Mahdollisuudet laatia yksilöllisiä dekompressiosuunnitelmia

Miksi sukellusturvallisuuden tulevaisuus riippuu ihmisen fysiologiaan liittyvän arvoituksen ratkaisemisesta

Rajoittunut teknologia, toistettavissa olevan datan täydellinen puute ja toistettavan ja muokattavan algoritmin tarve ovat kaikki niitä tekijöitä, jotka estävät yksilöllisen dekompressiomallin laatimisen seuraavalle sukelluksellesi. Jos kuulostaa siltä, että vielä on paljon tehtävää ennen kuin tähän tavoitteeseen päästään, niin asia on juurikin näin.

Karu totuus on, että ylipainehappihoidon parhaimmat ja älykkäimmät asiantuntijat ovat uransa aikana saavuttaneet sellaisia tutkimustuloksia, joita ei voida soveltaa tosielämässä, vaikka nämä tulokset ovatkin olleet usein kiehtovia ja joskus suorastaan huikeita. Ne eivät myöskään ole yhteydessä mihinkään toistaiseksi tunnistettuun fysiologiseen tai biologiseen mitattavissa olevaan tekijään. Vahva todistusaineisto puhuu sen puolesta, että sukeltajantautiin (DCS) ovat syynä kehossa muodostuvat kuplat, jotka ovat seurausta ylikyllästyneestä liuenneesta kaasusta. Viimeaikaiset tiedot viittaavat kuitenkin siihen, että näiden kuplien määrä ei yksinään riitä ennustamaan sitä, tuleeko jollekulle sukeltajantaudin oireita[1].

Sukeltajantaudin *todennäköisimmän* syyn tunteminen ei ole riittävän vahva peruste dekompressioalgoritmin rakentamiselle. Ongelma on kuitenkin monimutkainen kaikilla rintamilla. Tutkijat ovat etsineet kymmeniä biometrisiä merkkiaineita toivoen voivansa yhdistää ne sukeltajantaudin oireisiin, mutta kukaan ei ole onnistunut tekemään tätä luotettavalla tavalla (ainakaan vielä). Näiden merkkiaineiden mittaaminen on vaikeaa laboratoriossa, ja useimmissa tapauksissa niiden tarkkailu on täysin mahdotonta sukelluksen aikana. Nykyisiä dekompressioalgoritmeja ei ole myöskään suunniteltu ottamaan huomioon mitään näistä tekijöistä.

Luopuminen nykyisistä todennäköisyyksiin perustuvista dekompressioalgoritmeista vaatii läpimurtoja sekä dekompressiomalleissa, fysiologisissa seurantatyökaluissa että myös dekompression fysiologian ymmärtämisessä.

Siirtyminen yksilöityihin dekompressioalgoritmeihin vaatii läpimurtoja dekompressiomallinnuksessa, fysiologisissa seurantatyökaluissa ja sukeltajantaudin ymmärtämisessä. Tämä on vaikea tehtävä millä tahansa mittapuulla mitattuna, mutta on kuitenkin ehdottomasti mahdollista, että yksi läpimurto muuttaisi täysin ymmärryksemme dekompressiomallinnuksesta. Juuri se tekee tästä tutkimuksesta niin jännittävän.

Alla pääset sukeltamaan syvemmälle siihen, mitä tällä hetkellä tiedämme yksilöllisistä sukeltajantaudin mallinnuksista, mitä meidän on tarpeen tietää ja mitä tutkimuksia kannattaa seurata.

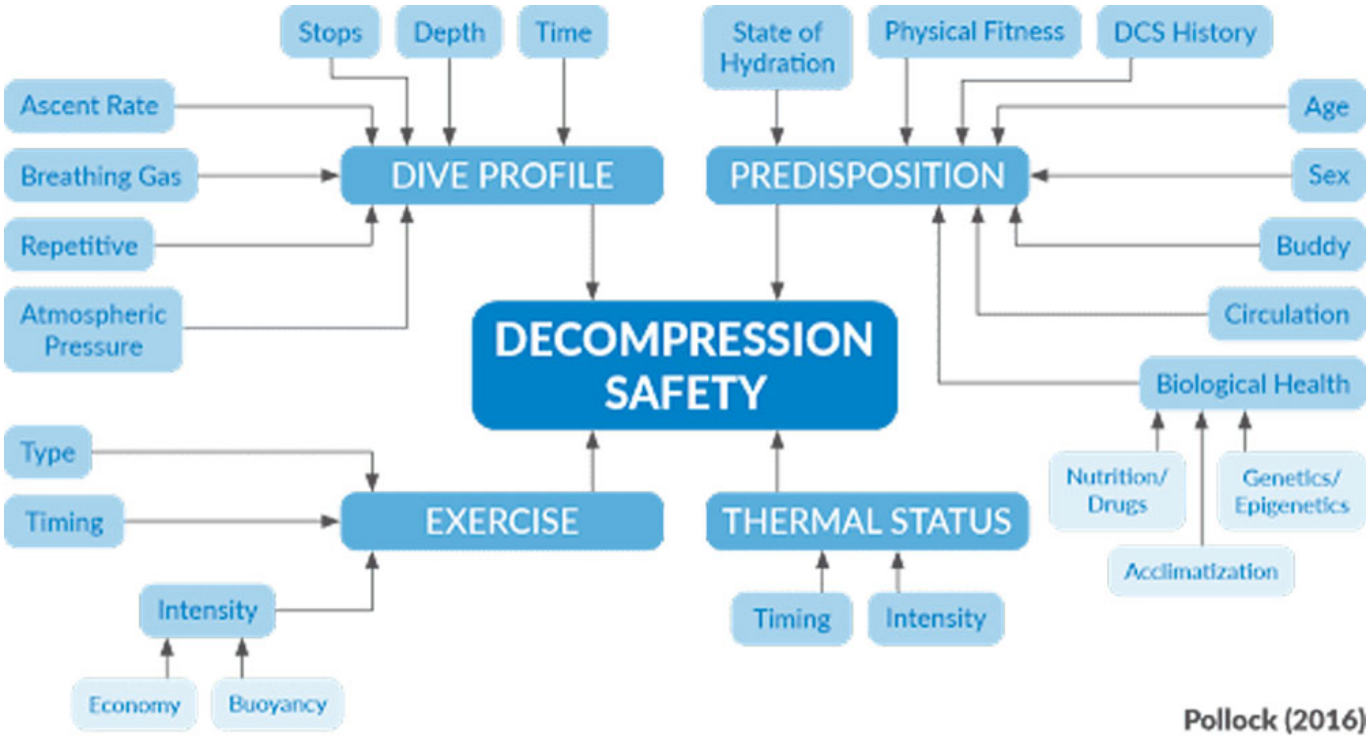
Miksi yksilöidyn dekompressiomallin luomista ei ole vielä ratkaistu?

Dekompressiomallinnuksen ongelmat alkavat aivan perustasolta eli siitä, mitä tiedämme sukeltajantaudista. *Uskomme*, että kuplat aiheuttavat sukeltajantaudin oireet, mutta vielä ei ole löytynyt sellaista vankkaa tietoa, jonka avulla voitaisiin osoittaa kuplamäärän tai niiden koon ja sukeltajantaudin välinen yhteys. Asiaa mutkistaa entisestään se, että on olemassa runsaasti tutkimuksia, jotka viittaavat siihen, että vammoja eivät välttämättä itse asiassa aiheuta kuplat, vaan kehon reaktio niihin[2]. Ilman ymmärrystä sukeltajantaudin taustalla olevasta vammoja aiheuttavasta mekanismista jopa parhaat dekompressioalgoritmimme muuttuvat löyhiksi riskiarvioiksi vuosikymmeniä vanhoissa tutkimuksissa. Tosiasiassa useimmat meistä sukeltavat edelleen sellaisen algoritmin avulla, joka perustuu yli sata vuotta vanhaan tietoon. Tämä tieto on saatu aiheuttamalla vuohille sukeltajantauti. Jos vuohet selvisivät sukelluksesta, niin *luultavasti* sinäkin selviät.

Nykyiset dekompressioalgoritmit ovat parhaimmillaankin alkeellisia, mutta ”hämmästyttävän kykenemättömiä arvioimaan monia monimutkaisia tekijöitä ja ajoituksia, jotka voivat vaikuttaa kaasun imeytymiseen, poistumiseen ja todelliseen riskiin”, sanoo dekompressiofysiologian asiantuntija ja filosofian tohtori Neal Pollock. Hän lisää, että dekompressioalgoritmit ovat hyödyllisiä ”lähtötason riskin arviointiin eli suuntaa antavan arvion saamiseksi”. Tämän lisäksi Pollock suosittelee sukeltajille algoritmien käyttöä perustanan, jonka pohjalta he voivat tehdä kokemukseen ja tutkimukseen perustuvia konservatiivisia muutoksia, vaikka väistämättä tähän liittyykin paljon oletuksia ja arvailua.

Tutkijoiden seuraavana haasteena on löytää mittari, jolla voidaan mitata sukeltajantaudin riskiä. Sen jälkeen tulisi löytää tekniset ratkaisut, jolla riskiä voidaan arvioida reaaliajassa. Dekompression yksilöinti edellyttää *jonkin* sukeltajan ominaisuuden mittaamista. Kyseessä voi olla esimerkiksi lämpötila, epigeneettiset merkit tai yksi kymmenistä muista mahdollisista fysiologisista tai biologisista markkereista. Nämä ovat kiehtovia tutkia, mutta niitä on vaikea ilmaista määrällisesti. Ne edustavat useimmille sukeltajille tämän pulman mielenkiintoisinta aluetta.

Dekompressioalgoritmin yksilöinti ja sukeltajantaudin riskin merkittävä alentaminen ei välttämättä ole mahdollista seuraavaan sukellukseesi mennessä. On kuitenkin olemassa todellinen ja vahva mahdollisuus sen suhteen, että jokin näistä meneillään olevista tutkimuksista johtaa täydelliseen muutokseen sukeltajien riskinhallinnassa suhteellisen pian lähitulevaisuudessa.



Tulevaisuuteen vaikuttavia tekijöitä

Algoritmien ja uusien seurantatyökalujen kehittäminen on hauskaa. Todella jännittävä osa tätä tutkimustyötä on kuitenkin tutkia sellaisia sukeltajantaudin uusia merkkiaineita, jotka voisivat korreloida sukeltajantaudin riskin kanssa tai jotka voisivat jopa johtaa sukeltajantaudin mekanismin todelliseen ymmärtämiseen. Näitä on liian monta laskettavaksi, ja on mahdotonta tietää, mitkä (jos mitkään) antavat lopulta tietoa siitä, miksi kehossamme muodostuu kuplia. Mahdollinen läpimurto tuntuu kuitenkin olevan houkuttelevan lähellä joillakin alueilla. Alla on esitetty kaksi osa-aluetta, joita olisi hyvä seurata tarkemminkin tulevina vuosina.

Mikrohiukkaset ja tulehdusvaste

Yhä useammat tutkimukset viittaavat siihen, että osa sukeltajantaudin aiheuttamista haitoista on seurausta kuplien muodostumisesta johtuvista mikrohiukkasista ja sekä kuplien että mikrohiukkasten aiheuttamista elimistön tulehdusvasteista. Syynä haittoihin eivät siis olisi ne mekaaniset vauriot, jotka dekompression aikana kehittynyt laskimokaasuembolia (VGE) aiheuttaa.[13,14] Mikrohiukkasten ja tulehdusvasteen mahdolliset mekanismit dekompressioon liittyen sekä niiden vaikutukset sukeltajantaudin

riskiin ovat kuitenkin jonkin verran monimutkainen aihe, ja tästä aiheesta voisikin laatia oman artikkelinsa. Erinomainen yhteenveto tästä aiheesta löytyy teoksesta *Decompression Illness: A Comprehensive Overview*, joka on alan asiantuntijan tohtori Simon Mitchellin vuonna 2024 julkaisema yhteenveto.

Mikrohiukkasia ja tulehdussytokiineja, joihin nämä teoriat keskittyvät, voidaan mitata – mutta vain laboratoriossa eikä reaaliajassa. Tällä alueella on tehtävä lisää työtä oksidatiivisen stressin, dekompression ja verenkierrossa olevien mikrohiukkasten välisen suhteen määrittämiseksi, ennen kuin merkityksellistä edistystä voidaan saavuttaa. Näiden kolmen tekijän välinen vuorovaikutus ja jo olemassa oleva tieto luovat yhdessä aiheen, johon on kiinnitettävä erityistä huomiota tulevina vuosina.

Kupliin liittyvät tutkimukset

Vuosikymmenten mittainen vihjaileva (mutta ei ratkaiseva) tutkimustyö on yhdistänyt kuplat pysyvästi sukeltajantautiin, mutta Yhdysvaltain laivaston tutkimusyksikön (NEDU) ja Aucklandin yliopiston äskettäinen tutkimus saattaa lyödä viimeisen naulan siihen arkkuun, joka yhdistää VGE-kuormituksen sukeltajantaudin oireisiin. Tutkijoilla oli tutkimusryhmässään 151 sukeltajaa, jotka tekivät 693 sukellusta. Tutkijat suorittivat kuplatutkimuksia jokaisen sukelluksen jälkeen. Tuloksena oli ainutlaatuisen suuri aineisto nimenomaan tätä tutkimusaihetta koskien. Aineistosta voidaan löytää vahvoja viitteitä siitä, että sukeltajien kuplamäärän vaihtelu on niin suurta, ettei kuplamääriä voida käyttää sukeltajien välisten dekompressioon liittyvien käytäntöjen arviointiin. Samoin aineiston perusteella voidaan sanoa, että *yksittäiset sukeltajat* muodostivat *identtisillä sukelluksilla* kuplia niin eri tahtiin, että VGE-luokitus ei välttämättä ollenkaan merkityksellisesti korreloi sukeltajantaudin kanssa.

Tämä on hieman harmillista sukellustutkimuksessa tällä hetkellä vallitsevan tilanteen kannalta. Se ei kuitenkaan tarkoita kupliin liittyvien tutkimusten loppua. DANin tutkijat ovat äskettäin saattaneet päätökseen nelivuotisen tiedonkeruuprojektin, jonka tavoitteena oli ilmaista määrällisesti VGE-

kuormituksen vaihtelua ja tarkastella eri tekijöitä, kuten sydämen sykkeen vaihteluväliä, sydämen minuuttitilavuutta, verenpainetta, sylkinäytteitä tulehdusmerkkiaineiden varalta ja verinäytteitä mikrohiukkasten varalta. Tiedon analysointi on vasta alkanut, mutta lyhyen aikavälin analyysi keskittyy sukeltajantaudin riskitekijöiden ja kuplien määrän väliseen yhteyteen. Tutkimuksen kohderyhmä on säilytetty seurantatutkimusten helpottamiseksi.

Tulevaisuudennäkymät

Vaikka iso osa tästä tutkimuksesta perustuu vielä todistamattomiin sukeltajantaudin mekanismeihin ja toistaiseksi kehittymättömään teknologiaan ja biomarkkereihin, on paljon syitä olla optimistinen. On tarpeen lieventää tätä optimismia tiedolla, että voi kestää vuosia ennen kuin on edes olemassa sellaista teknologiaa, jonka avulla voidaan mitata mielekkäällä tavalla joitakin näistä teoreettisista markkereista. On kuitenkin vaikea olla innostumatta alan mahdollisuuksien valtavasta määrästä.

Yksilöllinen dekompressio ei ehkä ole vielä todellisuutta, mutta me kykenemme tunnistamaan ne esteet, jotka ovat vielä sen saavuttamisen tiellä. Jotkut loistavat tutkijat ja sukeltajat omistavat elämänsä tämän mahdollistamiselle. Oletko kiinnostunut olemaan mukana edistämässä tätä asiaa? Voit lukea lisää meneillään olevista tutkimusprojekteista ja ilmoittautua vapaaehtoiseksi avustajaksi osoitteessa https://www.daneurope.org/fi/Lääketieteellinen-tutkimus

Laajempi versio artikkelista on julkaistu *InDEPTH*-lehdessä.

Lähdeviitteet

1. Doolette, D; Murphy, G (2023) *Within-diver variability in venous gas emboli (VGE) following repeated dives.*
2. Mitchell, Simon J (2024) *Decompression Illness: A comprehensive review*. PMID: 38537300

Lisätietoa

- Cialoni, D; Pieri, M; Balestra, C; Marroni, A (2017) *Dive Risk Factors, Gas Bubble Formation, and Decompression Illness in Recreational SCUBA Diving: Analysis of DAN Europe DSL Data Base*

Tietoa artikkelin kirjoittajasta

Reilly Fogarty on Uudessa-Englannissa toimiva rebreather-kouluttaja ja Yhdysvaltain rannikkovartioston (USCG) lisensoitu kapteeni. Hänen ammatilliseen taustaansa sisältyy kirurgiaa samoin kuin erikoistumista lääketieteellisten hätätilanteiden hoitamiseen erämaaoloissa. Fogarty on osallistunut myös ylipainehappihoitoa koskevaan tutkimustyöhön ja ensiapuohjelmien suunnitteluun ja toteuttamiseen. Samoin hän on ollut mukana toiminnassa, jossa tavoitteena on ollut vähentää sukeltamiseen liittyviä riskejä laaja-alaisesti. Hän on aikaisemmin työskennellyt Duke Centerin ylipaineläätketieteen ja ympäristöfysiologian keskuksella (Duke Center for Hyperbaric Medicine and Environmental Physiology). Kyse on ollut tutkimustyöstä, jossa on tutkittu ääriolosuhteiden vaikutusta ihmisen fysiologiaan. Hän on työskennellyt myös Divers Alert Network -järjestölle riskienhallintaryhmän johtajana.

Kääntäjä: Marianna Rantanen