

# Adaptoituminen ja DCI

On yleisesti hyväksytty tosiasia, että sukeltajantaudin tärkeimpiä riskitekijöitä ovat sukelluksen kesto ja syvyys. Sukeltajia kiinnostaa kuitenkin hyvin paljon myös se, millä tavoin muut tekijät, kuten urheileminen tai nestetila, mahdollisesti vaikuttavat DCI-riskiin. Adaptoitumisella tarkoitetaan fysiologisten tai farmakologisten ärsykkeiden käyttöä ja pyrkimystä parempaan vastustuskykyyn tiettyihin vammoihin tai sairauksiin. Tässä artikkelissa on pyritty selvittämään, onko olemassa tietynlaisia adaptoitumiskäytänteitä, joiden avulla sukeltajat itse pystyisivät pienentämään riskiä sairastua sukeltajantautiin. Asiasta pyydettiin asiantuntijoiden mielipiteitä.

**Vallitseva suositus liikunnan ja sukeltamisen suhteen on, että sukeltajat välttäisivät raskasta ruumiillista liikuntaa ennen sukellusta ja sen jälkeen, mutta myös sellaista on esitetty, että tietynlainen liikunta saattaisi pienentää sukeltajantautiin sairastumisriskiä. Millä tavoin harjoitettu liikunta voisi pienentää tai lisätä DCI-riskiä, ja minkälaisia liikuntaan ja sukeltamiseen liittyviä neuvoja antaisitte sukeltajille?**

**Constantino Balestra:** Yhä useammat tutkijat ovat pystyneet näyttämään toteen ennen sukellusta harjoitettuun liikuntaan liittyviä hyötyjä. Itse mekanismeja ei ole vielä tarkasti määritelty, mutta ”liike” näyttäisi olevan avainasemassa. Saadun hyödyn taustalla tuntuvat vaikuttavan samanaikaisesti sekä sydämen toiminnot että verenkiertojärjestelmä ja lymfaattinen järjestelmä.

**Michael Bennett:** Urheilun ja sukeltamisen välinen suhde on muutamien viime vuosien kuluessa noussut erittäin kiinnostavaksi aiheeksi. Perinteisesti on katsottu, että ennen sukeltamista tapahtuva urheilu kuuluu DCI:n riskitekijöihin; ajatus perustuu siihen mahdollisuuteen, että kudoksiin kertyisi tavallista enemmän tyypeä hyperdynaamisen verenkierron yhteydessä. Viimeisimmät tutkimusaineistot antavat kuitenkin olettaa, että aiempi katsantokanta saattaa olla liikaa yksinkertaistettu. Niin eläinten kuin ihmisten parissa tehtyjen kokeiden pohjalta on syytä olettaa, että yksi kerta kohtuullista tai raskasta liikuntaa 2–24 tuntia ennen simuloitua sukellusta saattaa vähentää kuplien muodostumista (ja oletettavasti DCI-riskiä). Vielä ei ole täysin selvillä, miksi näin on, mutta näyttää todennäköiseltä, että typpimonoksidin (NO) muodostuminen harjoittelun aikana saattaa joko suosia tumien, missä kuplat tapaavat muodostua, poistumista tai muulla tavoin muuttaa verisuonia verhoavia soluja (endoteeli). Aihepiiristä on kuitenkin esitetty lukuisia vaihtoehtoisia hypoteeseja, ja aiheesta on tekeillä lukuisia tutkimuksia. Jean-Eric Blatteau kollegoineen esimerkiksi esittää, että suojaava vaikutus johtuu lievästä hypovolemiaista. Tätä nykyä ohjeistan omia sukeltajiani siten, että siitä, että sukeltamista edeltävästä urheilusta – joka päätetään viimeistään noin kaksi tuntia ennen veteen menoa – olisi harmia, ei ole olemassa todisteita, mutta sukeltajia ei siitä huolimatta ole syytä aktiivisesti kannustaa urheiluun.

Muina aikoina tapahtuvan liikunnan vaikutuksista suhteessa DCI-riskiin käydään vähemmän väittelyä. Sukellustapahtuman aikana suoritettavaksi liikunnaksi katsottava harjoittelu lisää typenottokykyä ja typhen leviämistä kudoksiin, ja sen ajatellaan suurentavan riskiä, kun taas kevyen liikunnan dekompression aikana on ajateltu puhuvan kaasujen haihtumisen puolesta ja pienentävän riskiä. Reipasta urheilua sukellustapahtuman jälkeen ei suositella, koska on mahdollista, että mekaaninen stimulaatio edistää kuplien muodostumista.

**Alf Brubakk:** Sukeltajille suositellaan säännöllistä liikuntaa. Aerobinen harjoittelu ennen sukellusta vähentää verisuonten sisäisten kuplien muodostumista. Sukelluksen jälkeen tapahtuva liikunta saattaa lisätä tai vähentää kuplien muodostumista; vaikutukset saattavat riippua yleiskunnosta. Tässä ollaan tekemisissä sellaisen aihealueen kanssa, josta meillä ei ole riittävästi tietoa – vajaaseen

tutkimusaineistoon nojaten on mahdotonta antaa pitäviä suosituksia.

**Useimmat asiantuntijat ovat yhtä mieltä siitä, että vakava kuivuminen saattaa lisätä DCI-riskiä, mutta on myös esitetty, että lievä tai kohtalainen nestehukka saattaa vähentää riskiä. Mitä mieltä olette tästä ja mitä suosittelette sukeltajillenne?**

**Balestra:** On olemassa katsantokantoja, jotka puoltavat sitä, että "normaali" veren plasmatilavuus tai jopa lievästi pienentynyt plasmatilavuus saattaisi vähentää kudosten typpisaturaatiota sukelluksen aikana. Varsinainen ydinsanoma ei ole, että plasmatilavuutta tulisi suurentaa liikaa tai liian nopeasti, koska sillä tavoin pelkästään lisättäisiin virtsan tuotantoa sen sijaan että todella nesteytettäisiin kudoksia. Oma neuvoni on, että kannattaa juoda lasillinen vettä 15-20 minuutin välein, jolloin kudokset ehtivät nesteytyä ilman että plasmatilavuus kasvaisi.

**Bennett:** Osa sekä liikunnan että lämmölle altistumisen vaikutuksia sekä myöhempää DCI-riskiä käsittelevistä tutkimuksista tuntuu esittävän, osin paradoksaalisesti, että lievä nestehukka toisi jonkinasteista suojaa. Väitteen taustalla on yksi mahdollinen mekanismi, jonka oletetaan suojaavan kuplien muodostumiselta. Blatteau kollegoineen on esittänyt, että ennen sukellusta harjoitettu liikunta tai lämmölle altistuminen saunassa sekä jommankumman aikaansaama lievä nestehukka ja vähentynyt verivolyyymi (hypovolemia) saattaa laskea sydämen minuuttitilavuutta ja vähentää typen kulkeutumista kudoksiin. Tähän on kuitenkin olemassa lukuisia vastateorioita, eikä tiedossani ole tätä nimenomaista väittämää tukevaa tutkimusaineistoa.

Väite on oikeastaan melko yllättävä. Vaikka kuivumiseen liittyvät riskit täytyy vielä tarkkaan määritellä, kaikki tähän saakka tietoon tullut viittaa siihen, että ennen sukellusta nautitut nesteet ovat pikemminkin hyvästä kuin pahasta. Esimerkiksi vuonna 2008 Gempp kollegoineen julkaisi vertailututkimuksen, jonka päätelmänä oli: "Ennen sukellusta suun kautta otettu nesteytys vähentää verenkierrossa olevia kuplia ja on siten suhteellisen helppo tapa pienentää sukeltajantaudin riskiä." Kyseisessä tutkimuksessa nesteytys - 1,3 litraa suola-/glukoosiliuosta - lievensi nestehukkaa ja ehkäisi sukeltamisesta aiheutuvaa hypovolemiaa mutta ei muuttanut plasman pintajännitystä. Oma suositukseni on, että sukeltajien pitäisi pyrkiä turvaamaan riittävä nesteensaanti ennen sukellusta ja aktiivisesti välttämään sukeltamista, mikäli nestehukan mahdollisuus on olemassa.

**Brubakk:** Tiedossani ei ole tätä tukevaa tutkimusaineistoa, enkä liioin usko minkään teorian tukevan tätä väitettä. Suosittelen sukeltajia huolehtimaan riittävästä nesteytyksestä.

**Jotkut tutkijat ovat esittäneet, että ennen sukellusta nautitut antioksidantit, esimerkiksi C-vitamiini, tai muut ravintoaineet tai lääkkeet, kuten nitroglyseriini, pienentäisivät DCI-riskiä. Millä tavoin mainitut aineet pienentäisivät riskiä?**

**Balestra:** Kokemus on osoittanut, että tällainen lähestymistapa ei oikeastaan liity kuplien muodostumiseen vaan endoteelitoimintaan. Sukelluksen jälkeen, jolloin endoteelitoiminta tilapäisesti heikentyy, antioksidantit pystyvät estämään tällaisen heikentymisen, mutta ei ole olemassa selvää näyttöä siitä, että kuplien syntymistä pystyttäisiin vähentämään tällaisin ainein. Tutkimuksia asiasta on yhä käynnissä.

**Bennett:** Viime aikoina on ollut havaittavissa, että kiinnostus endoteelitoiminnan muuttamiseen farmakologian keinoin on kasvanut. Yleensä ottaen kiinnostavimpia ovat aineet, jotka lisäävät NO:n määrää, sekä seurannaisvaikutukset alueilla (oletuksena on endoteeli), joissa kaasukuplia muodostuu. Kuplien muodostuminen aiheuttaa todennäköisesti endoteelivaurioita ja edistää sekä mikrovaskulaarista ahtaumaa että hyytymiskaskadien aktivoitumista - molemmat muutoksia, jotka saattavat liittyä suoraan

DCI:n kliiniseen taudinkuvaan. Vaikka onkin vielä aikaista, olemassa on todellakin joitakin sekä eläinten että ihmisten parissa tehdyistä kokeista saatuja todisteita siitä, että esimerkiksi lueteltujen aineiden nauttiminen saattaisi pienentää DCI-riskiä huomattavasti. Periaatteessa sekä NO-luovuttajat (kuten nitroglyseriini) että antioksidantit (kuten C-vitamiini) ehkäisevät endoteelivaurioita aiheuttavaa aiheoksidatiivista stressiä, joka voi olla syynä siihen, miksi kuplien aikaansaamista vammoista koituu sukeltajille niin laaja-alaisia oireita.

Tutkimuksen aihepiiri on kiintoisa, ja saatamme pian saada joitakin pitäviä suosituksia sukeltajille. Tässä vaiheessa on kuitenkin vielä syytä varovaisuuteen. Monen mainitunkin aineen vaikutukset ulottuvat laajalle - haitalliset sivuvaikutuksetkaan eivät ole harvinaisia - eikä meillä ole toistaiseksi käytännön todistusaineistoa siitä, että kliininen DCI pysyttäisiin ehkäisemään näiden aineiden avulla.

**Brubakk:** Näyttää siltä, että antioksidantit vähentävät kuplien muodostumista. Saattaa olla myös niin, että ne vaimentavat tulehdusreaktioita, jotka saattavat vaikuttaa DCI:n taustalla. Aihepiiristä kaivataan lisätutkimuksia, mutta lähestymistapa on lupaava. Tähän mennessä tutkittua tietoa antioksidanttien vaikutuksista terveisiin ihmisiin on saatu liian vähän.

**Rune Djurhuus:** Typpimonoksidi (NO) on pieni välittäjämolekyyli, joka aiheuttaa lihasten rentoutumista ja verisuonten laajenemista. Eläinkokeissa on havaittu, että sellaisen farmakologisen aineen (esim. nitroglyseriinin) antaminen, joka vapauttaa typpimonoksidia verenkiertoon, saattaa vähentää kaasukuplien muodostumista ja parantaa selviytymismahdollisuuksia dekompression jälkeen. Ja toisin päin, typpimonoksidisyntaasi-entsyymi (NOS), joka tuottaa typpimonoksidia verisuonten sisäpuolta verhoavassa endoteelikerroksessa, estäminen pahensi DCI-oireita merkittävästi. Ruumiillisen liikunnan tiedetään myös stimuloivan typpimonoksidin muodostumista endoteelissa. Vallitsevana hypoteesina on sen vuoksi ollut, että NO:n muodostumisella on merkitystä verenkiertojärjestelmän suojaamisessa kaasukuplien haitallisilta vaikutuksilta dekompression aikana.

Hapen osapaine yleensä nousee sukeltamisen aikana. Osoitimme äskettäin, että hyperoksisilla olosuhteilla ei ole vaikutusta typpioksidisyntaasin kykyyn kehittää typpimonoksidia ihmisen yksittäisissä endoteelisoluuissa. Kuitenkin, jotta entsyymi pystyisi toimimaan normaalisti, se on riippuvainen useista koentsyymeistä, erityisesti tetrahydrobiopteriinistä (BH4). Kyseinen entsyymi hapettuu helposti, ja hapettunut olomuoto ei tue NO-synteesiä. Mikäli ihmisen endoteelisolut altistetaan hyperoksisille olosuhteille (noin 3 x hapen osapaine merenpinnan tasolla), BH4-pitoisuus laskee keskimäärin 50 prosenttia. Hyperoksisille olosuhteille altistumisesta sukelluksen aikana saattaa sen vuoksi olla seurauksena laskenut BH4-pitoisuus, mikä puolestaan rajoittaa typpioksidisyntaasin kykyä kehittää typpimonoksidia ja mahdollisesti nostaa DCI:n riskiä. On erittäin tärkeää ottaa huomioon, että tulokset on saatu testiolosuhteissa, mutta mikäli mekanismi pystytään havainnollistamaan ja todentamaan elämällä (mieluiten ihmisillä) yksityiskohtaisesti, apukeinot alkavat vaikuttaa todennäköisiltä. Apua voitaisiin saada esimerkiksi hyperoksisen vaikutusten vastustamisesta suuremmin BH4-pitoisuuksin tai lisääntien, jotka vakauttavat kofaktorin alentuneen, aktiivisen muodon. Testiolosuhteissa on näytetty toteen, että C-vitamiinin kaltainen yksinkertainen antioksidantti pystyy auttamaan BH4-pitoisuuden ylläpitämisessä. Uusien tutkimustulosten myötä muut tekijät voivat kuitenkin osoittautua keskeisemmiksi.

**Myös lukuisia muita tekijöitä, esimerkiksi vibraatio ennen sukellusta, hapen esihengitys, "treenaussukellukset" ja saunassa käynti ennen sukellusta, on mainittu adaptoitumiskeinoina DCI:tä vastaan. Onko tällaisista väitteistä sovellettu mitään käytäntöön?**

**Balestra:** Mainitut adaptoitumistekniikat liittyvät suoraan tasaiseen sydämen sykkeeseen (sauna) tai

lisääntyneeseen lymfaattiseen aktiivisuuteen (vibraatio, hapen esihengitys). Joissakin tapauksissa hapen esihengityksestä oli ehtinyt kulua liian pitkä aika ennen varsinaista sukellusta, jotta siitä olisi voitu tehdä minkäänlaisia typen poistumiseen liittyviä päätelmiä. Kaikkien lueteltujen tekniikoiden ajatellaan liittyvän pikemminkin mikrotumien tasaiseen erottumiseen kuin typen poistumiseen.

**Bennett:** Kaikilla mainituilla keinoilla pyritään pienentämään DCI-riskiä adaptoitumisen keinoin kuplien muodostumista vastaan. Ainoa keino, jota sovelletaan yleisesti sukeltajiin, ovat ns. treenaussukellukset, jolloin sukeltajat, joilla on edessään haastava (syvälle tehtävä) sukellus, suorittavat sarjan sukelluksia, joista kukin tehdään edellistä syvemmälle sitä mukaa kuin aiottu syvimmälle tehtävä sukelluspäivä lähenee. Vaikka näyttöä todellisen adaptoitumisen puolesta tai sitä vastaan on vain vähän, treenaussukellusten hyödyllisyyden puolesta puhuu kuitenkin moni hyvä syy, kuten laitteisiin ja merioloihin totuttautuminen, laitteistojen tarkastus turvallisessa ympäristössä ja hyvien sukelluskäytäntöjen mieleen palauttaminen.

Eritoten Euroopassa on meneillään pyrkimyksiä arvioida eri adaptoitumisstrategioiden, mukaan lukien yllä mainittujen, roolia. Esimerkiksi Blatteau kollegoineen on raportoinut, että saunominen ennen sukellusta vähentää kuplien määrää - hän pohjaa väitteensä simuloituun, vapaaehtoisten tekemään sukellukseen. Toistaiseksi kaikki on pelkkää teoriaa, eikä tiedossani ole, että mitään tutkitusta olisi toteutettu käytännössä.

**Brubakk:** Käytännön kokemuksia ei ole tullut ilmi, mutta tiedot antavat olettaa, että tekniikoiden avulla saatettaisiin pystyä vähentämään kuplien muodostusta.

### ***Asiantuntijoina***

**Costantino Balestra**, Ph.D., on DAN Europan tutkimus- ja koulutusosaston varapuheenjohtaja, DAN Europan aluepäällikkö (Benelux ja Ranska) sekä EUBS:n varapuheenjohtaja (European Underwater and Baromedical Society). Lisäksi hänen johdossaan on ympäristöfysiikan, ikääntymisen ja tyofysiologian laboratorio Haute Ecole Paul-Henri Spaak -yliopistossa Belgian Brysselissä. Hänen tärkeimmät tutkimuksensa keskittyvät fysiologiaan ääriolosuhteissa sekä urheilutieteeseen.

**Michael Bennett**, M.D., FANZCA, ANZCA Cert DHM, on vanhempi asiantuntija Prince of Wales Hospitalissa ja ylipainelääketieteen dosentti University of New South Wales -yliopistossa Australian Sydneyssä. Hänellä on 17 vuoden kokemus sukellusvammojen etähoidosta eteläisellä Tyynellä valtamerellä, ja hän suoritti tohtorin tutkintonsa sukellus- ja ylipainelääketieteen evidensseihin perustuvalla tutkimuksellaan.

**Alf O. Brubakk**, M.D., on ympäristöfysiikan professori University of Science and Technologyssa Norjan Trondheimissa. Työuransa hän on tehnyt kardiologian and anesthesiologian parissa, ja hän on tutkinut dekompressiotautia yli 20 vuoden ajan. Hänen muita tutkimuskohteitaan ovat ympäristöfysiikan muut osat alueet, kuten kylmyyden vaikutukset sekä ulkoavaruus.

**Rune Djurhuus**, Ph.D., on biokemian ja toksikologian tutkimuskoordinaattori Underwater Interventionissa Norjan Bergenissä. Hänen tutkimuksensa keskittyy sukeltajien hengityskaasujen kemialliseen pilaantumiseen (ylipainetoksikologia) sekä solujen puolustusmekanismeihin dekompressiostressin aiheuttamien endoteelivaurioiden yhteydessä.