, joita oli tehty Pohjanmerellä kaupallisessa toiminnassa mukana olevien sukeltajien kohdalla. TWA-artikkelin julkaiseminen lisäsi kiinnostusta sukeltajia aktiivisesti lämmittäviä menetelmiä kohtaan.

Tarkkaan ei kuitenkaan ole tiedossa, kuinka paljon nestettä sukeltajien pitäisi nauttia ja mikä olisi oikea ajankohta ja kuinka tiheästi nesteytystä tulisi tehdä positiivisten vaikutusten maksimoimiseksi.

Vuonna 2007 Yhdysvaltain laivaston kokeellisen sukeltamisen yksikkö (NEDU) julkaisi selontekonsa tutkimuksesta, jonka oli suorittanut tunnettu dekompressioon erikoistunut fysiologi Wayne A. Gerth tiiminsä kanssa. Tutkimuksen nimenä oli *THE INFLUENCE OF THERMAL EXPOSURE ON DIVER SUSCEPTIBILITY TO DECOMPRESSION SICKNESS (LÄMPÖALTISTUKSEN VAIKUTUS SUKELTAJAN HERKKYYTEEN SAIRASTUA SUKELTAJANTAUTIIN)*, NEDU TR 06-07, November 2007. Tämän selonteon mukaan "sukeltajan lämpötila sukelluksen eri vaiheiden aikana voi vaikuttaa suuresti sukeltajan herkkyyteen sairastua sukeltajantautiin. Kun halutaan minimoida sukeltajantaudin riski ja maksimoida pohja-aika, paras vaihtoehto on silloin se, että pohja-aika vietetään kylmässä ja dekompression aikana on

lämmin. Sukeltajat tulisi pitää viileinä sukelluksen pohja-ajan aikana ja lämpiminä myöhemmin seuraavan paineen vähenemisen aikana.” Itse asiassa Gerth ja hänen tiimensä tekivät sellaisen havainnon, että 10 °C lämpötilan nousu dekompression aikana vastasi pohja-ajan vähentämistä 50 prosentilla! Tästä huolimatta sukeltajan lämpötilan fysiologiset vaikutukset ovat kaiken kaikkiaan monimutkaisia, kuten jotkut tutkijat ovatkin huomauttaneet.

Nämä sukeltajan nesteytykseen ja lämpötilaan liittyvät löydökset synnyttävät luonnollisesti kysymyksen siitä, voisivatko sukeltajat hyötyä näistä seikoista pyrkiessään vähentämään paineen alenemiseen liittyviä riskejä mahdollisimman tehokkaasti? Juuri tähän kysymykseen DAN Europan tutkijat toivovat löytävänsä vastauksen uudessa meneillään olevassa tutkimuksessa.

Verenkiertojärjestelmä toimii kuin liukuhihna

Tohtori Marroni ja hänen kollegansa työskentelevät parhaillaan tutkimuksen parissa, jossa tutkitaan ”hydrotermisiä gradientteja”. Tarkoituksena on tutkia nesteytykseen ja lämpötilaan liittyviä yhteisiä tekijöitä osana heidän vuoden 2022 tutkimussuunnitelmaansa. Kysymys, johon he toivovat löytävänsä vastauksen, on seuraava: ”Voimmeko totuttaa sukeltajan verenkierron vaikuttamaan kaasujen vastaanottamiseen ja poistamiseen säätelemällä huolellisesti nesteytystä ja lämpötilaa eli niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat verenkiertoon ja verisuonten supistumiseen?” Ryhmä mittaa sitä, miten kuplien muodostumiseen vaikuttavat näiden kahden muuttujan vaihtelut sekä näiden muuttujien vuorovaikutus. Tässä he hyödyntävät DAN Europan uutta [sukeltajille suunniteltua biometristä järjestelmää, jonka uusi nimi on nyt DANA-Health](#). Järjestelmän avulla voidaan tarkkailla sukeltajia sukellusten aikana ja ottaa verinäytteitä samoin kuin tehdä doppler-ultraäänitutkimuksia veden alla.



Neste ja lämpötila näyttävät olevan paineen alentuessa eri tavoin vaikuttavia tekijöitä. Molemmat liittyvät kuitenkin suoraan perfuusioon eli veren virtaamiseen elimen läpi. Marroni selittää asiaa seuraavasti: "Ajattele verenkiertojärjestelmää ikään kuin liukuhihnana, joka kuljettaa kaasuja kudoksiin ja pois sieltä. Kun nestettä on enemmän, happipitoisuus on suurempi ja kaasuja voidaan kuljettaa erittäin tehokkaasti. Kun virtausta on puolestaan vähemmän, myös happea on vähemmän samoin kuin vähemmän inerttien kaasujen kuljetusta kudoksiin ja kudoksista pois."

Tämä merkitsee siis sitä, että jos sukeltajalla on nestevajausta sukelluksen alkaessa, inerttien kaasujen kuljetus ja otto kudoksiin hidastuu. Itse asiassa tutkijat osoittivat tämän vuonna 2008 artikkelissa, jonka nimi on [Predive Sauna and Venous Gas Bubbles Upon Decompression from 400 kPa](#). Artikkelin laatijoina olivat J.E. Blatteau ym. mukaan lukien DANin tutkijat Costantino Balestra ja Peter Germonpré. Tässä tutkimuksessa sukeltajat oleskelivat saunassa tunnin ajan ennen painekammiossa oloa. Painekammiossa olo vastasi 25 minuutin pituista sukellusta 30 metrin syvyyteen merivedessä. Tämän jälkeen painetta alennettiin (dekompressio). Mikä oli tulos? Ennen sukellusta tapahtuva yksittäinen käynti saunassa vähensi sukelluksen jälkeen elimistössä kiertäviä kuplia. Tutkijoiden oletuksen mukaan kuumuuden aiheuttama nestehukka oli syynä siihen, että sukeltajiin kohdistuva inerttien kaasujen aiheuttama kuormitus väheni. Näin ollen myös kuplia muodostui vähemmän.

Samalla tavalla sukeltajaa lämmitettäessä, esimerkiksi aktiivisen lämmitysjärjestelmän avulla, seurauksena on verisuonten laajentuminen. Tämä lisää verenkiertoa ja tällöin myös kaasujen vaihtoa. Tämä ei ehkä ole toivottua siinä vaiheessa sukellusta, kun kaasua kertyy kudoksiin. Yllä on lainattu esimerkkejä, jotka osoittavat tämän. Päinvastaisessa tilanteessa sukeltajan ihon lämpötilaa laskettaessa seurauksena on verisuonten supistuminen ja verenkierron heikkeneminen. Marronin liukuhihnavertaus selittää myös sen, miksi dekompression aikaisen pienen liikunnallisen aktivoitumisen on voitu osoittaa laskevan sukeltajantaudin riskiä. Syynä on se, että liikunta lisää verenkiertoa ja lisää näin inerttien kaasujen kuljetusta ja kaasujen poistumista.

Yhteenvetona näiden tulosten pohjalta voidaan esittää mahdollista toimintamallia, jota sukeltajat voivat jonakin päivänä noudattaa vähentääkseen sukeltajantaudin riskin minimiin. Toisin sanoen he suoriutuvat tämän toimintamallin ansiosta paremmin paineen alenemisen aiheuttamasta kuormituksesta. Sukeltajat voivat esimerkiksi aloittaa sukelluksensa niin, että heillä on tietyn asteinen nestevajaus. Samoin aktiivinen lämmitysjärjestelmä tulee olla kytkettynä pois päältä. Nämä toimenpiteet vaikuttaisivat sen, että inerttien kaasujen aiheuttama kuormitus olisi mahdollisimman vähäinen laskeutumisen ja sukelluksen toimintavaiheen aikana. Nousun yhteydessä sukeltaja voisi kytkeä aktiivisen lämmitysjärjestelmän päälle tai säätää lisää lämpöä sekä aloittaa nesteytyksen joko heti (ehkä jollekulle suonensisäisesti?) ja/tai dekompression alkaessa. Ehkä olisi hyvä myös tehdä joitakin kevyitä harjoitusliikkeitä dekompression aikana.¹

Ongelmana ovat tietysti vielä toimintamalleihin liittyvät yksityiskohdat. Näitä yksityiskohtia Marroni ja muut tutkijat haluavat nyt selvittää. On hyvä, että me muutkin janoamme nesteen lisäksi myös tietoa.

¹Toimenpiteiden huolellinen toteuttaminen on hyvin todennäköisesti tärkeää ottaa huomioon. Aktiivisen lämmityksen lisäämisen tulisi olla asteittaista, jotta voitaisiin vähentää kuplien muodostumisen todennäköisyyttä lähellä ihoa. Kaasujen liukenevuushan vähenee lämpötilan noustessa. Nopea ihon lämmitys voi johtaa sukeltajantautiin ihossa. Myös kaiken liikunnan harjoittamisen tulisi olla hyvin kevyttä,

niin että niveliin kohdistuu vain vähän voimaa. Näin voidaan estää kuplien muodostumisen lisääntyminen, joka on negatiivinen seuraus liikunnasta.

Viitteet:

- Shields TG, Duff PM, Wilcock SE, Giles R. *Decompression Sickness From Commercial Offshore Air-Diving Operations On The UK Continental Shelf During 1982 To 1988. Society for Underwater Technology. 1990 Volume 23 Subtech 89 259-277*
- Leffler CT, White JC. Recompression treatments during the recovery of TWA Flight 800. *Undersea Hyperb Med. Winter 1997; 24(4):301-8.*
- Fahlman A, Dromsky DM. Dehydration Effects on the Risk of Severe Decompression Sickness in a Swine Model. *Aviat Space Environ Med 2006; 77:102- 6.*
- Gerth W A, Ruterbusch V, Long ET, THE INFLUENCE OF THERMAL EXPOSURE ON DIVER SUSCEPTIBILITY TO DECOMPRESSION SICKNESS. 2007 TA 03-09 NEDU TR 06-07
- Blatteau J E., Gempp E., Balestra C., Mets T. and Germonpré PO. Pre-dive Sauna and Venous Gas Bubbles Upon Decompression from 400 kPa. *Aviation, Space and Environmental Med. 2008; 79(12) 1100-1105*
- Cherry AD, Freiburger JJ, Natoli M J, Moon R. Effects of head and body cooling on hemodynamics during immersed prone exercise at 1 ATA. *J Appl Physiol (November 20, 2008).* doi:10.1152/jappphysiol.91237.2008
- Gempp E., Blatteau J E. Pontier J-M, Balestra C. Lounge P. Preventive effect of pre-dive hydration on bubble formation in divers. *Br J Sports Med. 2009;43:224-228.* doi:10.1136/bjism.2007.043240
- Djurhuus R, Nossum V. et al Simulated diving after heat stress potentiates the induction of heat shock protein 70 and elevates glutathione in human endothelial cells. *Cell Stress and Chaperones (2010) 15:405-414 DOI 10.1007/s12192-009-0156-3*
- Germonpré P. Balestra C. Preconditioning to Reduce Decompression Stress in Scuba Divers. *Aerospace Medicine and Human Performance 2017; 88(1) 1-7*
- Thieme G. Body temperature response of diver wearing a dry or wetsuit during cold water immersion. *Int J. Sports Med. Manuscript ID IJSM-11-2017-6638-pb*
- Han K-H, Hyun G-S, Jee Y-S, Park J-M. Effect of Water Amount Intake before Scuba Diving on the Risk of Decompression Sickness. *Int. J. Environ. Res. Public Health 2021, 18, 7601.* [Effect of Water Amount Intake before Scuba Diving on the Risk of Decompression Sickness](#)

Lisätietoa asiasta:

- *InDEPTH:* [The Making of the Biometric Diver: DAN Europe's Alessandro Marroni is Realizing a 50-year old Dream](#) by Michael Menduno
- *InDEPTH:* [In Hot Water: Do Active Heating Systems Increase The Risk of DCI?](#) by Reilly Fogarty
- *GUE.tv:* [New Decompression Findings: Simon Mitchell Presents COLD WATER EFFECTS ON DCS](#)