Sukeltamassa USS Barometrillä

Sukeltaja Shayne Pemberton Richardsonista, Texasista, oli puuhastelemassa kilpikonna-altaallaan. Hän täytti purkin vedellä, nosti suljetun pään lammen pinnan yläpuolella ja kala ui ylös purkkiin. Se sai hänet ajattelemaan. Mitä, jos purkki olisi läpimitaltaan kolmemetrinen, 18 metriä pitkä ja se täytettäisiin merivedellä?
Olettaen, että avoin pää olisi veden alla ja suljettu pää merenpinnan yläpuolella. Mikä olisi paine purkin sisällä merenpinnan tasolla? Mitä tapahtuisi, jos sukeltaja uisi ylös purkiin?

18 metriä korkea purkki on kuin elohopeabarometri, jolla mitataan ilmakehän painetta. Todellinen painemittari on läpimitaltaan n. 6,5mm lasiputki, jonka avoin alapää käännetään pieneen elohopealätäkköön (ks. Kuva 1).
Elohopea tippuu suljetusta yläosasta noin tuuman verran ja jää “roikkumaan” noin 76 senttiä elohopea-altaan yläpuolelle.
Pilarin pituus on painetta vastaava – ilmakehän paine tai barometrinen paine – 14,7 paunaa neliötuumalle (psi) eli 1 ilmahehä (ata).* Mikäli tulee myrsky tai painemittari viedään vuoriston yli (kuten “luonnonfilosofit” 1600-luvulla tekivät), putoaa elohopeapatsaan korkeus, koska ilmanpaine putoaa.

Elohopeapatsas nousee altaan yläpuolelle, koska pinnan ilmanpaine työntää sitä ylös putkeen. Suljetun pään “tyhjä” tila on toisiasiassa täynnä elohopeaa.
Voit havainnollistaa tämän tekemällä painemittarin käyttämällä merivettä elohopean sijaan (välttääksesi fyysisen kontaktin myrkylliseen elohopeaan). Mikäli merivedellä täytetyn putken suljettu pää nostetaan asteittain merenpinnan yläpuolelle, säilyy putki kokonaan täynnä, kunnes vesi saavuttaa 10 metrin korkeuden. Vaikka putkea nostettaisiin korkeammalle, jäisi vedenpinta 10:een metriin riippumatta siitä, kuinka korkealle putkea nostettaisiin. Mikäli putki olisi riittävän iso, jotta siinä voisi sukeltaa, huomaisi sukeltaja paineen pienenevän hänen noustessaan.

Tämä toimii täsmälleen samalla tavoin kuin elohopeapainemittari, paitsi että neste on vettä. Itseasiassa myös makean veden painemittareita on tehty, mutta sen sijaan, että ne olisivat 76 senttiä korkeita ne ovat 11 metriä korkeita – 11 metriä (34 jalkaa) makeaa vettä = 1:n ilmakehän paine = 76 senttiä (30 tuumaa) elohopeaa = 10 metriä (33 jalkaa) merivettä. Tyhjä ilmatila patsaan päällä on itse asiassa vesihöyryä, jonka paine on 0,05 ata (atmospheres absolute).

Imupumppu
Vesipainemittarilla ja imupumpulla on paljon yhteistä. Jos avaat ilmanpainemittarin kaasutilan, putoaa vesi takaisin meren pinnan tasolle. Sulje kaasutila uudestaan ja tee imupumpulla tyhjiö imeäksesi vesi takaisin putkeen. Vesi nousee 10:een metriin ja pysähtyy. Makeavesikaivosta on mahdotonta pumpata vettä syvemmältä kuin 11 metriä samasta syystä kuin makea vesi ei ilmanpainemittarissa nouse 11 metriä korkeammalle – miksi näin, siitä myöhemmin.

Korkeassa ilmanalassa sukeltaminen
Mitä tapahtui kalalle, joka ui purkkiin Shayne Pembertonin kilpikonnalammella ja mitä tapahtuisi sukeltajalle vedestä tehdyssä painemittarissa? Ensinnäkin, meidän on muistettava, että paine merenpinnan tasolla vesipatsaan pohjalla on 1 ata ja 10 metriä korkeammalla on (vesihöyryn) paine 0,05 ata.

Mikäli sukeltaja uisi vesipatsasta 5 metriä, tippuisi absoluuttinen paine puoleen ilmakehään (0.5 ata), joka vastaa n. 5500 metrissä olevaa painetta. Mikäli sukeltaja uisi 7:ään metriin, tippuisi paine 0,3 ata:an, joka vastaa painetta 30.000 jalassa (9144m). Mt. Everest:in huippu on 8839 metriä ja astronautin avaruuspuvussa on 9235 metriä vastaava paine. Tässä keinotekoisessa maailmassa olevalla sukeltajalla olisi kaksi erittäin epätodennäköistä sukellusongelmaa.

Ensinnäkin, sukeltajan henngittäessä ilmaa 8 metrisessä vesipatsaassa tulisi hän tajuttomaksi, koska happea ei olisi riittävästi (hypoxia). Hapen osapaine 9144 metrissä olisi ainoastaan 0,06 atm tai se vastaisi 6 prosenttista happea merenpinnan tasolla. Jotta astronautit välttävät hypoxiaa, täytetään heidän pukunsa puhtaalla hapella.

Toiseksi, sukeltajalle kehittyisi vammauttava tai fataali korkean ilmanalan sukeltajantauti (DCS) (vuoristotauti), koska hänen kudoksiinsa liuennut typpi muodostuisi kupliksi. Jotta astronautit välttävät DCS:än, hengittävät he jopa neljä tuntia puhdasta happea eliminoidakseen imeytyneen typen, ennen kuin heidät paineistetaan pukuihinsa.

Mieti tätä keinotekoista maailmaa: Yli 330000 metriä korkea (kasaan puristettava) ilmapatsas korvattiin 10 metriä korkealla vesipatsaalla (, jota ei pysty puristamaan kasaan). molemmat patsaat aiheuttavat saman painon merenpinnalla.
Vedestä tehdyssä painemittarissa sukeltaminen voisi opettaa sekä mittari- että absoluuttisen paineen, mikäli ei olisi hypoksiaa ja DCS:ää.

Kiehuu kylmänä
Miksi merivesipainemittarin pylvään korkeus on korkeintaan 10 metriä? Ja miksei makeaa vettä voi pumpata syvemmältä kuin 11 metristä? Se johtuu kiehumisesta. 22°C huoneen lämpötilassa – vesihöyryn paine on 0,05 atm(0,7 psi). Kun vettä lämmitetään, sen höyryn paine nousee ja kun lämpötila saavuttaa 100°C, on vesihöyryn paine 1 atm (14,7 psi). Lisäksi vesi kiehuu, kun sen höyryn paine vastaa absoluuttista painetta.
Ajattele toisella tavalla. Kun menet vuoristoon, vesi kiehuu matalammassa lämpötilassa, koska ilmanpaine on pienempi. Vastakkainen tapahtuu painekattilassa, jossa lisäät painetta viivästyksäättesi kiehumista, kunnes lämpötila on korkeampi.

Dekompressikuplat
Nyt opimme dekompressionin aikana muodostuvista kuplista. Kuplat muodostuvat, kun kaikkien lienneiden kaasujen (typpi, happi, hiilidioksidi, helium, jne.) osapaineet – sekä vesihöyryn paine – ylittää absoluuttisen paineen. Tämä tunnetaan nimellä ”supersaturaatio.” Sukellettaessa vesihöyryn paine on kuitenkin matalampi kuin liuenneen typen osapaine, toisin kuin kiehuessa, joten typpi kuplii ennen kuin vesihöyry.

Jotkut dekompressioteoreetikot väittelevät siitä, onko mahdollista kestää suurempi supersaturaatio, ennen kuin kuplat muodostuvat vereen ja kudoksiin, mutta kyseiset liialliset supersaturaatiot näyttävät olevan vähäisiä, jos niitä on lainkaan. ”Hiljaiset” kuplat, jotka eivät aiheuta DCS:n merkkejä tai oireita voivat esiintyä kaikkien, paitsi aivan “mitättömimpien” sukellusten jälkeen. Ultraäänellä tapahtuva kuplien etsiminen löytää rutiininomaisesti ihmisiltä kuplia niinkin pienessä, kuin 0,4 atm supersaturaatiossa (6 psi; 12 fsw/4 msw). Kenties isot supersaturaatiot dekompressioteoriassa edustavat hiljaisia kuplia, jotka ovat

liian pieniä tai väärässä paikassa aiheuttaakseen oireita.

Saattaa olla yksi, vieläkin eksoottisempi, selitys kulien muodostumiselle: Vesihöyry poistuu veden pinnalta ainoastaan, jos pinnalla on kaasua. Mikäli vesipainemittarin pinnalla ei ole kaasua, olisi mahdollista nostaa vesipatsas tuhansia metrejä veden yläpuolelle ja antaa sen pysyä ylhäällä. Niin oudolta kuin se tuntuukin, olisi patsaan päällä oleva paine satoja kertoja pienempi kuin ilmakehän paine. Tämä on osoitettu kokeellisesti erittäin puhtaan veden kanssa ylikuumentamalla vettä, joka ei kiehu, vaikka vesihöyry on satoja kertoja suurempi kuin ilmanpaine.

Kun puhtaan vesihöyryn kupla viimeinkin muodostuu, on vesi saavuttanut “vetovoimansa” ja se murtuu tai halkeaa osiin. Tämä tunnetaan “de novo” -kuplan muodostumisena tai kuplien ilmaantumisena “tyhjästä”. Todellisuudessa kuplat käytännössä muodostuvat aina “jostain” ja se “jokin” on pieni kaasuonkalo, on se sitten merivedessä tai meissä. Kuka sanoi, että fysiikka on tylsää?

Kirjoittajasta

Richard Vann liittyi Duke:n sukelluslääketieteelliseen ja ympäristöfysiologian keskukseen lääketieteellisen tekniikan tohtorina. Hän tutkii kuplien muodostumista ja inerttien kaasujen vaihtoa. Hän kehitti dekompressioproseduureja, joita käyttävät tieteelliset sukeltajat sekä EVAn astronautit avaruusasemalla. Vann on DAN-tutkimuksen varapuheenjohtaja.