

Muista hengittää

Kysymys

Yksi sukeltajille vedessä pidettävillä oppitunneilla opetettavista peruseriaa-asteista on se, että hengitystä ei saa koskaan pidättää, koska tällöin vaarana on keuhkojen vaurioituminen johtuen paineistetun kaasun laajenemisesta nousun aikana. Oppilaille kerrotaan myös, että kaikkein vaarallisin vaihe nousussa on juuri vähän ennen pinnelle tuloa. Mistä tämä johtuu? Millä tavoin laajeneva kaasun oikeastaan vahingoittaa keuhkoja? Voivatko ne todellisuudessa repeytyä? Keuhkojahan ympäröi nesteen täyttämä keuhkopussi, joten missä laajeneminen tarkalleen ottaen tapahtuu? Onko keuhkon, keuhkopussin ja muun elimistön välillä mahdollisesti tyhjää tilaa? Mikä saa aikaan sen, että viimeinen osuus noususta on vaarallisempi kuin samanpituinen nousu syvemmällä? Eikö ympäröivä paine muutu yhtä paljon siirryttäessä 60 jalan (noin 18 metrin) syvyydestä 30 jalan (noin 9 metrin) syvyyteen kuin siirryttäessä 30 jalan syvyydestä pintaan?

Vastaus

Keuhkolaajentumavauriot voivat olla kaikkein vaarallisimpia ja dramaattisimpia laitesukelluksessa tapahtuvista onnettomuuksista. Ne ovat tavallisesti seurausta siitä, että keuhkoihin tulee liikaa ilmaa johtuen patologisesta ilman imeytymisestä keuhkoihin (keuhkosairaus) tai hengityksen pidättämisestä nousun aikana. Keuhkojen anatomian hyvä tuntemus on olennaista pyrittäessä välttämään sukeltamiseen liittyviä riskejä. Pääkeuhkoputket jakautuvat pienemmiksi ilmatiehyeiksi, jotka haarautuvat edelleen vielä kapeammiksi hengitystiehyeiksi, jotka puolestaan päättyvät keuhkorakkulasäkkeihin. Keuhkorakkulat ovat tärkein toimintayksikkö hengitysjärjestelmässä, sillä kaasujen vaihto tapahtuu niissä. Näitä hentoja ilmasäkkejä ympäröi todella ohut kalvo, jossa kerroksen paksuus on vain yhdestä kahteen solua. Pienten hiussuonten verkosto ympäröi keuhkorakkulasäkkejä. Kun keuhkomme ovat altistettuina ilmanpaineelle meressä, ne pysyvät tasapainotilassa, kun hengitämme sisään ja ulos. Vähäisiä paineen vaihteluja ilmenee, kun korkeutemme muuttuu, mutta hengitettäessä paineen tasaaminen keuhkojen sisä- ja ulkopuolella on kuitenkin passiivinen ja huomaamaton tapahtuma. Laskeuduttaessa veteen kaikki elimistön kaasua sisältävät tilat pyrkivät kutistumaan, koska elimistöä ympäröivä paine kasvaa. Esimerkiksi hengitystään pidättävän sukeltajan keuhkojen tilavuus pienenee laskeuduttaessa vedessä syvemmälle. Koska paineilmalaitteiden regulaattorit vapauttavat hengitettävää kaasua sukeltajaa ympäröivän paineen mukaan, keuhkoihin tulee suurempia pitoisuuksia hengitettävää kaasua, niin että estetään tilavuuden pieneneminen. Muutoin keuhkojen tilavuus pyrkii asteittain kasvamaan, kunnes keuhkorakkuloiden joustavuusraja on ylitetty, ja keuhkot vaurioituvat. Tämä pakottaa kaasun yhteen seuraavista kolmesta elimistön osasta:

1. rintaontelon sisällä olevaan keuhkopussionteloon, jolloin syntyy ilmarinta eli pneumothorax;
2. varsinaiseen keuhkokudokseen (solujen väliseen tilaan), josta se voi kulkeutua sydäntä ympäröivälle alueelle tai kaulan ja kurkupään kudoksiin (välirikarsinan emfyseema);
3. vereen.

Kun kaasua pääsee vereen (ilmaembolia), kaasukuplat voivat kulkeutua keuhkojen hiussuonista keuhkolaskimoiden kautta sydämen vasemmalle puolelle ja sieltä kaulavaltimoon tai basilaarivaltimoon (aivoihin liittyvä ilmaembolia). Vaikka tämä selitys on ymmärrettävä, se ei kuitenkaan ole täysin riittävä. Koska keuhkokudos on erittäin mukautuvaa, voisi olettaa, että solujen välinen tila keuhkoissa sekä sen

suonet olisivat alisteisia samalle paineen lisäykselle kuin keuhkorakkulat. Suonten voisi olettaa täten vaurioituvan myös ja näin estäen kaasun pääsyn niihin. Luultavasti kaasu kulkeutuu verisuoniin keuhkojen "nurkista", esimerkiksi keuhkojen ja välikarsinan välistä, missä paine-erot voivat aiheuttaa häiriötä (repeämistä), jolloin ylimääräinen keuhkorakkuloiden kaasu pääsee suoniin. On tärkeää huomata, että hengityksen pidättäminen noustaessa niinkin matalalta kuin neljän jalan eli 1,2 metrin syvyydestä merivedessä voi jo aiheuttaa keuhkorakkulasäkkien repeämistä. Tästä seuraa keuhkorepeämä ja yksi edellämaituista kolmesta vaaratilanteesta. Boylen laki määrittelee kaasun tilavuuden ja ulkoisen paineen suhteen tietylle kaasumäärälle. Irlantilaisen fyysikko-kemisti Robert Boylen oivallus tarkoittaa pohjimmiltaan sitä, että lämpötilan ja massan pysyessä muuttumattomina kaasun tilavuus on kääntäen verrannollinen kaasuun kohdistuvaan paineeseen. Kun paine kaksinkertaistuu, tilavuus pienenee puoleen alkuperäisestä tilavuudesta. Vastaavasti paineen pienentyessä puolella tilavuus kaksinkertaistuu.

Sukeltajan syvyyden ollessa 15 jalkaa/4,6 metriä meressä kokonaispaine hänen kehoonsa on 1,5 atm (noin 150 kPa). Maan pinnalla on 1 atmosfäärin eli 1 normaalin ilmakehän paine, johon lisätään vesimassan paine 0,5 atm. Äkillinen nousu pintaan aiheuttaisi näin ollen sen, että paine pienenesi 30 prosenttia ja joustavasta rintakehästä johtuen tilavuus lisääntyisi 50 prosentilla. Tämä saattaa johtaa keuhkovaurioon. Todelliset tilavuuden muutokset voivat olla vähäisempiä, koska ympäröivä rintakehä vaikuttaa jäykistävästi keuhkoihin ja suojaa niitä. Jos sama muutos pystysuunnassa kuitenkin tapahtuu 66 jalan eli 20 metrin syvyydestä, 0,5 atmosfäärin muutos syvyydessä aiheuttaisi sen, että paine pienenesi vain 16 prosenttia ja keuhkojen tilavuus lisääntyisi 20 prosenttia. Tällöin keuhkovaurion todennäköisyys on pienempi. Boylen laki siis selittää sen, miksi äkilliset syvyyden muutokset matalassa vedessä voivat olla paljon vaarallisempia kuin vastaavat syvyyden muutokset syvässä vedessä.