Lentäminen sukeltamisen jälkeen: Vihdoinkin tutkittua tietoa (eikä vain teoriaa)

Flying after Diving -projekti on DAN Europen sukellusturvallisuuslaboratorion (DAN Europe`s Diving Safety Laboratory, DSL) tutkimusprojekti. Projektin ensimmäisessä vaiheessa kootun tiedon analysointityö on nyt saatu päätökseen. Tutkimustulokset ovat siinä määrin yllättäviä, että hyvin arvostettu tieteellinen aikakauslehti Aviation Space and Enviromental Medicine on halunnut julkaista ne.

Erilaisia teorioita

Olemme nähneet, mitä on ennen sukeltamista, mitä tapahtuu sen aikana ja nyt käsittelemme sitä, mitä tapahtuu sen jälkeen. DANin Flying bubbles -projekti yhdistää teorian ja tutkimustiedon lentämisestä sukeltamisen jälkeen.

Ennen tätä projektia on ollut erilaisia suosituksia siitä, kuinka pitkään on hyvä odottaa sukelluksen jälkeen ennen lentämistä, jotta vältyttäisiin dekompressioon liittyviltä ongelmilta. Näitä ongelmia voi syntyä paineen laskiessa lentokoneen matkustamossa. Kaikki nämä suositukset ovat perustuneet kuitenkin vain teoriaan. DAN määritteli tämän odotusajan keston tutkimalla todellisia sukeltajantautitapauksia. Muut puolestaan ajattelivat, että "tähän mennessä ei ole vielä ollut paljon ongelmia, joten jatketaan samaan tapaan kuin ennenkin".

Niillä, jotka ovat käyttäneet vanhoja U.S. Navy -taulukoita, on luultavasti hämäriä muistikuvia siitä, että heidät sijoitettiin kertausryhmään D ennen lentämistä. Joissakin tapauksissa oli mahdollista lentää jopa välittömästi. Myöhemmin lisättiin kiinteät odotusajat (24 tai 48 tuntia) sen mukaan, oliko viimeinen sukellus ollut yksittäinen vai uusintasukellus ja vaatiko sukellus etappipysähdyksiä vai ei. Jopa ammatti- ja sotilassukeltajien keskuudessa odotusajat ennen lentämistä ovat vaihdelleet 2 tunnista 24 tuntiin.

Vuonna 1989 Undersea and Hyberbaric Medical Society järjesti ensimmäisen kokouksen Flying after Diving -teemasta. Työryhmän julkaisemat ohjeet eivät DANin mielestä olleet kovinkaan tiukkoja, ja niiden tarkoituksena oli nimenomaan sukellusturvallisuuden parantaminen. Monet sukelluskeskusten omistajat kuitenkin vastustivat näitä rajoituksia ja olivat sitä mieltä, että tällaiset toimenpiteet haittaisivat heidän liiketoimintaansa saarilla.

Vuodesta 1992 vuoteen 1999 DAN suoritti kokeita Duken yliopiston lääketieteellisen keskuksen F. G. Hall -laboratoriossa. Kokeiden aikana tehtiin havaintoja yli 500 henkilöstä 800 lentosimulaatiossa. Nämä "lennot" olivat nimenomaan jäljitelmiä, koska ne tapahtuivat painekammiossa. DAN tutki lisäksi sitä, mikä yhteys on sukeltajantauti riskin ja ennen lentoa olevan pinta-ajan välillä. Tutkimus vertasi edeltäneitä tapahtumia kahdessa ryhmässä, joista toinen sai sukeltajantaudin ja toinen ei.

Monilla lääketieteen aloilla laboratoriotutkimuksilla on saatu, ja voidaan edelleenkin saada, sellaisia tuloksia, jotka eroavat todellisessa elämässä saaduista kokemuksista. Esimerkkinä tämänkaltaisesta ristiriidasta voi lukea Alert Diverin julkaisemassa artikkelissa (European Edition, 3/2006). Tohtori R. Vann toteaa artikkelissa näin: "Toistuvien sukellusten vaikutusta siihen, miten lentäminen tai korkeissa paikoissa oleskeleminen saa elimistön reagoimaan sukeltamista seuraavina päivinä, ei voida tutkia laboratoriossa (painekammiossa).

Vuonna 2011 tohtori Danilo Cialoni ja Massimo Pieri palasivat tutkimusmatkalta Malediiveilta. He työskentelevät tutkimusosastollamme (Diving Safety Laboratory). Heille syntyi kiehtova ajatus uudesta tutkimusprojektista, joka olisi osa DAN Europe Researchin, erityisesti professori Alessandro Marronin ja professori Constantino Balestran tutkimustatyötä. Tutkimusprojekti kuulosti haastavalta, sillä ajatuksena oli tehdä sydämen kaikututkimuksia heti sukelluksen jälkeisen lennon aikana.

Sydämen kaikukuvaus lennon aikana

Tähän tutkimushaasteeseen vastaaminen ei kuitenkaan ollut helppoa, vaan päinvastoin se vaikutti lähes mahdottomalta tehtävältä. Erityisen haastavaa oli selviytyä kaikesta byrokratiasta. DANin kahdella yhteistyökumppanilla, Malediiveille lomamatkoja järjestävällä Albatros Top Boat -yrityksellä ja Neos Air -lentoyhtiöllä, oli tässä tehtävässä merkittävä rooli. DAN Europen tutkijoiden ja teknisten asiantuntijoiden täytyi viettää monta yöllistä tuntia Malpensan lentokentällä Milanossa saadakseen EMI-toimiluvan (ElectroMagnetic Interference, elektromagneettinen häiriö). Tämä lupa on välttämätön silloin kun tehdään kaikukuvauksia lennon aikana. Lopulta kaikista haasteista kuitenkin selvittiin, ja päästiin näkemään, mitä sukeltajan elimistössä ihan oikeasti tapahtuu lennon aikana.

Jo heti ensimmäisen Malediiveilla vietetyn tutkimusviikon aikana saatiin tallennettua yli 4 000 tiedostoa.

Sydämen kaikututkimus-projekti muodostui neljästä eri tarkkailuvaiheesta. Ensimmäinen vaihe oli lentokoneessa menomatkalla, kun sukeltajan viimeisestä sukelluksesta oli yli 48 tuntia. Näillä ensimmäisillä testeillä saatiin sellaista hyödyllistä tietoa, jossa ei vielä näy ylipaineelle altistumisen vaikutuksia. Tämän alkuvaiheen tiedon avulla voitiin myös määrittää, mitä lääketieteellisessä ammattikielessä tarkoitetaan, kun käytetään ilmaisua "kaikukardiografinen ikkuna" (“echocardiographic window"). Matkustamon paineen tarkka mittaaminen joka 15. minuutti oli mahdollista käyttämällä Dive Systemin "iDive Pro" -sukellustietokonetta. Koneen valmistaja on DAN Europen ja DSL:n

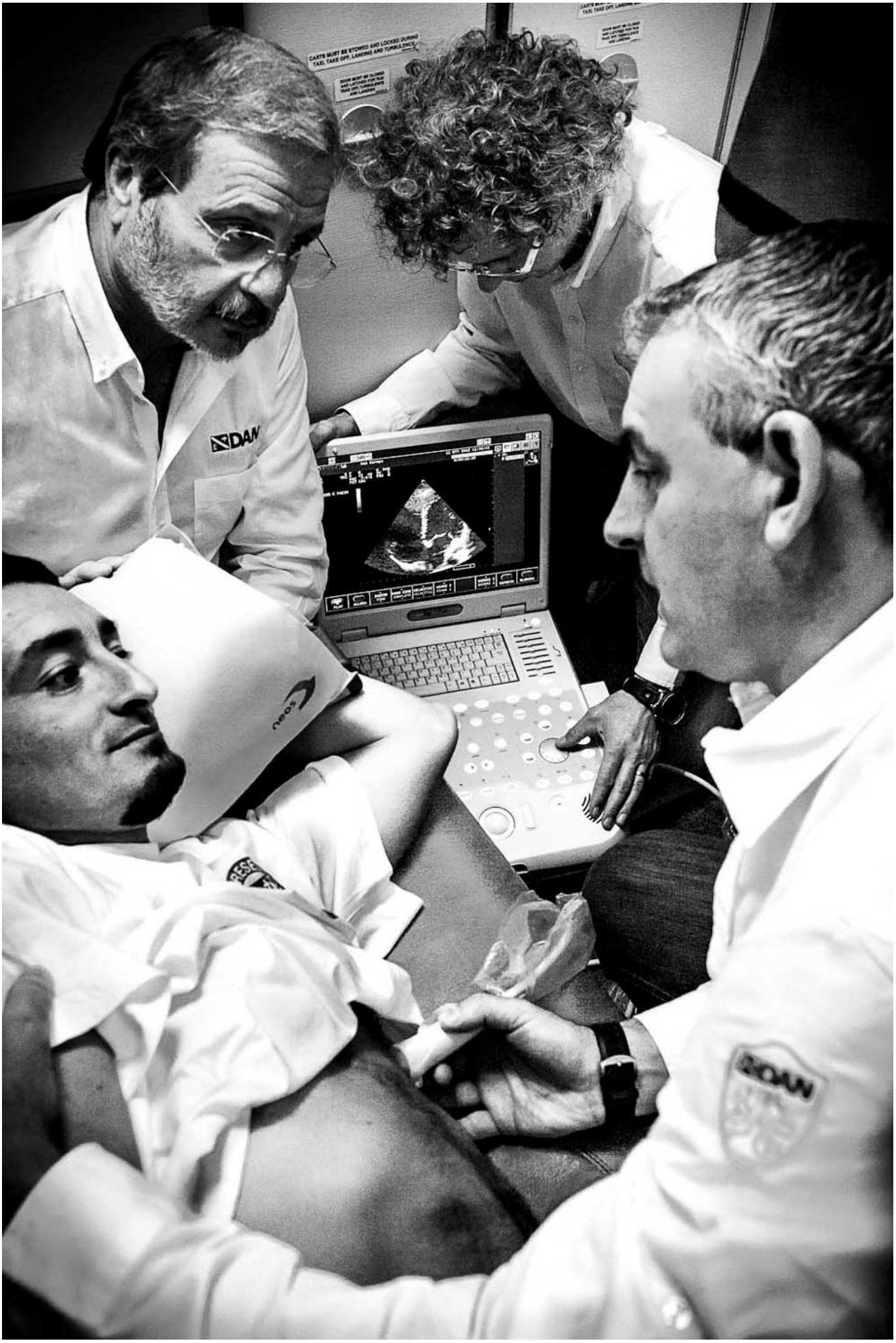
yhteistyökumppani.

Toisessa vaiheessa sydämen kaikututkimus sekä muut testit suoritettiin jokaisen sukelluksen jälkeen yli viikon kestävällä risteilyllä. Tutkimustyö tuli osaksi normaalia päivärytmiä kauniilla Duke of York -risteilyaluksella, jossa toiminta ei muuten poikennut tavallisista lomaristeilyistä Malediiveilla. Tutkimustyön rutiinit olivat kuitenkin koko ajan läsnä. Aina kun sukeltaja nousi pintaan, hänen täytyi mennä kylpyläosastolle, joka on tilapäisesti muutettu lääketieteelliseksi tutkimus- ja hoitotilaksi. Siellä hänelle tehtiin monia kokeita ja tutkimuksia.

Sukellusprofiilit tarkastettiin ja ladattiin tietokoneelle kokeita varten. Kaikki sukellukset olivat suoranoususukelluksia. Pintaan nousu tapahtui oikealla nopeudella, ja noin viidessä metrissä pidettiin aina kolmen minuutin turvapysähdys. Kenelläkään sukeltajista ei ollut koskaan ollut sukellussairauksia.

Kolmas tarkkailuvaihe tapahtui lentokentällä, jossa sydämen kaikukuvaukset tehtiin sukeltajille juuri ennen koneeseen nousua niin, että pinnalla vietetty aika oli ollut 24 tuntia.

Viimeisessä vaiheessa paluumatkalla lentokoneessa kaikille sukeltajille tehtiin sydämen kaikututkimus ja doppler-tutkimus täsmälleen 30, 60 ja 90 minuutin kuluttua siitä, kun lentokone oli saavuttanut matkalentokorkeutensa.


CARTS MUST BE STOWED AND LOCKED DURING
TAXI, TAKE OFF, LANDING AND TURBULENCE
DAN

Tietojen analysointi

Tutkimusprojekti esiteltiin vuonna 2013 EUBS:n (European Underwater and Baromedical Society) konferenssissa, jossa se sai Zetterström-palkinnon parhaasta tieteellisestä posterista.

Osa saadusta tutkimustiedosta on helposti selitettävissä. Esimerkiksi menomatkalla tehdyissä tutkimuksissa ei kuplia havaittu yhdelläkään tutkimukseen osallistuneista sukeltajista. Vaikka kyseinen tulos vaikuttaakin itsestään selvältä, myös tämän testin tekeminen oli välttämätöntä. Sen avulla voidaan osoittaa, että jos kuplia löydettäisiin sukeltajilta paluulennolla, ne eivät johdu silloin itse lentämisestä, vaan syynä on sukeltamisen ja myöhemmin lennolla tapahtuvan paineen alenemisen yhteisvaikutus.

Osa tutkimustuloksista sen sijaan yllätti. Aiemmin on esimerkiksi yleisesti uskottu, että pitkällä lennolla riskit ovat suuremmat kuin keskipituisilla lennoilla. Asia on itse asiassa aivan päinvastoin. Todennäköisimmin tämä johtuu matkustamossa olevasta paineesta, sillä lennettäessä Malediiveille matkustamon paine vastaa noin 1 500 – 1 800 metriä merenpinnan yläpuolella lentämistä. Kun taas lennettäessä johonkin lähempänä sijaitsevaan kohteeseen, matkustamon paine voi vastata 2 400 metrin korkeutta merenpinnasta (alin hyväksytty paine).

Kun sukeltajat testattiin lentokentällä ennen paluumatkaa heillä ei havaittu kuplia. Tämän perusteella voidaan arvioida, että 24 tunnin pinta-aika sukelluksen jälkeen on riittävä silloin kun pysytään merenpinnan tasolla. Tällöin kuplia ei muodostu.

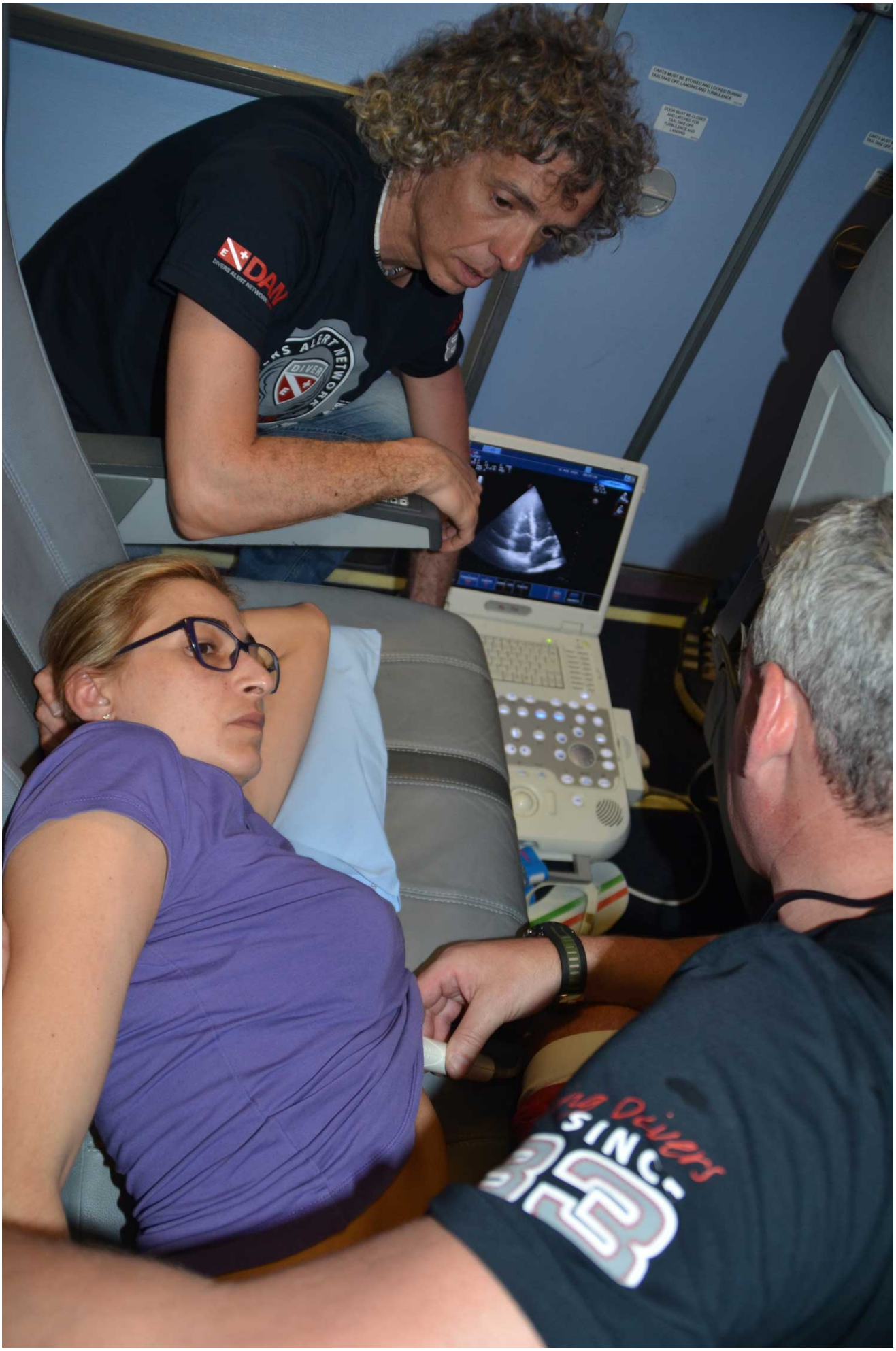
Ilmeisestikin joillakin sukeltajilla kuplia muodostuu herkemmin kuin toisilla, myös silloin kun sukellusprofiilit ovat hyvin samankaltaisia. Tutkimuskohteena olleet henkilöt voitiin jakaa kolmeen eri ryhmää kokeiden perusteella, joita suoritettiin viikon ajan risteilyaluksella. Yhden ryhmän muodostivat ne, joiden elimistössä ei muodostunut kuplia, toisen ryhmän ne, joilla kuplia esiintyi silloin tällöin ja kolmannessa ryhmässä olivat "kupla-alttiit", joilla kuplia esiintyi jokaisen sukelluksen jälkeen. Sukellusprofiileilla oli vain vähän merkitystä luokittelussa. (On kuitenkin selvää, että vaativamman sukelluksen jälkeen kuplia esiintyy enemmän kuin helpomman).

Lennon aikainen analyysi osoitti, että suurimmalla osalla sukeltajista ei kuplia kehity paluulennon aikana silloin kun viimeisestä sukelluksesta on kulunut vähintään 24 tuntia. "Kupla-altteilla" sukeltajilla näitä kuitenkin muodostui. Näin ollen on suositeltavaa, että tähän ryhmään kuuluvat pidentävät pinta-aikojaan ennen lentoa. Tutkimusviikon aikana kaksi kokeisiin osallistunutta henkilöä osoittautui oikeiksi superkuplijoiksi. Heitä neuvottiin jättämään viimeinen sukellus väliin, jolloin heille jäi pinta-aikaa 36 tuntia ennen lentoa. Merkittävää on, ettei kummallekaan sukeltajalle muodostunut kuplia lennon aikana. Niille, joiden elimistössä kehittyy helposti kuplia, sopiva pinta-aika on yli 24 tuntia. Vaihtoehtoisesti DANin tutkijat ehdottavat normobarisen hapen hengittämistä ennaltaehkäisevänä toimenpiteenä.

Suurimmat kuplamäärät voitiin havaita 30 minuutin kuluttua siitä kun oli saavutettu matkalentokorkeus. Sen jälkeen määrät vähenivät 60 minuutin ja 90 minuutin välisellä ajanjaksolla, periaatteessa samalla tavalla kuin noustaessa pintaan sukelluksen jälkeen. Matkustamon paineen aleneminen vaikuttaa samoin kuin pintaan nousu, ja vaikutukset elimistössä ovat samanlaiset. Kun aikaa kuluu tässä tietyssä lentokorkeudessa, elimistössä oleva inertin kaasun määrä vähenee, ja kuplien määräkin laskee. Tälle ilmiölle on olemassa myös toinen mahdollinen selitys: veressä on jo valmiiksi hyvin pieniä kuplia, mutta ne ovat niin pieniä, ettei niitä voida havaita kaikukuvauksella. Paineen aleneminen voi kasvattaa niitä ja tehdä niistä näkyvämpiä.

Mikä sitten on näiden tutkimustulosten merkitys sukeltajille tulevaisuudessa? Professori Alessandro Marroni ilmaisee asian näin: "Me olemme suuntaamassa kulkumme kohti tulevaisuutta, jossa yksilöllinen

osatekijä voi vaikuttaa matemaattiseen malliin mahdollistaen näin tutkimustulosten soveltamista käytäntöön sukellusturvallisuuden parantamiseksi. Tähän asti olemme tutkineet ihmisen elimistöä soveltamalla matematiikkaa ja nykyisin käytössä olevia algoritmejä. Nyt on kuitenkin alkamassa uusi, kiehtova aika, jolloin on mahdollista sisällyttää yksinkertaisia fysiologisia muuttujia matemaattisiin malleihin. Silloin nämä algoritmit soveltuvat paremmin kuvaamaan elimistömme toimintaa. Tulevaisuus on edessämme. DAN Europe on päättänyt sukeltajien avustamana tehdä siitä mahdollisimman hyvän kaikille sukeltamisen parissa toimiville. Haluamme lisätä yleistä tietämystä nykyisistä ja tulevista sukellustieteen edistysaskelista.


DAN
DIVERS ALERT NETWORK
DIVER
Divers
SINCE