

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Hoitotyön koulutusohjelma / sairaanhoitaja

Antti Kosonen

LAITESUKELLUSTOIMINNAN TURVALLISUUDEN KEHITTÄMINEN

KYMENLAAKSON PELASTUSLAITOKSELLE

-HOITOKAAVIO JA MÄRKÄREKOMPRESSIOKÄYTÄNTÖ

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Hoitotyön koulutusohjelma

KOSONEN, ANTTI	Laitesukellustoiminnan turvallisuuden kehittäminen Kymenlaakson pelastuslaitokselle –Hoitokaavio ja märkärekompresiokäytäntö
Opinnäytetyö	84 sivua + 19 liitesivua
Työn ohjaaja	Lehtori Jussi Hänninen
Toimeksiantaja	Kymenlaakson pelastuslaitos
Toukokuu 2014	
Avainsanat	laitesukellusonnettomuus, pelastussukellus, märkärekompresio

Pelastuslaitoksen vesisukeltajat joutuvat alttiiksi monille vaaroille suorittaessaan pelastussukellusta. Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää pelastuslaitoksen suorittaman vesisukelluksen aiheuttamia riskejä pelastussukeltajalle ja luoda katsaus vakavimpiin sekä yleisimpiin laitesukellusonnettomuuksiin.

Tavoitteena oli vahvistaa pelastuslaitoksen henkilöstön tietämystä ja osaamista vesisukellusonnettomuuksissa sekä tarkastella nykyisen pelastussukeltajaa koskevan ohjeistuksen turvallisuutta. Teoriapohja muodostettiin sukelluksen asiantuntijoiden haastattelujen sekä kirjallisuuden perusteella. Haastattelujen tuloksena saatiin sukellukseen liittyvä uusin tieto koottua, ja sitä täydentämään kerättiin teoriataustaa kirjallisuudesta.

Teoriapohjassa esitettiin yksinkertaisesti laitesukellusonnettomuuksia ja niiden syntyyn vaikuttavaa fysiologiaa sekä fysiikkaa. Kerätyn teorian pohjalta muodostettiin hoitokaavio laitesukellusonnettomuuksia varten. Lisäksi esitettiin perustelut vallitsevan märkärekompresiokäytännön muuttamiselle ja näkemyksiä sukeltajantaudin välttämiseksi työvuoron sukelluksilla. Opinnäytetyön sisällöstä koottiin koulutusmateriaali, joka koulutettiin pelastuslaitoksen henkilöstölle.

Märkärekompresiokäytännöstä muodostettiin konkreettinen, uusi toimintamalli. Muutostarvetta tukeva aineisto märkärekompresiosta toimitettiin valtakunnallisen Vesisukellustoimikunnan käyttöön. Tavoitteena oli vaikuttaa Turvaohjeet pelastustoimen vesisukellukseen –ohjeen sisältöön. Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää käytännössä pelastuslaitoksen päivittäisessä toiminnassa. Mahdollista hoitamattoman tai puutteellisesti hoidetun sukeltajantaudin vaikutusta pelastustoimen vesisukeltajien tuki- ja liikuntaelinten sairauksiin voitaneen pitää jatkotutkimushaasteena, koska erilaiset niveleireet ovat melko yleisiä pelastustoimen operatiivisella henkilöstöllä.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Health Care

KOSONEN, ANTTI

Safety Development of Rescue Diving for Kymenlaakso
Emergency Services

–Treatment Chart and In-Water Recompression Practice

Bachelor's Thesis

84 pages + 19 pages of appendices

Supervisor

Jussi Hänninen, Master of Health care

Commissioned by

Kymenlaakso Emergency Services Department

May 2014

Keywords

scubadiving accident, rescue diving, in-water recompression

The rescue divers of the fire department are exposed to many hazards when conducting rescue dives. The purpose of this Bachelor's thesis was to clarify the risks that are imminent to the rescue divers during the rescue mission and to provide an overview of the most serious and common scuba diving accidents.

The goal was to reinforce the know how of the employees of the fire department in the scuba diving accidents as well as to review the safety of the guidelines regarding the rescue divers. The theory was formed on the basis of the interviews of the specialists in scuba diving and the literature. As the result of the interviews the latest knowledge in scuba diving was gathered and supplemented by theory gathered from literature.

Scuba diving accidents, the physiology and the physics were introduced in a simple way. A treatment chart for scuba diving accidents was conducted on the basis of the theory. In addition the argument to change the in-water recompression and ways to reduce the risk of the decompression sickness during the dives in the fire department were presented. The contents of the Bachelor's thesis was gathered to form a training material introduced to the employees of the fire department.

New and concrete material was formed to replace the in-water recompression practice. The material was handed for the use of the national Vesisukellustoimikunta. The goal was to influence the contents of the Turvaohjeet pelastustoimen vesisukellukseen - directive. The results of this Bachelor's thesis can be used in the daily activities in the fire department.

The effects of an untreated or poorly treated decompression sickness to the musculoskeletal problems of rescue divers, which are quite common, could be a topic for further research.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	KEHITTÄMISTYÖN KOKONAISTAVOITTEET JA PROSESSIN KUVAUS	8
3	KEHITTÄMISTYÖN TUTKIMUSONGELMAT JA KIRJALLISUUSKATSAUS	11
	3.1 Tutkimusongelmat kehittämistyössä	11
	3.2 Kirjallisuuskatsaus kehittämistyöhön	14
4	ASiantuntijoiden teemahaastattelut	16
	4.1 Teemojen muodostaminen haastatteluihin	17
	4.2 Teemahaastattelujen toteuttaminen ja aineiston analyysi	19
	4.3 Teemahaastattelujen tulokset	21
5	TEOREETTINEN TAUSTA KIRJALLISUUDEN JA ASiantuntijahaastattelujen POHJALTA	22
	5.1 Sukellusfysiikka	25
	5.1.1 Charlesin laki	26
	5.1.2 Boylen laki	26
	5.1.3 Daltonin laki	27
	5.1.4 Henryn laki	27
	5.2 Laitesukellusonnettomuudet	28
	5.2.1 Sukellussairaus (DCI) ja keuhkojen barotraumat	30
	5.2.2 Ilmaonteloiden painevammat	40
	5.2.3 Sukelluskaasujen aiheuttamat ongelmat	45
	5.2.4 Hypotermia ja hypertermia	50
	5.2.5 Hukkuminen	52
	5.3 Laitesukellusonnettomuuspotilaan kohtaaminen ja hoitoon saattaminen	53
	5.3.1 Laitesukellusonnettomuuspotilaan neurologinen tutkiminen	54
	5.3.2 Laitesukellusonnettomuuspotilaan hoito	55
	5.3.3 Laitesukellusonnettomuuspotilaan kuljetus	59

5.3.4 Ylipainehappihoito	60
5.4 Märkärekompresiosta pidäytyminen	62
6 SUKELLUSONNETTOMUUDEN HOITOKAAVION LAADINTA	66
7 HOITOKAAVION SISÄLTÖ	68
8 HOITOKAAVION KÄYTTÖÖNOTTO JA KOULUTTAMINEN	68
8.1 Hoitokaavion käyttöönotto	69
8.2 Hoitokaavion koulutustilaisuudet Kymenlaakson pelastuslaitoksella	69
9 POHDINTA	73
9.1 Kehittämistyön luotettavuus	73
9.1.1 Kehittämistyön reliabiliteetti	74
9.1.2 Kehittämistyön validiteetti	75
9.2 Kehittämistyön prosessin tarkastelu ja johtopäätökset	76
9.2.1 Sukellussairauksien ehkäisy työvuoron sukelluksilla	78
9.3 Hoitokaavion sekä koulutustapahtuman arviointi ja palaute	83
LÄHTEET	85
LIITTEET	
Liite 1. Laitesukellusonnettomuuden hallintakaavio	
Liite 2. Advanced diving accident life support –koulutus	
Liite 3. Teemahaastattelurunko (ADALS-kurssi)	
Liite 4. Teemahaastattelurunko (Carean ensihoidon vastuulääkäri Loikas)	
Liite 5. Kirjallisuuskatsaus	
Liite 6. Opinnäytetyössä käytetty metodologinen kirjallisuus	
Liite 7. Suomen Sukellus- ja Ylipainelääketieteen Yhdistyksen lausunto	
Liite 8. ISBAR-konsultaation muistikortti	
Liite 9. Koulutusmateriaali Kymenlaakson pelastuslaitoksen henkilöstölle	
Liite 10. Itsearvioitsijan muistilista	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöprosessin edetessä ovat laitesukellusonnettomuudet olleet useasti esillä kotimaisessa mediassa. Laitesukellusonnettomuudet ovat kuitenkin melko harvinaisia ja varsinaista rutiinia sukellusonnettomuuspotilaan kohtaamiseen ei pääse syntymään. Ratkaisuna tähän Kymenlaakson pelastuslaitos toivoi tämän opinnäytetyön tuloksena selkeää hoitokaavoita kohdattaessa laitesukellusonnettomuuspotilas (Liite 1.). Sukellussairauden oireet alkavat yleensä 30 minuutin kuluttua pintautumisesta ja sukeltajantaudin oireiden ilmetessä tulee hoito suorittaa aina painekammiossa (1). Vuonna 2013 järjestettiin Advanced Diving Accident Life Support –koulutus (Liite 2.), jossa paneuduttiin laitesukellusonnettomuuspotilaan hoitamiseen ja tutkimiseen. Samana vuonna, opinnäytetyön alkuvaiheilla, sattui sukellusonnettomuus Itä-Suomessa (2) ja myöhemmin samana vuonna katosi suomalainen sukeltaja Viron rannikolla (3). Vuonna 2014 kolme suomalaista sukeltajaa loukkaantui ja kaksi menehtyi Norjassa tapahtuneessa sukellusonnettomuudessa (4), yksi sukeltaja menehtyi Asikkalassa (5) ja Kuortaneella loukkaantui kaksi sukeltajaa, joista toinen menehtyi myöhemmin (6). Kyseiset sukellusonnettomuudet sattuiivat vapaa-ajan virkistysukelluksilla urheilu- ja tekniikkasukeltajille. Vapaa-ajalla suoritettavilla sukelluksilla on aikaa suunnitella suoritettava sukellus huolella ennakkoon, olosuhteet ovat yleensä ennalta hyvin tiedossa ja sukellus voidaan suorittaa sukelluksen yleisten turvaohjeiden mukaan. Pelastustoimen hälytysluonteinen vesisukellus poikkeaa suuresti vapaa-ajan sukelluksista. Pelastustoimen hälytysukelluksilla olosuhteet eivät ole valittavissa, sukelluksen valmistautumiseen jää vain vähän aikaa ja sukelluksen turvaohjeita joudutaan mahdollisesti rikkomaan potilaan selviytymisen turvaamiseksi. Kymenlaakson pelastuslaitoksella vesisukellusta suoritetaan Kotkan ja Haminan toimipisteissä.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda hoitokaavio laitesukellusonnettomuuksia varten. Hoitokaaviota voidaan hyödyntää myös pelastuslaitoksen suorittaman vesisukelluksen jälkeen, arvioitaessa vesisukelluksen suorittaneen pelastajan vointia. Pääsääntöisesti laitesukelluspotilaan hoito on oireenmukaista (7) ja lopullinen hoitopaikka sukeltajantautitapauksissa on aina ylipainehappihoitoon kammiossa kykenevä yksikkö (8). Suomessa esiintyneistä sukeltajantautitapauksista suurin osa on hoidettu Helsingissä, Turussa ja Upinniemiessä. Tampereella, Kuopiossa ja Oulussa on hoidettu vain joitakin yksittäisiä tapauksia (9, 602-603). Opinnäytetyössä annetaan selkeä kuva

vesisukeltajaa uhkaavista sukellusonnettomuuksista. Opinnäytetyön tarkoitus on auttaa lukijaa ymmärtämään laitesukellusonnettomuuspotilaan oireiden etiologiaa eli oireiden syntymiseen johtaneita syitä. Lisäksi esitetään vahvat ja kiistattomat perustelut nykyisen märkärekompressiokäytännön muuttamiseen. Märkärekompressiolla tarkoitetaan sukeltajan uudelleen paineistamista vedessä, pintaan nousun jälkeen (1). Nykyinen märkärekompressiokäytäntö altistaa pelastustoimen vesisukeltajan sukeltajantaudin oireiden pahenemiselle, joten uusi toimintamalli esitellään ja luovutetaan valtakunnallisen Vesisukellustoimikunnan käyttöön.

Tässä kehittämistyössä luodaan katsaus vakaviin sukellusonnettomuuksiin sekä lievä-
oireisiin, mutta yleisempiin tapauksiin. Sukellusonnettomuuksien syntymisen ymmärtämiseksi käsitellään dekompressiomalleja eli erilaisten kudoksetyöryhmien käyttäytymistä ulkoisen paineen muuttuessa. Laitesukellukseen liittyvää fysiologiaa ja fysiikkaa käsitellään kehittämistyön teoriataustassa, kappaleessa 5. Pelastustoimen vesisukeltajalle todennäköisin sukellusonnettomuus liittyy sukellussairauteen. Riski sukellussairauden esiintymiselle kasvaa pelastustehtävällä, jos potilaan edun vuoksi joudutaan rikkomaan vesisukelluksen turvaohjeita. Turvaohjeita, kuten suurinta sallittua nousunopeutta ja turvapysähdystä, joudutaan rikkomaan tuotaessa pelastettava uhri pintaan. Turvaohjeiden sallima suurin nousunopeus joudutaan ylittämään ja laiminlyömään turvaohjeen mahdollisesti vaatima turvapysähdys, koska uhri on saatava ensihoitopalvelun käsiin mahdollisimman pian. Tästä syystä sukellussairauksia käsitellään muita sukellusonnettomuuksia tarkemmin. Laitesukelluspotilaan ensihoito kohdistuu alkutoimenpiteisiin ja toimintalinjoihin paikallisessa ensihoitopalvelussa, erittelemättä toimenpiteitä hoitovalmiustasoin. Ensihoito perustuu Carean eli Kymenlaakson sairaanhoito- ja sosiaalipalveluiden kuntayhtymän ensihoito-ohjeistukseen. Lisäksi esitellään uusi toimintamalli laiminlyödyn turvapysähdysten ja liian suuren nousunopeuden jälkeen. Nykyiseen toimintamalliin, märkärekompressioon, liittyy oleellisesti sukeltajantaudin viivästyneet oireet. Viivästyneillä oireilla tarkoitetaan sukeltajantaudin oireiden ilmaantumista viiveellä sukelluksen jälkeen (8). Märkärekompressiota koskevassa osiossa, kappaleessa 5.4, perustellaan tarve nykyisen käytännön muuttamiselle. Vallitsevan käytännön tilalle esitellään uusi, korvaava toimintamalli. Nykyinen märkärekompressiokäytäntö tulee korvata sukelluslääketieteen asiantuntijoiden

mukaan normobaarisella eli pinnalla tapahtuvalla happihoidolla sukeltajataudin viivästyneiden oireiden varalta (1).

Hoitokaavion luomisprosessiin, käyttöön, käyttöönottoon sekä luotettavuuteen liittyviä asioita käsitellään omassa osiossaan tässä kehittämistyössä. Hoitokaavion sisällön luotettavuus varmistettiin pyytämällä palaute Carean ensihoidon vastuulääkäriltä. Myös hoitokaavion toimivuutta arvioitiin erillisissä koulutustapahtumissa, joista saatu palaute vaikutti kaavion ulko-asuun sekä käytettävyyteen. Kehittämistyön luotettavuutta kokonaisuudessaan arvioidaan ja kehittämistoiminnan prosessia tarkastellaan luvussa 9.1. Sukellussairauksien esiintymisen riskin vähentämistä työvuoron vesisukelluksilla pohditaan myös tämän opinnäytetyön, kappaleessa 9.2.1.

2 KEHITTÄMISTYÖN KOKONAISTAVOITTEET JA PROSESSIN KUVAUS

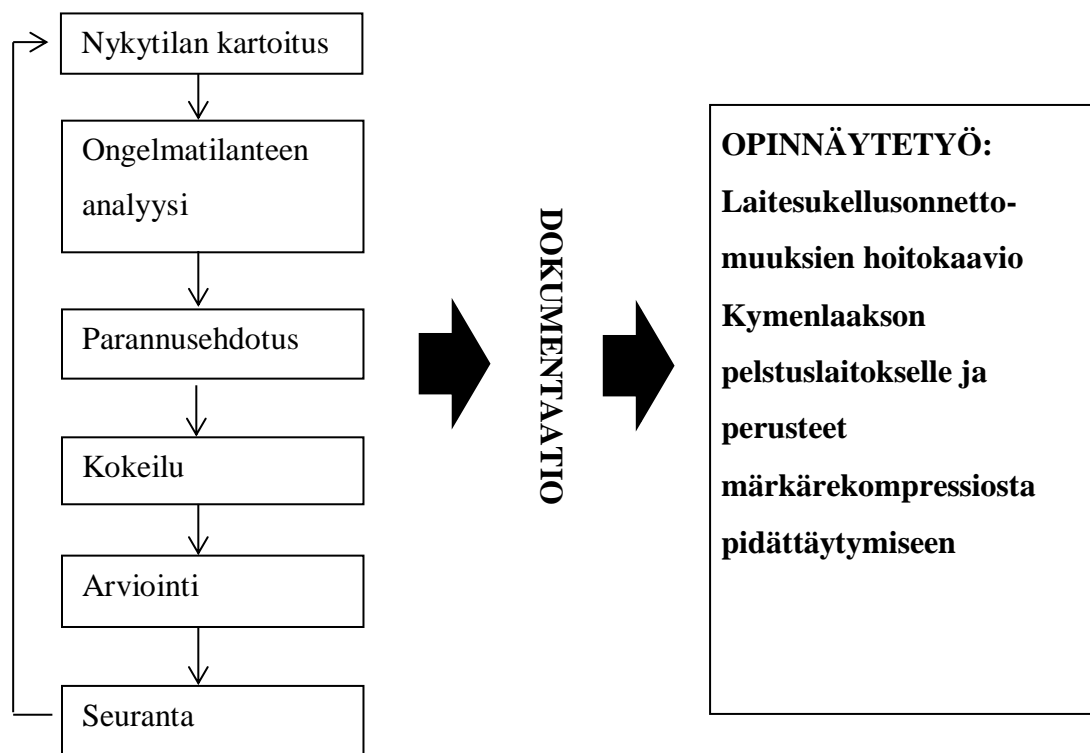
Kehittäminen ymmärretään usein konkreettisena toimintana, jolla pyritään saavuttamaan selkeästi määritelty tavoite. Kehittämällä tavoitellaan muutosta ja aikaisempaa parempaa toimintatapaa (10, 14-16). Kehittämistutkimuksen tarkoituksena on saada muutos entiseen (11, 43) ja muutosta tavoiteltaessa joudutaan pohtimaan kenen etua muutos palvelee (10, 44). Kehittämistyöllä ei tuoteta ainoastaan tekstiä, vaan kehittämistyön tarkoituksena on saada tulokseksi käytännössä toimivia ratkaisuja. Kehittämistoiminnalla tulee olla tavoite sekä kohde. (11, 42.) Tämän kehittämistyön tilaajan tavoitteena oli saada toimintaohje laitesukellusonnettomuustilanteisiin sekä parantaa pelastustoimen vesisukeltajien työturvallisuutta.

Muutoksella tavoitteellaan vallitsevan asiantilan laadullista ja rakenteellista muuttamista (10, 16). Muutoksen aikaansaamista edeltää ratkaisun keksiminen, jolla saadaan poistettua olemassa oleva ongelma (11, 74). Muutoksen saavuttamisen ja ongelman poistamisen edellytyksenä on ongelmatilanteen syvälinen ymmärtäminen (11, 63) ja kehittämistoiminta kohdistuu toimijoiden ammatilliseen osaamiseen (10, 16). Asiantuntijoiden teemahaastatteluja suoritettaessa ilmeni suuri epäkohta pelastustoimen vallitsevassa märkärekompessiokäytännössä. Muutoksen

aikaansaaminen pelastustoimen nykyiseen märkärekompressiokäytäntöön lisättiin tämän kehittämistyön tavoitteeksi.

Tämän kehittämistyön kohteena on pelastustoimen vesisukellus, jonka toimintatapaan tavoitellaan muutosta. Hoitokaavion luominen ja kouluttaminen, märkärekompressiokäytännön muuttaminen sekä sukellussairauden ehkäiseminen ovat tavoitteita, joihin etsitään ratkaisua tämän kehittämistyön avulla. Kehittämistyön tavoitteet muunnettiin tutkimustehtäviksi ja tutkimustehtävät tutkimusongelmiksi. Tutkimusongelmien ratkaisemiseksi ne muunnettiin tutkimuskysyksi, joihin vastaamalla saadaan ratkaistuksi tutkimustehtävät ja päästään kehittämistyölle asetettuihin tavoitteisiin. (11, 16.) Tähän kehittämistyöhön liittyviä tutkimusongelmia käsitellään tarkemmin opinnäytetyön kappaleessa 3.1. Kehittämistyön tutkimusongelmat.

Seuraavassa kuvassa esitetään tämän opinnäytetyön prosessiin liittyvä kehittämistyö (Kuva 1).



Kuva 1. Kehittämistehtävän vaiheet (11, 52)

Opinnäytetyön prosessista laadittiin aikataulu, jota noudatettiin suunnitelman mukaisesti. Opinnäytetyö aloitettiin maaliskuussa 2013 ja vaadittavat tarkastukset

prosessin etenemiseen tehtiin haastateltavien aikataulujen sekä lausuntojen valmistumisen mukaan. Opinnäytetyöhön sisältyvän hoitokaavion testaus aloitettiin helmikuussa 2014, järjestämällä koulutustapahtuma valikoidulle henkilöstölle Kymenlaakson pelastuslaitokselta. Hoitokaavion testauksen jälkeen siihen tehtiin tarvittavat muutokset. Valmiin hoitokaavion muotoutumiseen vaikuttivat koulutustapahtumasta saatu palaute sekä Carean ensihoidon vastuulääkäriin kommentointi. Opinnäytetyö valmistui kevään 2014 aikana, ja varsinaisen opinnäytetyöhön liittyvän koulutustapahtuman tavoitteeksi asetettiin koulutettavien saavuttavan harjaantumisvaihe. Harjaantumisvaiheessa pyritään syventämään opetusvaiheessa hankittua taitoa ja saamaan suoritukseen varmuutta ja nopeutta. Lopullinen tavoite koulutukselle on koulutettavien päätyminen tavoitevaiheeseen, eli suorituksen hallintaan hälytystilanteen vaatimalla tavalla. (13, 24.) Tästä tarkemmin opinnäytetyön kappaleessa 8.

Kehittämisprosessiin tulee sisältyä perustelu, organisointi, toteutus, arviointi ja tulosten levittäminen (10, 56). Tässä työssä perustelulla pyritään vastaamaan kysymykseen: Mihin hoitokaaviota tarvitaan ja miksi märkärekompressiokäytäntöä tulee muuttaa? Organisoinnilla käsitetään käytännön suunnittelua sekä valmisteluja ja toteutuksella ideointia, kokeilua, mallintamista ja konkreettista tekemistä. Arvioinnin tehtävänä oli suunnata prosessia ja tuottaa tietoa kehitettävästä asiasta sekä analysoida oliko kehittäminen saavuttanut tarkoituksensa. Tulosten levittäminen voidaan ymmärtää myös juurruttamisena, jonka tarkoituksena on saada kehittämisprosessin lopputuotos käyttöön. Tulosten levittäminen edellyttää yleensä aivan omaa ja erillistä prosessiaan, joten tämän kehittämistyön varsinainen juurruttaminen tapahtuu vasta opinnäytetyöprosessin jälkeen (10, 56-63). Kehittämistutkimuksen tulokset esitellään Palopäälystöliiton Vesiukellustoimikunnalle. Tavoitteena on vaikuttaa Sisäasiainministeriön pelastustoimen turvaohjeiden muuttamiseksi. Uudistamalla pelastustoimen turvaohjeita tavoitellaan muutosta nykyiseen märkärekompressiokäytäntöön. Kehittämistyön tulokset tuodaan julki myös Pelastusopiston vesisukelluskoulutuksesta vastaaville.

3 KEHITTÄMISTYÖN TUTKIMUSONGELMAT JA KIRJALLISUUSKATSAUS

Tämän kehittämistyön aihe valikoitui työelämän edustajan tarpeesta. Lähtökohtana oli luoda hoitokaavio Kymenlaakson pelastuslaitokselle laitesukellusonnettomuuksia varten. Hoitokaavion käytön kouluttaminen Kymenlaakson pelastuslaitoksen työvuoroille sisällytettiin tähän kehittämistyöhön. Aiheen valinnassa on suotavaa, että kehittämistyön tekijällä on aiheesta perustiedot ja mielellään käytännön kokemusta (11, 13). Työskentelen itse Kymenlaakson pelastuslaitoksella asemamestarina sekä vesisukeltajana. Minulla on pitkä kokemus ambulanssityöstä sekä urheilusukelluksesta ja urheilusukelluskouluttajana toimimisesta. Kehittämistyön perusasioiden tuntemus ja käytännön kokemus kehittämistyön aiheesta auttoivat prosessin läpi viennissä.

Kehittämistyön aihe tarkentui prosessin edetessä ja mietittäessä tutkimuksen tarkoitusta. Aiheen tarkentumiseen vaikuttivat tutkimusongelmien määrittely, tutkimuskysymyksien muodostaminen ja tutkimusotteen valinta (11, 186). Tutkimusotteen eli aiheen lähestymistavan valinta muodostui opinnäytyn sisällön mukaisesti teoriapohjan keräämisen menetelmien kautta (10, 18) kvalitatiiviseksi tutkimusotteeksi.

3.1 Tutkimusongelmat kehittämistyössä

Tutkimusongelman asettaminen on vaikeaa, usein vaikeampaa kuin ongelman ratkaiseminen (12, 121). Työskentelyn helpottamiseksi tutkimusongelmat muutettiin tutkimuskysymyksiksi (11, 16). Kehittämistoiminnalla tuotettiin näyttöön perustuvaa tietoa ja arvioitiin vallitsevaa tilannetta (10, 39). Vastaamalla asetettuihin tutkimuskysymyksiin, pystyttiin löytämään ratkaisut ja tutkimusongelmat selvisivät (11, 16).

Laitesukellusonnettomuuspotilaan hoitokaavio on tämän kehittämistyön yhtenä tavoitteena, joten hoitokaavion luominen muodostui yhdeksi tutkimustehtäväksi. Jotta tämä tutkimustehtävä pystyttiin ratkaisemaan, tuli selvittää kyseiseen tutkimustehtävään liittyvät tutkimusongelmat. Laitesukellusonnettomuuksien hoitokaavion luomisen mahdollistamiseksi piti selvittää laitesukellusonnettomuuksien syyt ja seuraukset vesisukeltajalle. Laitesukellusonnettomuuksista muodostui siis yksi

kehittämistyön tutkimusongelma, jonka ratkaisemiseksi muodostettiin tutkimuskysymys; Toiminta laitesukellusonnettomuustilanteissa?

Koska kehittämisellä pyritään muutokseen, jolla tavoitellaan aikaisempaa parempaa toimintatapaa (10, 16), asetettiin tämän tutkimustyön tavoitteeksi myös märkärekompression suorittaminen turvallisesti. Nykyinen märkärekompressiokäytäntö muodostui siis yhdeksi tämän tutkimustyön tutkimustehtäväksi. Sen ratkaisemiseksi toiseksi tutkimusongelmaksi muodostui märkärekompressio. Nykyiseen märkärekompressiokäytäntöön liittyvän tutkimusongelman eli märkärekompression, ratkaisemiseksi muodostettiin tutkimuskysymys; Turvallinen märkärekompressio?

Sukellussairauksien ehkäiseminen Kymenlaakson pelastuslaitoksen vesisukelluksilla lisättiin myös tutkimustyön tavoitteeksi, koska kehittämistoiminnalla pyritään arvioimaan vallitsevaa tilanteen toimivuutta (10, 39). Jotta sukellussairauden syntymistä voidaan ehkäistä, tulee ymmärtää sukellussairauden syntymiselle altistavat tekijät. Sukellussairauden ehkäisemiseen liittyväksi tutkimusongelmaksi muodostui siis sukellussairauksien syntymiselle altistavien tekijöiden välttäminen. Tämän tutkimusongelman ratkaisemiseksi muodostettiin tutkimuskysymys; Sukellussairaudelle altistumisen vähentäminen?

Tutkimuskysymysten selvittämiseksi kerättiin aiheesta kattavasti tukevaa teoriapohjaa tukeutuen alan kansainväliseen ja kotimaiseen kirjallisuuteen, julkaisuihin sekä tutkimuksiin. Teoriapohjan muodostamisessa hyödynnettiin myös Suomen sukelluslääketieteellisen yhdistyksen sukelluslääketieteen asiantuntijoiden teemahaastatteluja (Liite 3.), Carean ensihoidon vastuulääkärin teemahaastattelua (Liite 4.). Lisäksi suoritettiin Advanced Diving Accident Life Support 2013 koulutus. Advanced Diving Accident Life Support 2013 koulutuksen järjestivät Suomen Sukellus- ja Ylipainelääketieteen Yhdistys, Suomen anestesiologiyhdistys / ensihoitojaos sekä Puolustusvoimien Sukelluslääketieteen keskus Upinniemiessä 19.-20.4.2013. Asiantuntijoiden teemahaastatteluissa edettiin tyypillisesti keskeisen teeman mukaisesti (12, 203). Teemahaastatteluja käsitellään opinnäytetyön osassa 4.

Kehittämistyön kohteena on pelastustoimen vesisukellus ja tavoitteena vallitsevan tilanteen parantaminen (11, 42). Kehittämistutkimuksen tutkimusongelmiksi valikoituivat siis hoitokaavio, jonka luomiseksi piti selvittää laitesukellustapaturmia ja

niiden syntyä, märkärekompresioikäytäntö pelastustoimen vesisukelluksilla sekä sukellussairauksien välttäminen pelastustoimen vesisukelluksilla. Tutkimustyön tavoitteisiin pääsemiseksi muodostettiin tutkimustehtävät, joiden ratkaisuna kehittämistyölle asetetut tavoitteet täyttyivät. Tutkimustehtävien pohjalta muodostettiin tutkimusongelmat. Alla olevassa taulukossa esitetään tämän tutkimustyön keskeiset tutkimusongelmat, jotka on muodostettu tutkimuskysymyksiksi. Tutkimuskysymyksille on esitetty ratkaisu, joka vastaa asetettuun tutkimustehtävään ja kehittämistyön tavoitteeseen.

Tutkimustehtävä:	Tutkimuskysymys:	Ratkaisu:	Tavoite:
Laitesukellusonnettomuudet	Miten toimitaan laitesukellusonnettomuuksissa?	Hoitokaavio	Henkilöstön toimintavalmiuksien parantaminen
Märkärekompresio	Mikä on turvallinen märkärekompresio?	Käytännön muuttaminen	Työturvallisuuden parantuminen
Sukellussairaudelle altistavat tekijät	Miten voidaan vähentää sukellussairauksille altistumista ?	Ennaltaehkäisevä toimintatapa	Työturvallisuuden parantuminen

Taulukko 1. Tutkimuskysymykset (11, 16)

Tutkimuskysymysten määrittämisen jälkeen niihin etsittiin ratkaisut tutkimusaineiston avulla ja saavutettiin asetettu tavoite (11, 187). Ratkaistut tutkimuskysymykset esitellään ja koulutetaan Kymenlaakson pelastuslaitoksen operatiiviselle henkilöstölle asetetun tavoitteen mukaisesti. Koulutus tapahtuu vuoden 2014 aikana, noudattaen pelastustoimen käytäntöjä sekä arvoja (13, 29). Kehittämisprosessia havainnoidaan ja arvioidaan koulutuksen aikana sekä suoritetaan mahdolliset korjaustoimet (11, 79). Koulutuksen tarkoituksena on muuttaa koulutettavien käyttäytymistä pysyvästi, asetettujen tavoitteiden suuntaan (13, 29). Koulutuksen tavoitteet asetettiin yhdessä Kymenlaakson pelastuslaitoksen edustajan kanssa ja pohdittiin, mille osaamisen tasolle tulee päätyä (13,18).

Tässä kehittämistyössä käytettiin kvalitatiivista tutkimusotetta etsittäessä tietoa märkärekompresioikäytännöstä. Märkärekompresion ymmärtämisessä peruskysymyksenä oli: *‘Mistä ilmiössä on kyse?’* (11, 30). Teoriapohjaa kerättiin ja analysoitiin, jotta saatiin selvitettyä kehittämistyön kohde ja esitettävät kysymykset. Kehittämistyön kohde eli laitesukellustapaturmat sekä kehittämistyössä esitettävät kysymykset eli laitesukellusonnettomuuden seuraukset sukeltajalle selvitettiin

teoriapohjan avulla (11, 122). Tutkimuksen tietoa hyödynnetään kehittämisessä yhdistämällä kehittämistoiminta ja tutkimuksellinen lähestymistapa (10, 19).

3.2 Kirjallisuuskatsaus kehittämistyöhön

Kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on saada apua tutkimustyön käytännön toteuttamiseen (11, 17). Opinnäytetyö tehtiin projektityyppisenä kehittämistyönä Kymenlaakson pelastuslaitokselle. Tutkimusmenetelmänä käytettyyn kirjallisuuskatsaukseen pohdittiin, millä menetelmällä haut tehdään, päätettiin hakutermit ja valittiin tietokannat, jotta kirjallisuuskatsauksesta saatiin riittävän kattava. (14, 6.) Teoriapohjaa vakavista laitesukellusonnettomuuksista ja laitesukellusonnettomuksiin liittyvästä ensihoidosta kerättiin laadullisen tutkimuksen menetelmällä, kirjallisuuskatsauksella ja aiemmista tutkimuksista (12, 162).

Kirjallisuuskatsauksesta luotiin taulukko (liite 5.). Aiempia tutkimuksia tarkasteltiin, mutta opinnäytetyön vaatimuksiin ei löydetty vastaavia. Kirjallisuuskatsauksen haku tehtiin systemaattisesti, oikeisiin tietolähteisiin ja monipuolisin hakusanoin. Internetistä löytyvän tiedon luotettavuuteen tulee suhtautua varauksella, joten hakuun hyväksyttiin vain tieteellisiä tutkimuksia ja julkaisuja (15, 10). Tätä tutkimustyötä varten tehdyn kirjallisuuskatsauksen tuloksia analysoitiin valittujen sisäänotto- ja poissulkukriteerien mukaan (12, 85). Sisäänottokriteereillä tarkoitetaan edellytyksiä, joita mukaan valittaville tutkimuksille asetetaan. Sisäänottokriteerit pohjautuvat tutkimuskysymyksiin ja niiden määrittely tehtiin ennen hakuja. Mukaan tutkimukseen valittiin mahdollisimman tarkasti tutkimuskysymyksiin vastaavat tutkimukset (16, 41). Alustava hyväksyntä tehtiin otsikon perusteella ja seuraava karsinta tehtiin tiivistelmän lukemisen jälkeen. Tutkimusten lopullinen valinta tehtiin sisällön perusteella ja mukaan valikoitiin tutkimukset, jotka täyttivät sisäänottokriteerit sekä olivat sisällöltään oleellista materiaalia tutkimuskysymysten kannalta (12, 81). Ikärajoituksena hauissa pidettiin pääosin viiden vuoden aikajaksoa ja mukaan hyväksyttiin lääketieteelliset artikkelit ja väitöskirjat. Yleisesti tunnustetut alan teokset sekä asiantuntijoiden kirjoittamat artikkelit jätettiin aikarajauksen ulkopuolelle.

Aiempien tutkimusten avulla voidaan johtaa käyttökelpoista tietoa kehittämistutkimukseen (11, 17). Aiempien tutkimusten löytyminen osoittautui ongelmalliseksi. Kehittämistyön aiheeseen viittaavia tutkimuksia löytyi muutamia, mutta poissulkukriteerien perusteella ne jäivät tutkimuksen ulkopuolelle. Lähempään tarkasteluun valittiin vain vähintään Pro Gradu- tasoiset tutkimukset ja sisällön piti tarjota kehittämistyölle oleellista tietoa. Tarkatelluista tutkimuksista kuitenkin luovuttiin, koska niiden sisältö ei vastannut opinnäytetyön tarkoitukseen.

Kirjallisuuskatsauksen sekä aiempien tutkimusten etsinnässä käytetyt hakusanat muodostettiin selkeiksi ja asetettiin auttamaan oleellisen tiedon etsinnässä (14, 6). Kehittämistutkimuksessa käytetyt hakusanat on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 2).

sukellus (ja) ensihoito	diving and first respond	sukeltajantauti
sukellus (ja) onnettomuus	diving and emergencies	pelastussukellus
ylipainehappihoito	märkärekompresio	recompression (and) diving
pro? sukellus?	sukellus	sukellusonnettomuus

Taulukko 2. Hakusanat (14, 6)

Haut tehtiin etukäteen valittuihin tietokantoihin, tavoitteena saada mahdollisimman kattava otos tutkimusaiheeseen ja valintakriteereihin vastaavia osumia. Kirjallisuuskatsaukseen ja aiempiin tutkimuksiin haettiin viitteitä seuraavista tietokannoista:

- Pub Med tietokanta, etsii viitteitä Medlinen tieteellisten julkaisujen sekä tutkimusten tietokannoista englannin kielellä.
- Melinda tietokanta, kirjastojen yhteistietokanta Suomessa.
- Terveysportti, terveydenhuollon ammattilaisten tietopalvelu.
- Kymi, Kymenlaakson ammattikorkeakoulun kirjaston aineistotietokanta.

Kehittämistoiminnan metodologisiin kysymyksiin pyrittiin vastaamaan tarkkaan valikoidun kirjallisuuden pohjalta. *Metodologialla tarkoitetaan kehittämistoiminnan periaatteiden määrittelyä* (10, 35). Varsinainen tutkimukseen liittyvä kirjallisuus jätettiin kirjallisuuskaatsauksen ulkopuolelle. Kehittämistyössä käytetystä metodologisesta kirjallisuudesta muodostettiin taulukko, joka esitetään opinnäytetyön liitteenä (Liite 6.). Kirjallisuuskatsauksen tulosten analysointia ja metodologiaa tarkastellaan lähemmin opinnäytetyön kappaleessa 9.1.

Pelastusopiston julkaisu Pelastusyksikön jäsenten pelastustekniset perustaidot -1.osa koulutusharjoituksen järjestäminen, valittiin tukemaan koulutustapahtuman suunnittelua. Koulutus tapahtui pelastuslaitoksella ja oli kohdennettu pelastuslaitoksen henkilöstöön, joten koulutuksen suunnittelun tuli perustua pelastustoimen käytänteisiin. Kyseisen teoksen on kirjoittanut Juha Höök ja se on julkaistu vuonna 2009 (13).

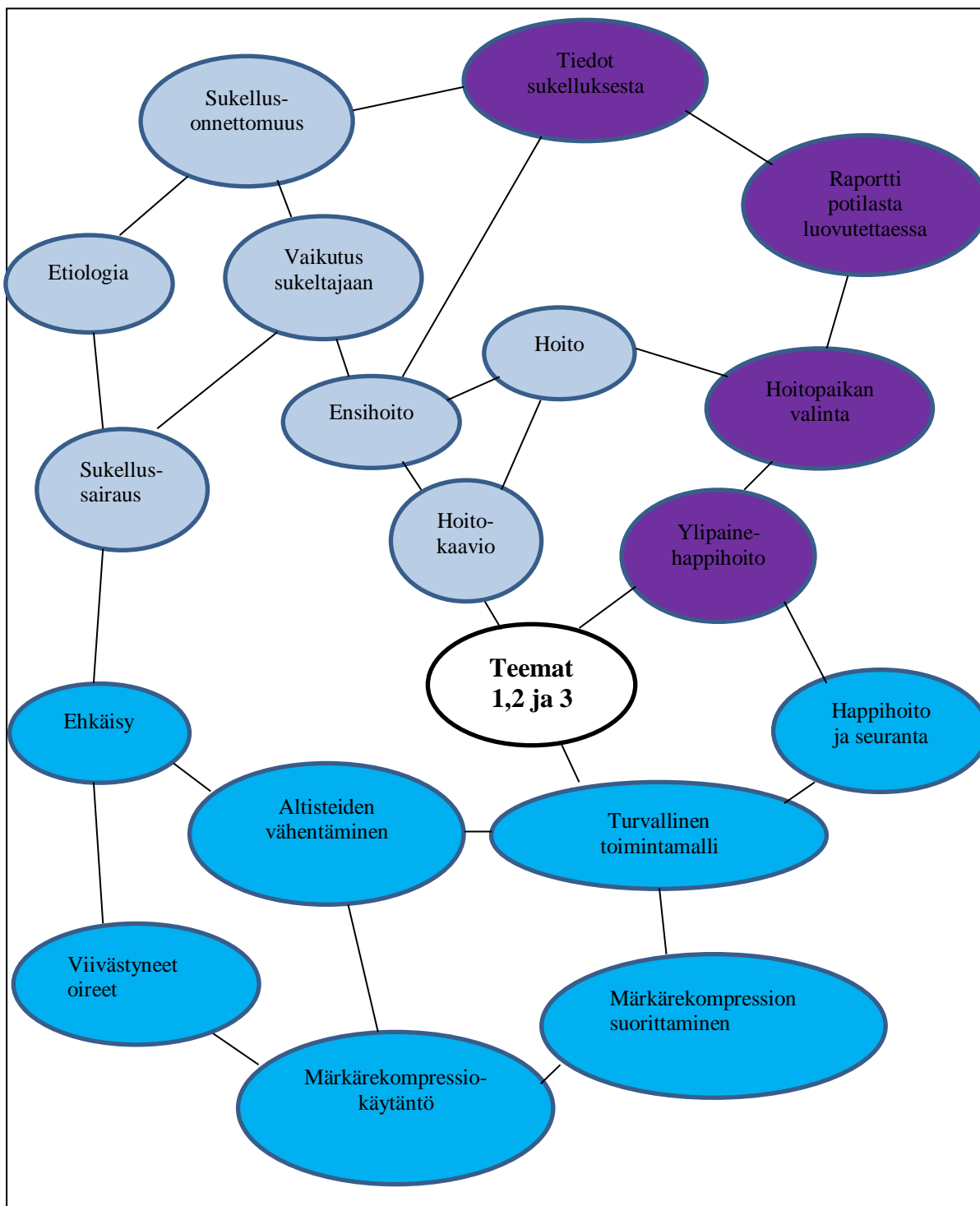
4 ASIANTUNTIJOIDEN TEEMAHAASTATTELUT

Teemahaastattelu on joustava menetelmä, joka mahdollistaa asian käsittelemisen syvällisesti ja eri näkökulmista. Teemahaastattelulla on tarkoitus hakea ymmärrystä kehittämistutkimuksen vaiheisiin, kuten ongelman määrittelyyn (11, 99). Teemahaastattelussa haastattelun aihepiiri on haastateltavilla tiedossa, mutta kysymysten tarkka muoto ja järjestys ei (12, 203). Teoriatiedon keräämiseen käytettiin asiantuntijoiden teemahaastatteluja. Asiantuntijoina toimivat Suomen sukellus- ja Ylipainlääketieteen Yhdistyksen lääkärit, joita voidaan pitää Suomen ehdottomana asiantuntijajoukkona liittyen sukelluslääketieteeseen. Carean ensihoidosta vastaava lääkäri haastateltiin erikseen. Tämän haastattelun teemat muodostuivat kuitenkin samankaltaisiksi, huomioiden paikallisten hoito-ohjeiden vaikutus aiheeseen. Teemahaastattelun menetelmä valittiin haastatteluiden suoritustavaksi, koska vastausten suuntia oli vaikea ennakoida etukäteen (12, 200).

4.1 Teemojen muodostaminen haastatteluihin

Tämän kehittämistyön teemahaastattelujen teemat syntyivät kehittämistyön teoriaosan ja työn tilaajan toiveiden perusteella, ja niistä muodostettiin haastattelurunko. Teemahaastatteluissa edettiin etukäteen valitun teeman mukaisesti (17, 75) ja teemojen valintaa ohjaamaan muodostettiin ajatuskartta. Haastattelurunkoa testattiin esihaastatteluilla, esihaastateltavina toimivat kaksi ensimmäistä haastateltavaa. Esihaastattelujen perusteella teemahaastattelurunkoon tehtiin muutoksia, ja esihaastattelut uusittiin muutosten jälkeen. Muutoksia haastattelurunkoon tehtiin nykyisen märkärekompresioikäytännön osalta, koska haastateltavien mielipiteet osoittautuivat selvästi olevan pelastustoimen vallitsevan märkärekompresioikäytännön vastaisia. Pelastustoimen märkärekompresioikäytäntöön liittyvä epäkohta osoittautui työturvallisuusriskiksi ja tämän takia märkärekompresio valittiin yhdeksi teemahaastattelun teemaksi. Haastateltavaa keskustelutettiin valituista teemoista ja vastauksiin reagoitiin ohjaamalla keskustelu haluttuun aiheeseen (11, 104).

Alla olevassa kuvassa esitetään teemahaastattelujen kysymysten muodostuminen ajatuskarttana. Eri värein on kuvattu aihealueita, joiden pohjalta on muodostunut aihetta käsittelevä teema. Eri aihealueiden vaikutusta toisiinsa on kuvattu yhdysviivoin ja huomioitu tärkeimmät vaikuttavat seikat. Ajatuskartan muodostamiseen vaikuttivat opinnäytetyön tavoitteet sekä kirjallisuudesta koottu teoriapohja. (Kuva 2).



Kuva 2. Teemahaastattelun teemojen muodostaminen

Teemahaastattelun teemojen lukumäärä rajattiin kolmeen, jotta saadut tulokset pystyttiin analysoimaan huolella. Samalla varmistettiin haastattelun käsittelevän vain työlle keskeisiä aiheita. Ajatuskartan avulla löydettiin haastatteluiden teemat, joihin vastaamalla saatiin vastaukset kehittämistyön tavoitteisiin.

4.2 Teemahaastattelujen toteuttaminen ja aineiston analyysi

Advanced Diving Accident Life Support 2013 -kurssin yhteydessä suoritettujen teemahaastattelut muodostuivat kolmesta teemasta. Jokaisesta teemasta esitettiin kysymys ja tarvittavat jatkokysymykset. Teemahaastattelujen tulokset digitoitiin, tulokset eriteltiin ja nostettiin esiin keskeisesti tutkimukseen liittyvä anti (17, 105). Kyseisen teemahaastattelun teemat on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 3).

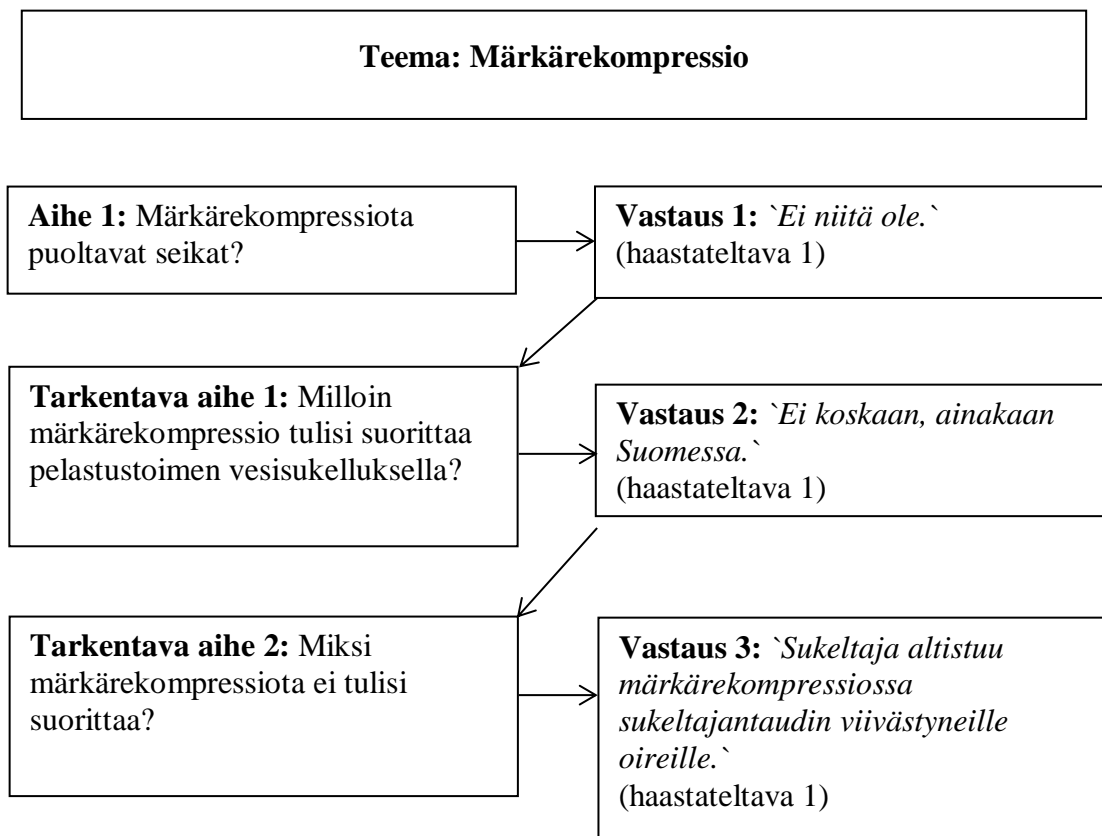
Teema 1	Laitesukelluspotilaan ensihoito	Kysymys 1 ja jatkokysymykset
Teema 2	Märkärekompresio	Kysymys 1 ja jatkokysymykset
Teema 3	Ylipainehappihoito	Kysymys 1 ja jatkokysymykset

Taulukko 3. Teemahaastattelun teemat

Teemahaastattelut suoritettiin yksilöhaastatteluina. Valituilla teemoilla selvitettiin laitesukelluspotilaan tutkimista, hoitoa ja hoitoon saattamista sekä paljastamaan epäkohta pelastustoimen märkärekompresioikäytännössä (11, 100-102). Teemahaastatteluista pidettiin kirjanpitoa ja haastattelujen kirjaamisessa käytettiin avustajaa, jotta haastattelija pystyi keskittymään itse haastatteluun. Yksilöhaastattelujen jälkeen märkärekompresiota käsittelevä teema nostettiin vielä yhteisesti esille, jotta myös paikalla olevat haastatteluun osallistumattomat sukelluslääketieteen asiantuntijat saivat kertoa näkemyksensä. Märkärekompresioikäytännön osalta vastaukset saturoituivat (11, 101), eli kaikilta haastateltavilta saatiin teemaan yksimielinen vastaus. Yhteisen keskustelun lopputulema tuki teemahaastattelujen tuloksia. Tämän perusteella päädyttiin pyytämään pelastustoimen märkärekompresiota koskeva lausunto Suomen Sukellus- ja Ylipainelääketieteen Yhdistykseltä (Liite 7.).

Kotkassa suoritettu teemahaastattelu toteutettiin useammassa eri osassa. Sitä varten muodostettiin oma teemahaastattelurunko, koska haastattelun teema poikkesi edellisestä. Tämän teemahaastattelun tarkoituksena oli selvittää Carean ensihoitolääkärin näkemys laitesukellusonnettomuuspotilaan hoidosta ja selvittää alueelliset toimintamallit laitesukellusonnettomuuspotilaan kohtaamisesta, tutkimisesta, hoitoon saattamisesta sekä hoitopaikan valinnassa. Tämän haastattelun teemoiksi muodostuivat laitesukellusonnettomuuspotilaan ensihoito, tutkiminen ja kuljetus. Samassa yhteydessä pyydettiin myös kannanottoa vallitsevaan märkärekompresioikäntöön.

Tässä työssä käytettyjen teemahaastattelujen logiikkaa selvennetään märkärekompresiota käsittelevän esimerkin avulla seuraavassa kuvassa (Kuva 3).



Kuva 3. Teemahaastattelun logiikka (11, 104)

Teemahaastattelujen edetessä aihetta tarkennettiin ja haluttiin lisää tietoa vastauksista esille nousseista asioista (11, 104). Kerätty aineisto pelkistettiin ja luokiteltiin, analysoitiin, tulkittiin sekä muodostettiin johtopäätöksiksi (12, 216).

Teemahaastattelujen luokittelua varten suoritettua pelkistämistä esitetään seuraavassa taulukossa märkärekompressiota käsittelevän kymyksen avulla (Taulukko 4).

Alkuperäinen ilmaus	Pelkistetty ilmaus	Luokittelu
<i>‘Märkärekompressiota ei pitäisi tehdä, koska sukeltaja altistuu viivästyneille oireille’</i> (haastateltava 3)	Ei märkärekompressiota	Muutostarve nykyiseen märkärekompressiokäyttöön

Taulukko 4. Teemahaastatteluvastausten luokittelu

Luokittelemalla teemahaastattelujen sisältö saatiin olelliset opinnäytetyöhön liittyvät asiat poimittua haastatteluista. Teemahaastatteluilla hankittiin uusin tieto ja näkemykset laitesukellusonnettomuuspotilaan kohtaamisesta, tutkimisesta, hoitamisesta sekä kuljettamisesta.

4.3 Teemahaastattelujen tulokset

Teemahaastattelujen tulokset vaikuttivat opinnäytetyön teoriataustan muodostamiseen. Teoriatausta käsitellään opinnäytetyön kappaleessa 5. Haastattelujen tulosten perusteella varmistuttiin myös hoitokaavion tarpeellisuudesta ja vastauksia hyödynnettiin apuna hoitokaavion sisällön muodostamisessa.

Märkärekompressiota käsittelevän teeman luokittelun avulla saatiin vastaukset jaettua nykyistä märkärekompressiokäytäntöä puoltaviin ja ei puoltaviin vastauksiin. Luokittelun jälkeen tuloksista tehtiin johtopäätös, jonka mukaan haastateltavat kannattivat yksimielisesti nykyisen märkärekompressiokäytännön muuttamista. Märkärekompressiota käsittelevän teeman tulosten perusteella päädyttiin pyytämään lausunto Suomen Sukellus- ja Ylipainelääketieteen Yhdistykseltä. Märkärekompressiota käsitellään tarkemmin opinnäytetyön kappaleessa 5.5 ja teemahaastattelujen luotettavuutta ja pätevyyttä kappaleessa 9.1.1.

5 TEOREETTINEN TAUSTA KIRJALLISUUDEN JA ASIANTUNTIJAHAASTATTELUIEN POHJALTA

Teoriataustaan liittyvät erityiskäsitteet määritellään tekstissä, jotta lukijalle selviää kirjoittajan käyttämä terminologia (11, 187). Vesisukellukseen liittyvät henkeä uhkaavat tilat eroavat savusukeltajilla ilmenevistä ongelmista (18). Pelastuslaitoksen suorittaman vesisukelluksen erityispiirteet ilmenevät hälytysluoneteisissa vesipelastustehtävissä. Hälytystehtävien aikana vesisukeltaja mahdollisesti joutuu tietoisesti rikkomaan vesisukellukseen luotuja ja yleisesti sukellusyhteisön hyväksymiä turvamääräyksiä. *‘Hälytysukellus on yleisen hätäilmoituskeskuksen tai pelastusviranomaisen määräyksestä suoritettava kiireellinen vesisukellustehtävä.’* (19, 3). Tällainen tilanne on esimerkiksi veden alle vajonneen ihmisen pelastaminen pintaan ensihoitoyksikön hoidettavaksi (19, 4). Tällöin vesisukeltajalle turvallisen nousunopeuden, turvapysähdyksen ja mahdollisen etappipysähdyksen rikkominen tarkoituksellisesti on perusteltua (19, 18). Etappipysähdyksellä tarkoitetaan tietyssä syvyydessä tapahtuvaa pysähtymistä nousun aikana dekompressiotaulukon mukaisesti. Dekompressiotaulukot on laadittu teoreettisten kudostyyppien kyllästymisasteen perusteella. Kyllästymisaste määräytyy sukellusprofiilin mukaan, jossa sukeltajan altistuminen syvyyden aiheuttamalle ylipaineelle suhteutetaan aikaan. Suurin sallittu nousunopeus dekompressiotaulukon mukaan on 10 metriä minuutin aikana (8). Teoreettisten kudosten kyllästymisastetta eli M-arvoja käsitellään myöhemmin tässä luvussa.

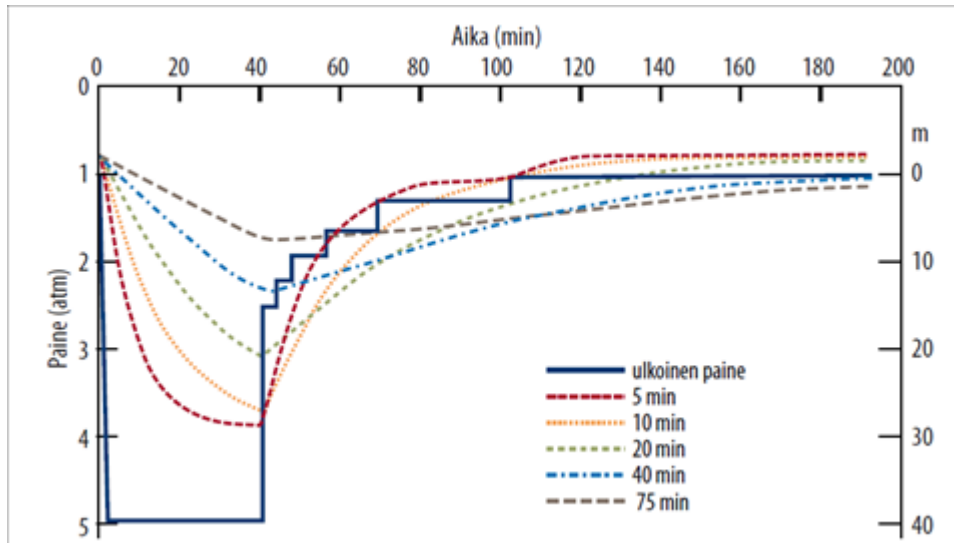
Laitesukellusonnettomuuksien syitä on vaikea ymmärtää tietämättä, mitä elimistölle tapahtuu fysiologisesti veden alle mentäessä ja hengitettäessä kaasua kasvaneen kokonaispaineen alaisena. *‘Laitesukeltajat hengittävät paineilmaa tai muuta paineistettua kaasua veden alla.’* (18). Sukellettaessa veden alla laitesukeltajan keho joutuu sille vieraiden voimien alaiseksi. Paineen nousu, veden vastuksesta johtuva liikkeiden hidastuminen ja muut vedenalaiset ilmiöt on huomioitava sukellusfysiologian näkökulmasta. (20, 63.) Sukelluksen aikana laitesukeltajan veritilavuus jakautuu uudelleen vähentyneen ääreisverenkierron ja kasvaneen keuhkojen verimäärää johdosta. Sydämen syke hidastuu ja iskuvoimakkuus kasvaa. Lisääntynyt hormonieritys aiheuttaa immersiodiureesia, eli nesteen poistumisesta aiheutuvaa kuivumista sukeltajan kudoksissa, joka puolestaan lisää sukellussairauden riskiä. (21.) Sukellussairauksien ennaltaehkäisy edellytyksenä on oikein suoritettu

sukellus ja ylipaineeseen sekä paineen muutoksiin soveltuva terve elimistö. Paineistetun kaasun hengittäminen veden alla voi johtaa sukeltajataudin kehittymiseen (20, 65), valtimokaasuembolisaatioon, keuhkojen painevaurioon (20,72) sekä hengitetyn kaasun toksisiin vaikutuksiin (20, 91).

Sukeltajataudin syntymisen ymmärtäminen ei onnistuu ilman M-arvojen tuntemusta. M-arvoilla tarkoitetaan teoreettisten kudosten kyllästymisastetta verrattuna ulkoiseen paineeseen (8) ja kudosten sisältämän typpikaasun pitoisuuden puoliintumisaikaa (21). Jokaisella kudostyypillä on sille yksilöllinen kyky vapauttaa typpeä liukoisessa muodossa. Kudoksessa olevan typen saavuttaessa suuremman osapaineen kuin alveoleissa eli keuhkorakkuloissa, saavutetaan supersaturaatioksi kutsuttu tila. Supersaturaatikynnyksen ylittyessä jossakin kudoksessa, vapautuu typpi kaasuna verenkiertoon. (9, 599.) Tällainen tilanne syntyy esimerkiksi sukeltajan noustessa nopeasti pintaan. Tällöin alveolipaine vastaa normaalia tilannetta merenpinnan tasolla, mutta kudoksissa oleva typen osapaine ei ole vielä ehtinyt laskea. Dekompressiomalleilla eli sukeltajataudin ehkäisyyn tähtäävillä taulukoilla tavoitellaan turvallista nousua ilman syntyviä kuplia ja niistä seuraavaa sukeltajantautia. Dekompressiomallit on muodostettu M-arvojen supersaturaatokynnyksen ja puoliintumisajan mukaan. Niistä on muodostettu sukeltamista ohjaavat sukellustaulukot. (8.) Verenkierto poikkeaa eri kudosten kesken toisistaan. Aivoissa, sydämessä ja lihaksissa verenkierto on nopeaa. Rasvakudoksessa, luissa ja rustoissa verenkierto on hidasta. Myös kaasujen imeytymis- ja poistumisnopeudet poikkeavat toisistaan eri kudoksissa. Sukelluksen loppuessa hitaat kudokset pystyisivät sitomaan vielä lisää typpeä, kun taas nopeimmat ovat jo saavuttaneet supersaturaatiotilan. (21.) Sukellus suunnitellaan yleensä suoranosusukellukseksi. Suoranosusukelluksen aikana on mahdollisuus nousta sukellustaulukon mukaan suoraan pintaan, ilman sukeltajataudin kohtuutonta riskiä (9, 598).

Kudokseen liukenee kaasua ulkoisen paineen ollessa suurempi kuin kaasun osapaine kudoksessa. Kaasun poistuminen kudoksesta alkaa ulkoisen paineen alittaessa kudoksessa olevan kaasun osapaineen. Kudoksessa olevan kaasun osapaineen ylittäessä kaksinkertaisesti ulkoisen paineen, alkaa kudoksista poistuva kaasu muodostaa kuplia. (21.) Kaasujen liukenemista ja poistumista eri M-arvon eli puoliintumisajan omaavissa teoreettisissa kudoksissa esitetään seuraavassa taulukossa.

Esimerkkikuvan (Kuva 4.) teoreettiset kudokset ovat jaettu 5, 10, 20, 40 ja 75 minuutin M-arvon omaaviin kudosityhmiin. (21.)



Kuva 4. Kaasujen liukeneminen ja poistuminen (21)

Edellisen kuvan mukaisesti 5 minuutin kudokset on saavuttanut noin nelinkertaisen kaasun osapaineen verrattuna merenpinnalla vallitsevaan paineeseen noin 40 minuutin kuluttua 30 metrin syvyydessä. Jos sukeltaja siis nousee pintaan nopeammin kuin laskennallisen kudoksen M-arvon mukaan laskettu dekompressiotaulukko sallisi, voi kudoksessa oleva kaasun osapaine olla pinnalla jopa nelinkertainen suhteessa ulkoiseen paineeseen. Saman sukelluksen aikana 75 minuutin kudoksessa on alle kaksinkertainen kaasun osapaine verrattuna merenpinnalla vallitsevaan ulkoiseen paineeseen. Kaasun osapaine 75 minuutin kudoksessa on kuitenkin vielä kolmen tunnin kuluttuakin sukelluksesta suurempi kuin ulkoinen paine. Hitaasti kaasua vastaanottavat kudokset siis myös luovuttavat kaasua hitaasti. Tämä on merkityksellistä, jos päivän aikana suoritetaan useita sukelluksia. Ylipainealtistuksen loputtua kaasut poistuvat normaalisti keuhkojen kautta. Mikäli kaasun määrä kudoksessa ylittää sen poistumisnopeuden, syntyy sukeltajantauti. Sukeltajantaudin ehkäisemiseksi tulee sukellus suorittaa noudattamalla turvallista sukellusprofiilia, jossa sukellus aloitetaan maksimisyvyydestä ja sukellussyvyys pienenee sukelluksen loppua kohden. (8.)

5.1 Sukellusfysiikka

Laitesukellukseen keskeisesti liittyvää sukellusfysiikkaa käsittelevän kappaleen avulla pyritään selvittämään laitesukellustapaturman aiheuttaman fysiologisen vamman syntymekanismi sekä toimia kertauksena pelatuslaitoksen vesisukeltajille. Sukellusfysiikkaa on tunnettava, jotta ympäröivän paineen muutokset vesisukeltajan elimistössä voidaan ymmärtää (22, 2-1). Myös supersaturaatiotilan syntymisen ymmärtäminen vaatii tutustumista sukellusfysiikkaan.

Ihmisen elimistö on sopeutunut yhden ilmakehän aiheuttamaan ympäröivään paineeseen. Ilmakehän aiheuttama paine on merenpinnan tasolla noin 1 bar (23, 429). Makean veden tiheys on 1000g/m^3 ja suolaisen veden tiheys on noin 1030 kg/m^3 suolapitoisuudesta riippuen (20, 53). Jokainen 10 metriä vettä (hydrostaattinen paine) kasvattaa ympäröivää painetta noin 1 bar verran (23, 430), joten vesisukeltajaan kohdistuva ympäröivä paine lisääntyy sukellussyvyyden kasvaessa. Vesi johtaa myös hyvin lämpöä ja suodattaa valoa paljon enemmän kuin ilma (20, 31). Vedessä sukeltajaan kohdistuu Archimeden lain mukaisesti kohottava voima eli noste, joka on riippuvainen sukeltajan syrjäyttämän vesimäärän tilavuudesta sekä sukeltajan massaan vaikuttavasta painovoimasta (23, 432).

Ilmassa on typpeä noin 78%, happea noin 21 % sekä muita kaasuja, hiilidioksidia ja vesihöyryä noin 1% (22, 2-12). Kaasujen tiheys vaihtelee ympäröivän paineen vaikutuksesta, mutta nesteen tiheys ei muutu (24, 361). Paineen muutokset sekä hengityskaasujen käyttäytyminen paineen alaisena voivat aiheuttaa ongelmia sukelluksen aikana ellei tätä tiedosteta ja siihen olla varauduttu (22, 2-1). Sukelluskaasujen aiheuttamia ongelmia käsitellään opinnäytetyön kappaleessa 5.2.3.

Sukellusfysiikkaan keskeisesti liittyvät kaasulait esitellään, jotta voidaan ymmärtää kaasun laajenemisesta ja liukenemisestä aiheutuvat seuraukset sukeltajan elimistössä. Keskeisesti vesisukellukseen vaikuttavat kaasulait ovat: Charlesin laki, Boylen laki, Daltonin laki ja Henryn laki.

5.1.1 Charlesin laki

$P_1:T_1=P_2:T_2$, eli paine : absoluuttisella lämpötilalla = vakio (22, 2-8).

Kaavassa absoluuttinen lämpötila ilmaistaan Kelvin-asteina ja muunnetaan Celsius-asteiksi lisäämällä Celsius-asteeseen luku 273 (22, 2-8.). Charlesin laki ei suoranaisesti vaikuta sukellussairauksien syntyyn, mutta muodostaa yhdessä Boylen lain kanssa kaasujen yleisen tilanyhtälön (20, 46).

5.1.2 Boylen laki

$P_1xV_1 = P_2xV_2$, eli paine x tilavuus = vakio, lämpötilan pysyessä muuttumattomana (22, 2-4).

Kaasun paineen kasvaessa sen tilavuus pienenee. Vastaavasti paineen laskiessa kaasun tilavuus suurenee. (25, 361.) Boylen laki määrittelee siis kaasun paineen ja tilavuuden välistä riippuvuutta toisistaan. Ympäröivä paine muuttuu suhteellisesti eniten lähellä pintaa (23, 430), joten suurin vaara painevammojen syntymiselle on sukelluksen lopussa. (22, 2-6).

Yleisestä tilanyhtälöstä voidaan muodostaa kaava: **$P_1xV_1:T_1 = P_2xV_2:T_2$** (paine x tilavuus : absoluuttisella lämpötilalla = vakio) (22, 2-8). Yleinen tilanyhtälö muodostuu Charlesin ja Boylen laeista (20, 46).

Yleisen tilanyhtälön vaikutus sukeltajalle ilmenee esimerkiksi paineilmapullojen täytössä esiintyvänä pullojen lämpenemisenä, joka aiheuttaa pullojen vajaatäyttöä tai paineenalentajan jäätyminenä paineen alentuessa nopeasti. Ympäröivän paineen muutos ja kaasun tilavuuden suoraan verrannallinen suhde altistaa sukeltajan ylipainevammojen syntymiselle noustessa kohti pintaa sekä alipainevammoille laskeutumisen aikana.

5.1.3 Daltonin laki

$P_x = p_y + p_z$, eli kaasun kokonaispaine on sen osapaineiden summa (22, 2-10).

Yksinkertaistettuna esimerkkinä ilman osalta voidaan esittää kaava $p_{\text{ilma}} = p_{\text{O}_2} + p_{\text{N}_2}$ (ilman osapaine on hapen ja typen osapaineiden summa) (22, 2-10). Esimerkissä on jätetty huomioimatta ilmassa esiintyvät hiilidioksidi, vesihöyry ja muut ilmassa esiintyvät kaasut. Kaasuseoksen kokonaispaineen kasvaessa siis myös yksittäisen kaasun osapaine kasvaa osapaineiden välisten erojen pysyessä muuttumattomina. Kaasuseoksessa jokaisella kaasulla on oma paineensa, jota kutsutaan osapaineeksi. Osapaine ei ole riippuvainen muista kaasuista vaan kaasun prosenttiosuus kaasuseoksessa määrittää kaasun osapaineen kokonaispaineen muuttuessa. (25, 368).

Daltonin laki on sukeltajalle tärkeä, koska kaasun vaikutukset vesisukeltajan elimistölle määräytyy kaasun osapaineen eikä sen tilavuusosan mukaan (20, 44). Kaasujen osapaineet tulee huomioida arvioitaessa kaasujen toksisia eli myrkyllisiä tai narkoottisia eli huumaavia vaikutuksia (22, 2-10). Esimerkiksi paineilmalla sukeltaessa happikaasun muuttuminen toksiseksi noin 56 metrin syvyydessä (22, 21-1) tai typpikaasun aiheuttaman kaasunarkoosin ilmaantuminen noin 30 metrin syvyydessä (22, 18-1), johtuvat kyseisen kaasun osapaineen kasvusta. Ympäröivän paineen kasvu lisää siis kyseessä olevan kaasun osapainetta.

5.1.4 Henryn laki

Nesteeseen liukenevan kaasun määrä ja liukenemisnopeus ovat suoraan verrannollisia kyseisen kaasun osapaineeseen. Vapaata kaasua liukenee nesteeseen, mikäli ympäröivä paine kasvaa. Ympäröivän paineen laskiessa kaasut vapautuvat nesteestä kunnes osapaine-erot ovat tasoittuneet. (22, 2-11.) Saturaatiotilaksi kutsutaan tilannetta, jossa nesteeseen liunneen kaasun ja vapaan kaasun välinen siirtyminen on yhtä suurta molempiin suuntiin (20, 50).

Mitä suuremman paineen alaisena sukeltaja on, sitä enemmän hänen verenkiertoonsa on liennut kaasumolekyylejä hengityskaasusta (25, 368). Kaasut liukenevat sukeltajan alveoli-ilmasta keuhkojen hiussuonten kautta verenkiertoon ja takaisin (25, 369).

Sukeltamisen kannalta tärkeää on ydintyminen eli nukleaatio, jossa kaasu vapautuu nesteestä kuplina (20, 52). Ympäröivän paineen laskiessa nopeasti myös kaasun osapaineen tasoittuminen tapahtuu nopeasti. Nopea kaasun osapaineen lasku liian nopean nousun aikana sukelluksella aiheuttaa kuplien muodostumista verenkiertoon (24, 527). Nopea typpikaasun poistuminen verestä ja kudostenesteistä aiheuttaa typpikuplien muodostumista elimistöön (22, 2-11). Juuri typpikuplien nopea muodostuminen sukeltajan elimistössä altistaa sukeltajan sukeltajantaudin kehittymiselle elimistöön muodostuvien kuplien vuoksi (20, 52). Sukeltajantautia käsitellään tarkemmin kappaleessa 5.2.1.

5.2 Laitesukellusonnettomuudet

Ihminen ei ole kehityshistoriansa aikana sopeutunut kovinkaan hyvin oleskelemaan pitkään veden alla (20, 63). Vedenalainen ympäristö voi aiheuttaa laitesukeltajalle erityisiä riski- ja ongelmatilanteita, jotka voivat johtaa jopa hengenvaaralliseen tapautumaan. Laitesukellusonnettomuuden ensimmäisenä kriteerinä pidetään kysymystä; *‘Hengittikö potilas paineistettua ilmaa veden pinnan alla, vai ei?’* (7). Teoriataustassa käsiteltävät laitesukellusonnettomuudet on valittu niiden esiintyvyyden sekä tilan vakavuuden perusteella. Kaikkia mahdollisia vesisukellukseen liittyviä onnettomuuksia tai hätätilanteita ei ole tarkoitus käsitellä tässä opinnäytetyössä.

Laitesukellusonnettomuuksien tilastointi ei Suomessa kuulu yksinomaan kenellekään viranomaiselle tai yhdistykselle. Esimerkiksi sukeltajaliitto, puolustusvoimat, poliisi ja pelastustoimi keräävät omat tilastonsa omien kriteeriensä mukaisesti. Mikään niistä ei anna yksiselitteistä vastausta tapaturmien kokonaislukumäärästä. Osa urheilusukeltajien kohtaamista tapaturmista jää myös varmasti ilmoittamatta kokonaan tai niitä ei osata jälkeenpäin yhdistää sukeltamisesta johtuviksi.

Yksityishenkilön ylläpitämä internetsivusto, www.sukellus.info, ylläpitää yhdistettyä rekisteriä valtakunnallisista sukellusonnettomuustapauksista. Onnettomuusraporttien mukaan Suomessa esiintyy vuosittain keskimäärin 2,7 kuolemaan johtanutta sukellusonnettomuutta (26). Kuolemaan johtaneita sukellusonnettomuuksia esiintyy Suomessa 0-5 tapautta vuodessa (9, 598). Divers Alert Network (DAN) on voittoa

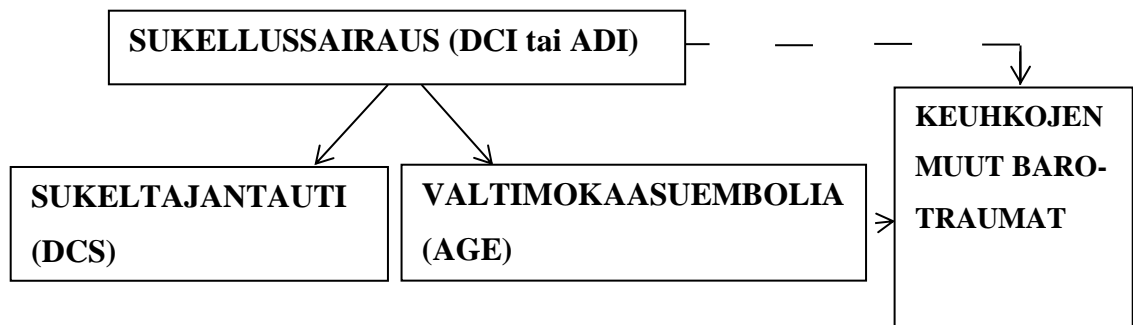
tavoittelematon, kansainvälinen sukelluslääketieteeseen ja sukellusonnettomuuksien tutkimiseen keskittyvä järjestö. DAN:in tilastojen mukaan yleisin kuolinsyy laitesukellusonnettomuuksissa on hukkuminen. Seuraavana äkilliset sydäntapahtumat ja valtimokaasuemboliat, jotka voivat johtaa hukkumiseen. Hukkuminen johtuu yleisimmin sairaskohtauksen ja seuraavaksi yleisimmin inhimillisen tekijän seurauksena. (27, 92-116.)

Hengityskaasun loppuminen, laiteviat ja laitteiden toimintahäiriöt sekä liian vaativat sukellukset koulutustasoon ja osaamiseen nähden olisivat helposti vältettävissä huolellisella valmistautumisella ja toimimalla laitesukelluksen turvamääräysten mukaan. Suorittamalla vaadittavat turvallisuus tarkastukset huolellisesti ennen sukellustapahtumaa sekä käyttämällä huollettuja ja asianmukaisia sukelluslaitteita voitaisiin inhimillisistä tekijöistä johtuvia sukellusonnettomuuksia välttää. Tasapainotusongelmat vesisukeltajalla seuraavat yleensä jonkin inhimillisen tekijän aiheuttamaa odottamatonta ongelmaa, tai huolimattomuutta sekä väliinpitämättömyyttä sukelluksen aikana. Vääränlaiset tai puutteelliset sukellusvarusteet suhteessa suoritettavaan sukellukseen ja ympäröiviin olosuhteisiin johtavat helposti ongelmiin. Altistuminen palelemiselle ja hypotermialle eli alilämpöisyydelle tai hypertermialle eli yllilämpöisyydelle ja dehydraatiolle eli nestevajaukselle lisäävät sukeltajataudin oireiden kehittymisen mahdollisuutta. Tahattomat, nopeat nousut altistavat sukeltajan keuhkovaurioille sekä sukeltajataudille. Sukellussyvyyden tahaton, liiallinen kasvu voi johtaa typen aiheuttamaan kaasunarkoosiin tai happimyrkytyksen oireisiin.

Ennen laitesukellusharrastuksen aloittamista tulee esittää sukelluslääkärin tekemä todistus terveystarkastuksesta laitesukellusta varten, jos tiedossa on jokin pysyvä sairaus, pysyvä lääkitys tai jokin muu sukellusonnettomuuden riskiä kasvattava tekijä (28, 16). Sukelluslääkäri siis pyrkii arvioimaan onko laitesukellusharrastus soveliaista aloittaa. *‘Vesisukeltajalle ja painekammioytöä tekeväälle henkilölle suoritetaan terveydentilan määräaikaistarkastus 1-3 vuoden välein. Välittömässä valmiudessa oleville sukeltajille suositellaan tehtäväksi tarkastukset yhden vuoden välein.’* (19, 7). Pelastustoimen vesisukeltajien tulee Kymenlaakson pelastuslaitoksella suorittaa vuosittain sukelluslääkärintarkastus, jolla todetaan henkilön soveltuvuus vesisukellustehtävän suorittamiseen elimistön toiminnan osalta.

5.2.1 Sukellussairaus (DCI) ja keuhkojen barotraumat

Sukellussairaus (Decompression illness, DCI) on sukellusonnettomuuksien yläkäsite. Sukellussairaus jaetaan sukeltajantautiin (Decompression sickness, DCS) ja valtimokaasuembolioihin (Arterial gas embolism, AGE) (9, 599). Sukellussairaus ja sukeltajantauti käsitteinä sekoitetaan kirjallisuudessa yleisesti. Sukellussairaus tarkoittaa sukeltajantautia, valtimokaasuembolioita ja näiden sekamuotoisia oireita. Sukeltajantauti tarkoittaa puhdasta dekompressiotautia eli vain tiettyjä paineen alenemisesta aiheutuvia oireita ja sairauksia. (8.) Kansainvälisessä kirjallisuudessa sukellussairautta kuvataan myös lyhenteellä ADI (Acute Decompression Illness). ADI voi kattaa sukeltajantaudin ja barotraumat, mutta yleisimmin ADI:iin lasketaan kuuluvaksi sukeltajantauti (DCS) ja keuhkojen barotraumoista valtimokaasuembolia (AGE). (22, 15-1.) Keuhkojen barotrauma eli painevamma on seurausta keuhkokudokseen kohdistuvasta ylipaineesta (8). Seuraavassa kuvassa esitetään sukellussairauksien luokittelua (Kuva 5).



Kuva 5. Sukellussairauksien luokittelu (22, 15-1)

Divers Alert Networkin mukaan vuosittaisista sukellussairaustapauksista puhtaasti sukeltajantautien osuus on noin 58 % ja valtimokaasuembolioiden noin 8 %. Lopuissa tapauksissa kyseessä on sukeltajantaudin ja keuhkoembolian sekamuotoisia oireita (27).

Sukeltajantautia (DCS) esiintyy maailmanlaajuisesti 0,004-0,007% jokaista 10 000 sukellusta kohti Divers Alert networkin (DAN) raportin mukaan (27). MediOxygen Oy:n sukellus- ja ylipainelääketieteen erityispätevyyden omaava patologian erikoislääkäri, dosentti Anne Räisänen-Sokolowski kertoo ADALS 2013 –luennolla Suomessa sukeltajantauteja olevan vuosittain 30-40 tapausta (29). Ensihoito –kirjan mukaan sukeltajantautitapauksia ilmenee suomessa vuosittain 20-30 (9, 598). Tällä

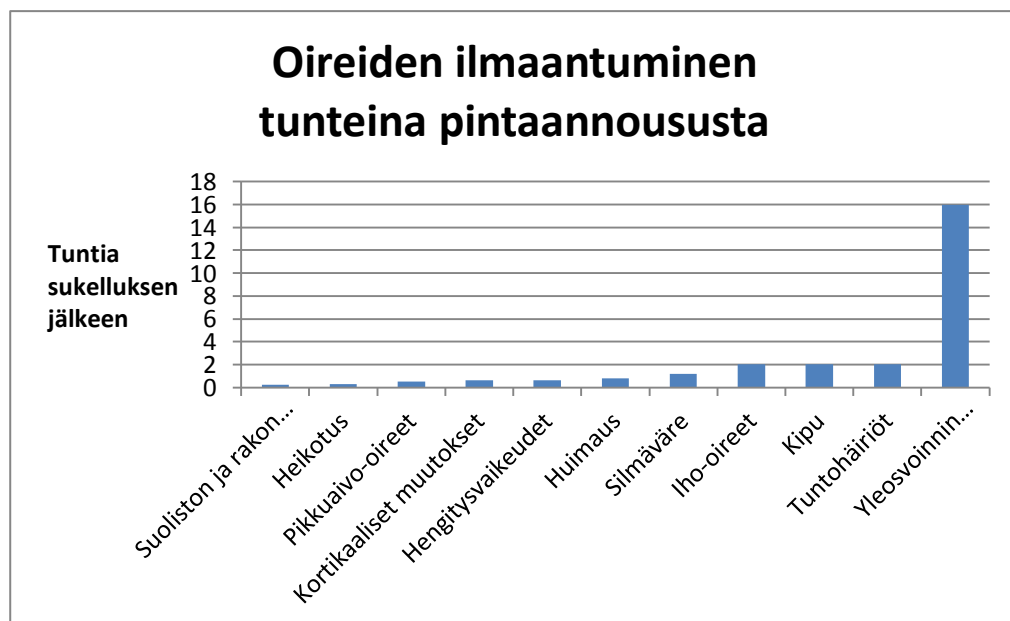
hetkellä taudin tunnistaminen ja ensihoito ovat puutteellisia, ja hoitoon hakeutuminen viivästyy. Viivästymisen seurauksena tarvitaan useampia hoitokertoja ennen kuin potilas saadaan mahdollisimman oireettomaksi. Hoitokertoja on tavallisesti 1-3 jokaista hoidettua potilasta kohti. Kuplien muodostumista sukeltajan elimistössä voidaan todeta lähes kaikkien sukellusten jälkeen, vaikka sukeltaja ei kärsisikään mistään sukeltajataudin oireista. (29.) Syvillä sukelluksilla muodostuu lähes aina mitattavissa olevia kuplia laskimoverenkiertoon (9, 599).

Sukeltajataudiksi kutsutaan tilaa jossa kaasukuplat, yleisimmin typpikaasusta, ovat vaurioittaneet kudoksia, tukkineet verisuonia ja aiheuttaneet veren sakkautumista (30). Sukeltajan elimistöön liukenee inerttejä kaasuja kuten typpeä tai heliumia, hengitysilman mukana suhteessa ympäröivään paineeseen (25, 368). Sukeltajataudin syntymiseen vaikuttaa siis Henryn laki, jonka mukaan nesteeseen liukenevan kaasun määrä ja liukenemisnopeus ovat suoraan verrannollisia kaasun osapaineeseen (24, 527). Sukelluksen aikana elimistöön liukenevan typen määrään vaikuttaa sukellussyvyys, alttiinaoloaika ja verenkierron tehokkuus, joka on riippuvainen rasituksen suuruudesta. Sukeltaja ei itse pysty tunnistamaan typen liukenemistä elimistönsä. (20, 65.)

Liuenutta inerttiä kaasua alkaa poistua elimistöstä paineen pienentyessä uloshengityksen mukana keuhkojen kautta. Mikäli paineen aleneminen on nopeampaa kuin kaasun poistuminen, seurauksena on kuplien muodostumista elimistöön. (22, 2-11.) Kuplien määrän ollessa pieni pystyy keuhkot suodattamaan kuplat, eikä sukeltajantautia synny (9, 599). Ylipaineessa elimistöön imeytynyt inerttikaasu eli kemiallisesti reagoimaton kaasu, tavallisimmin typpi, alkaa kuplia paineen alentuessa liian nopeasti ja kuplat tukkivat mekaanisesti hiussuonia sekä pikkuvaltimoita (31). Sukeltajantauti saa siis alkunsa elimistöön muodostuneista kuplista yleensä kapillaarisuonien laskimopuolella. Sukeltajataudin oireisiin vaikuttavat kuplien sijainti sekä koko. (9, 599.) Pääoireiksi muodostuvat kivut isoissa nivelissä kuten olkapäissä, lonkissa, polvissa, kyynärpäissä ja nilkoissa. Pääoireet esiintyvät siis nivelissä, joita on rasitettu eniten sukelluksen aikana. (32.) Kuplien muodostumista kuvataan usein virvoitusjuomapullon avulla. Nopeasti avattaessa pulloon muodostuu kuplia nesteen pinnalle, paineen nopean alenemisen seurauksena. (20, 133.)

Sukeltajantauti ei voi syntyä ilman huomattavaa altistusta ylipaineelle (33). Laitesukellus yli 10 metrin syvyyteen mahdollistaa sukeltajantaudin syntyyn riittävän kaasumäärän liukenemisen elimistöön (21). Pienin ylipaine, jonka jälkeen sukeltajantauti on todettu, on vastannut noin 6 – 8 metrin vesisyvyyttä (32). Sukeltajantaudin oireet alkavat yleisimmin kuuden tunnin sisällä sukelluksen päätyttyä. Jopa puolessa sukeltajantautitapauksista oireet ovat alkaneet neljän tunnin sisällä, vaikka viivettä oireiden ilmenemiseen on kuitenkin kuvattu jopa 24 tunnin jälkeen sukelluksen päätyttyä. (22, 15-2.) Epäiltäessä sukeltajantautia on potilaan tilaa syytä seurata normaalia pidempään viivästyneiden oireiden ilmenemisen varalta (29). Sukeltajantaudin oireet voivat ilmetä myös jo sukelluksen aikana (33). Sukelluksen aikana ilmaantuneet oireet ovat aina merkki vakavasta tilasta (8).

Sukeltajantaudin oireiden ilmaantumista esittävä kuva osoittaa keskiarvon mukaista oireen ilmenemisaikaa tunteina sukelluksen jälkeen (Kuva 6).



Kuva 6. Sukeltajantaudin oireiden ilmaantuminen (21)

Sukeltajantaudissa verenkierto häiriintyy syntyneiden kuplien lisäksi myös muiden fysiologisten muutosten vuoksi, jotka edelleen heikentävät kudosten hapensaantia (9, 599). Kuplat aiheuttavat vaurioita verisuonten seinämissä sekä aktivoivat elimistön puolustusmekanismeja kuten trombosyyttien aggregaation, komplementtijärjestelmän käynnistymisen sekä leukosyyttien migraation ja aktivoitumisen (31). Trombosyyttien aggregaatio tarkoittaa verihiutaleiden kasautumista, komplementtijärjestelmä kuuluu

puolestaan yleiseen immuunivasteeseen. Leukosyyttien migraatio tarkoittaa valkosolujen siirtymistä verenkierrosta kudoksiin. Elimistön tarkoituksena on käsitellä syntyneitä kuplia kuten muitakin sille vieraita aineita (9, 599). Sukeltajantauti johtaa kohde-elinten kudoshypoksiaan sekä verisuonten seinämävaurion kautta permeabiliteettihäiriöön ja ekstravasaatioon (31). Permeabiliteetilla tarkoitetaan verisuonten läpäisevyyttä ja ekstravasaatiolla veren purkautumista verisuonien ulkopuolelle. Kuplien aiheuttama mekaaninen hankaus aiheuttaa hiusverisuoniston seinämissä tulehdusta ja kuplien käynnistämät tulehdusreaktiot edistävät edelleen sukeltajantaudin kehittymistä elimistössä (20, 138.). Mikrokuplat vaikuttavat veren hyytymisjärjestelmään ja verihiutaleiden aktivaatioon (9, 599), jolloin verihiutaleet tarttuvat toisiinsa sekä mikrokupliin heikentäen edelleen kudosten hapen saantia (20, 138).

Sukeltajantaudin oireet ovat monimuotoiset ja riippuvat siitä, mihin kuplat ovat muodostuneet (8). Sukeltajantauti jaetaan yleisesti oireiden mukaan tyyppiin 1 tai 2. Kaikki sukeltajantaudin tyyppin 2 potilaat tulisi saada mahdollisimman nopeasti hoitoon ylipainekammioon. (31.) Sukeltajantaudin tyyppin 1 oireita esiintyy noin kolmasosalla ja noin kahdella kolmasosalla tyyppin 2 tai sekamuotoisia oireita (9, 599). Yleensä aina sukeltajantauti on oireiltaan epämääräinen sekoitus tyyppiä 1 ja 2. Hankalimmissa tapauksissa mukana on lisäksi keuhkovammojen oireistoa. (21.) Oireet alkavat yleensä hitaasti ensimmäisten tuntien aikana pintaan nousun jälkeen ja kuplien muodostumisen huippu saavutetaan noin 25 minuutin kuluttua pintautumisesta. Kuplien kasvu jatkuu sen jälkeen vakiona 1 -2 tunnin ajan (8). Sukeltajantaudin oireet alkavat keskimäärin 2–3 tuntia pintautumisen jälkeen, vakavimmat oireet kehittyvät yleensä nopeammin (31). Suurimmassa osassa todettuja sukeltajantautitapauksia oireet ovat alkaneet kuuden tunnin sisällä, joskus jopa 24 tunnin jälkeen sukelluksesta (22, 15-2). Kuplat muodostuvat yleensä ensin laskimopuolella ja voivat siirtyä oikovirtauksena valtimoverenkierron puolelle, paineen vaikutuksesta avutuvien keuhkoverenkierron AV-shunttien tai sydämen väliseinädefektien kautta (8). Sukeltajantautia voi esiintyä lihaksissa ja jänteissä lähellä niveliä, hermokudoksessa, sisäkorvassa, keuhko- ja sydänkudoksessa, ruuansulatus- ja sisäelimissä sekä iholla (22, 15-2 -15-6).

Keuhkomuutokset sukeltajantaudissa aiheutuvat pienien tyyppikuplien tukkiessa keuhkoverenkierron. Keuhkoverenkierron tukkeutuminen aiheuttaa hypoksiaa,

keuhkoödeemaa tai kohonneen keuhkopaineen aiheuttamaa sydänsairautta ja mahdollista kuolemaa (8). Muodostuneet kuplat voivat estää veren virtauksen keuhkojen pienissä verisuonissa aiheuttaen häiriöitä keuhkojen toiminnassa (22, 15-4). Kohonnut keuhkopaine voi aiheuttaa myös keuhkorakkuloiden repeämistä aiheuttaen systeemisen verenkierron ilmakuplaembolian, ilmarinnan, paineilmarinnan tai mediastinaalisen emfyseeman (21).

Neurologinen eli keskushermostovaurioita aiheuttava sukeltajantauti ilmenee kognitiivisinä häiriöinä (9, 600). Keskushermostovauriot sukeltajantaudissa aiheutuvat verenkierron vähyydestä kaasukuplien aiheuttamien tukosten takia (8). Sukeltajantauti voi aiheuttaa muutoksia aivojen, sekäydinhermojen ja/tai perifeerisen hermoston alueella (22, 15-3). Aivojen ja selkäytimen valkea-aine on rasvapitoista. Inerttien kaasujen liukoisuus valkea-aineeseen on korkeaa, jopa viisinkertaista normaaliin kudokseen verrattuna. Valkea-aineessa on toisaalta huono verenkierto, joten lienneen inerttikaasun poistuminen on sieltä hitaampaa kuin normaalista kudoksesta. Aivoissa pienet mikrokuplat voivat aiheuttaa iskeemisen aivovaurion, joka puolestaan käynnistää kemotaksiksen ja endoteelivaurion. Kemotaksiksen eli solujen uudelleen järjestäytymisen vuoksi avautuva veri-aivoeste johtaa aivoödeemaan. Riittämätön aivojen verenkierto voi aiheuttaa aivoinfarktin. (8.) Kaasukuplat voivat aiheuttaa esteitä aivojen verenkierrossa ja aiheuttaa paineenmuutoksia aivojen alueella johtaen aivokudoksen turpoamiseen (22, 15-3 – 15-4). Selkäytimen valkea-aineessa kuplat voivat puolestaan aiheuttaa halvauksia (8), virtsaamisvaikeuksia tai ummetusta (22, 15-4).

Sydänoireet sukeltajantaudissa voivat esiintyä lievinä rytmihäiriöinä, kuplien aiheuttamana iskemiana sydänlihaksessa tai sydänlihaksen infarktina. Sydänoireena voi esiintyä myös vaikeaa akuuttia pumppaustoiminnan vajautta sekä sydänpysähdys (9, 600). Sydänoireet sukeltajantaudissa johtuvat elimistöön syntyneiden kuplien tukkiessa verisuonia. Veritilavuuden uudelleenjakautuminen yhdessä fyysisesti liian rasittavan sukelluksen kanssa voi johtaa myös perinteisen sydänlihasiskemian tai infarktin kehittymiseen. Väestössä yleinen sydämen eteisväliseinämän defekti (avoin foramen ovale, PFO) mahdollistaa kuplien oikovirtauksen suoraan pääverenkiertoon. Tämä voi aikaansaada sukeltajantaudin tilanteissa, joissa ei laskennallisesti pitäisi vielä syntyä oireita. (21.)

Sisäkorvan sukeltajataudin oireet ilmenevät nousun aikana tai pian nousun jälkeen tyypikuplien aiheuttamien verenkiertohäiriöiden ja mekaanisten vaurioiden seurauksena sisäkorvan kuuloaistin- ja tasapainoelimissä (34). Sisäkorvan sukeltajantautitapauksille yhteisiä ovat pitkäkestoiset, syvät ja toistuvat sukellukset sekä heliumi-happi-seoksen (heliox) käyttäminen sukelluskaasuna (22, 15-4). Oireina ovat kiertoahuimaus, pahoinvointi sekä usein oksentelu, korvan soiminen ja kuulon alentuminen tai puuttuminen kokonaan. Tutkittaessa potilasta ei mahdollisesti havaita merkkejä painevammoista välikorvassa. Hoitona on mahdollisimman nopea painekammiohoito. (34.) Sisäkorvan sukeltajataudista kärsivän potilaan oireet tulee erottaa muista korvan alueen vammoista (22, 15-4). Viive hoitoon pääsyssä heikentää paranemisen mahdollisuutta. Vain puolet alle 6 tunnissa hoitoon päässeistä paranee täysin. Mikäli sisäkorva ei parane oireettomaksi voi seurauksena olla pysyvä sukelluskielto. (8.)

Sukeltajataudin oireiden yleisimpiä kohde-elimä ovat nivelet, keuhkot ja keskushermosto (36, 41). Yleisimmin kipua esiintyy nivelalueilla lyhyiden sukellusten jälkeen (22, 15-2). Ennakoivina oireina saattaa esiintyä kutinaa ja/tai läikkiä iholla. Tyypin 1 ja 2 oireille on yhteistä poikkeava väsymys suhteessa sukelluksen kuormittavuuteen (36, 41). Vaikka oireiden jako eri tyyppeihin onkin perusteiltaan mielivaltaisen, on se käytännöllinen arvioitaessa hoidon kiireellisyyttä (21). Lievemmissä sukeltajantapauksissa hoitoviiveellä ei ole niin suurta merkitystä, mutta tyypin-2 oireiden ilmaantuessa tulee painekammiohoito aloittaa mahdollisimman pian pysyvien keskushermostovaurioiden välttämiseksi (36, 41). Sukeltajataudin oireet voivat puhjeta tai pahentua siirryttäessä korkeampaan ilmanalaa, esimerkiksi automatkalla vuoristossa tai lentokoneessa (22, 15-2). Potilaan kuljetuksen tapahtuessa helikopterilla tulee lentokorkeuden olla alle 300 metriä (33).

Ensihoitona sukeltajataudissa ja valtimokaasuembolisaatiotapauksissa toimitaan samalla tavalla (9, 601). Ensitoimena on aina hapen hengittäminen mahdollisimman korkean O₂ prosentin omaavalla happimaskilla (36, 41). 100 % happi vaihtaa mahdollisimman paljon inerttikaasua pois sisäänhengitysilmaasta, nopeuttaen siten typen poistumista kudoksista (37). Potilas asetetaan selinmakuulle ja altistuminen kylmälle estetään (9, 601). Sukeltajataudista kärsivälle potilaalle suositellaan selkääsentoa, jolloin sydämen minuuttivirtaus jakautuu tasaisemmin kudoksiin ja inerttikaasun poistuminen nopeutuu (1). Sukellusonnettomuuspotilaan

peruselintoiminnot tulee turvata (9, 601). Sukeltajantautipotilaan hoitoa käsitellään tarkemmin opinnäytetyön kappaleessa 5.3.

Sukeltajantaudin oireiden esiintyvyyttä todetuissa sukeltajantautitapauksissa kuvataan alla olevassa kuvassa (Kuva 7).



Kuva 7. Sukellussairauden oireiden esiintyvyys (9, 601)

Tyyppi 1 sukeltajantaudin oireita ovat vaikeasti paikannettavat lihas- ja nivelkivut, ihon kutina, punoitus, laikukkuus tai turvotukset (9, 600). Nivelkivut ovat seurausta nivelten läheisyydessä ja nivelkapselissa tapahtuvasta kaasun kuplimisesta ja iho-oireet paikallisen verenkierron heikkenemisestä (33). Ihon laikukkuutta ei tule sekoittaa mahdolliseen painevammaan iholla, jonka on aiheuttanut sukelluksella käytetty sukelluspuku (29).

Tyyppi 2 on vakavampi muoto sukeltajantaudista. Suleltajantaudin tyyppin 2 oireet; hengitysvaikeudet, desaturaatio, keuhkopöhö, tajunnan häiriöt, motoriset pareesit tai halvaukset, tunto-, näkö- tai tasapainohäiriöt, poikkeava väsymys, sydämen akuutti vajaatoiminta ja rytmihäiriöt. (31.) Tyyppin 2 oireet ilmenevät siis neurologisina sekä sydän- ja keuhko-oireina (9, 600). Neurologiset oireet esiintyvät yleisimmin toispuoleisina. Pidemmälle kehittyneen tyyppin 2 neurologisia oireita ovat lisäksi näköhäiriöt, puheenvaikeus, muistamattomuus, lihasheikkous, kävelyvaikeudet, rakon toiminnanhäiriöt, nystagmus, kouristukset, hemiplegia, paraplegia ja kooma. Sydän- ja keuhko-oireina esiintyy rintakipua sekä takykardiaa ja muita rytmihäiriöitä, hengenahdistusta, hyperventilaatiota ja äkillistä hengitysoireyhtymää. (29.) Tyyppin 2 sukeltajantaudissa on oleellista saattaa potilas painekammioon mahdollisimman nopeasti (36, 40).

Sukeltajantaudin myöhäisoireisiin liittyy osteonekroosi, joka syntyy kuplien aiheuttamien verenkiertohäiriöiden seurauksena luissa. Merkit eivät näy heti, vaan yleisimmin vasta usieden kuukausien kuluttua. (21.) Luukuolio voi ilmetä vasta jopa vuosien kuluttua sukeltajantaudin sairastamisesta ja saattaa syntyä jo yhdenkin sukelluksen jälkeen (20, 144). Hoitamattoman, myöhään tai epätäydellisesti hoidetun sukeltajantaudin jälkioireina ilmenee mahdollisten keskushermosto-oireiden lisäksi tyyppillinen aseptinen luunekroosi. Useita viikkoja tai jopa vuosia tapahtuman jälkeen kehittyy luukuolioita ja hypoksian pohjalta syntyneet vauriot paikallistuvat tyyppillisesti lähelle nivelpintoja. Spesifistä hoitoa aseptiselle luunekroosille ei ole. (32.) Luuytimen rasvakudos luovuttaa normaalin rasvakudoksen tavoin hitaammin kaasuja, joten luuytimen rasvakudos on pitkällä alttiinaoloajoilla vaarassa vaurioitua kuplista. Rasvakudoksen vaurioituminen laukaisee koagulaation ja sen seurauksena trombeja, jotka johtavat iskemiaan luukudoksessa. Tätä kutsutaan dysbaariseksi osteonekroosiksi. (29.) Koagulaatio on veren ja muiden elimistön nesteiden muuttumista kiinteämpään muotoon. Yleisin oire on vähentynyt liikkuvuus nivelessä yhdessä niveltulehdusoireiden kanssa (22, 17-1). Korkea monimuuttuja veressä, PAI-1 (plasminogen activator inhibitor-1) altistaa trombeille. Riskitekijöitä dysbaariselle osteonekroosille ovat ikä, sukelluskokemus, maksimi sukellussyvyys ja PAI-1 tekijä. (29.) Myöhäisoireina on todettu myös kuplien vaurioittaman selkäytimen johdosta virtsan pidätyskyvyn heikkenemistä ja impotenssia (21).

Sukeltajataudin diagnostiikka perustuu esitietoihin sekä kliiniseen epäilyyn. Mikään yksittäinen kuvantamis- tai laboratoriotutkimus ei sulje pois diagnoosia. Ääritilanteessa voidaan havaita ilmaa aivoverisuonissa tai sydämessä. (31.) Carean ensihoidon vastuulääkäri, Petri Loikas, toteaa haastattelussaan; *Vaikeaoireisiin tilanteisiin liittyy monesti "kovan" diagnostiikan ja hoidon tarvetta, esim. hypoksialöydös tarkoittaa että mahdollinen tarve pleuran dreenaukseen pitää tunnistaa (esimerkiksi keuhkokuvalta) ja toimenpide pitää tehdä ennen pitkää siirtoa riippumatta paineistuksen kiireestä. Usein joudutaan siksi tukeutumaan KOKSiin näissäkin tapauksissa.* (35). Sukeltajantautipotilaalta tulee sulkea pois ilmarinta, joka hoitamattomana on vasta-aihe ylipainekammiohoidolle. Lieväoireinen ja hyväkuntoinen potilas voi hakeutua suoraan ylipainekammiohoitoon ilman kuvantamistutkimuksia tai laboratoriotutkimuksia. (31.)

Valtimokaasuembolia (AGE) on keuhkobarotrauman vaarallisin ja myös yleisin muoto (8). Tavallisimmin valtimokaasuembolia syntyy keuhkojen repeämän seurauksena (9, 600). Vedessä sukeltaessa valtimokaasuembolia johtaa lähes poikkeuksetta kuolemaan. Ensioireena on useimmiten tajuttomuus, joka ilmaantuu lähes heti pintaan tulon jälkeen. Tällöin aivovaltimoissa ja sydämessä on jo niin paljon kaasua, ettei mikään elvytys tai painekammiohoito ehdi pelastaa potilasta. (34.) Ilmakuplat kulkeutuvat yleisimmin oikeaan kaulavaltimoon aiheuttaen kehon vasemman puolen halvauksen (20, 72). Tila ei ole kliinisesti heti todennettavissa, joten tehoelvytystä kannattaa mahdollisuuksien mukaan yrittää. Kyseessä voi olla ilmarinta, mediastinaaliemfyseema tai edellämainittujen ja sukeltajataudin eriasteinen kombinaatio. (33.) Valtimokaasuemboliaa voi esiintyä yksin, mutta useimmiten se esiintyy sekamuotoisena oirekuvana sukeltajataudin kanssa (36, 39). Aaltoilevat oireet, jotka häviävät välillä, ovat merkinä vakavasta tilasta (34).

Oireet alkavat pian pintaan nousun jälkeen, joskus jopa jo vedessä. Tajuissaan olevilla saattaa olla hengitysvaikeutta, hengenahdistusta, rintakipua, tajunnan häiriöitä tai verenkiertohäiriöitä. (9, 600.) Valtimokaasuembolian oirekuva riippuu siitä, mihin elimeen kaasukuplat kulkeutuvat. Keskushermosto-oireita ovat sekavuus, halvaukset, kouristelu ja tajunnan häiriöt sekä sydämessä iskemia, infarkti, rytmihäiriöt ja pumppaustoiminnan romahtaminen. (31.) Syynä valtimokaasuemboliaan on ylipaineesta aiheutunut alveolien repeäminen. Repeämän seurauksena hengityskaasut kulkeutuvat keuhkolaskimon kautta vasempaan eteiseen ja sieltä edelleen vasemman

kammion kautta systeemiseen verenkiertoon, jossa kuplien kohteena ovat aivot ja/tai sydämen koronaarisuonet. Seurauksena on aivo- ja/tai sydäninfarkti. Lopputuloksena on usein väistämättä kuolema. (8.) Valtimokaasuembolian diagnoosina on potilaan oirekuva sekä kliininen epäily (18).

Keuhkojen barotraumat eli painevammat johtuvat kaasujen tilavuuden muutoksesta ympäröivän paineen muuttuessa. Keuhkojen paine tasaantuu sukelluksen aikana normaalisti itsestään jos ilmatie on avoinna. (20, 63). Riittävä altistus keuhkovaurion saamiselle saavutetaan noin 92-120 cmH₂O ylipaineessa (8), tämä vastaa siis noin metrin syvyyttä vedessä (23, 430). Barotrauman syy on keuhkojen ylitäyttö sukeltaessa (8). Yleensä keuhkokudoksen repeämä saadaan nousun aikana siirryttäessä korkeammasta ympäröivästä paineesta matalampaan ympäröivään paineeseen ilmatien ollessa suljettuna. Tällöin keuhkoissa oleva kaasu laajenee pääsemättä poistumaan vapaasti (25, 361). Keuhkovaurio voidaan saada ilman sukeltajan ympäröivän paineen muutosta, koska keuhkovaurio voi ilmaantua myös äärimmäisen voimakkaassa Valsalvan manööverissä. Valsalvan manööveriä käytetään tasattaessa välikorvan painetta sukelluksen aikana. (8.) Keuhkojen barotrauman seuraukset riippuvat kaasun purkautumisreitistä. Keuhkojen barotrauman seurauksena voi ilmetä valtimokaasuemboliaa, ilmarinta tai paineilmarinta, mediastinaaliemfyseema tai keuhkokudoksen vaurioita (22, 11-2). Kaikkiin keuhkojen ylipainevammoihin laitesukellusonnettomuuksissa voi joissain määrin liittyä myös ilman kulkeutumista suoraan verenkiertoon (8).

Ilmarinta (pneumothorax) ja jänniteilmarinta (tension pneumothorax) luokitellaan kuuluvaksi keuhkojen barotraumoihin. Ilmarinta tapauksissa keuhkokudoksen vaurioitumisen seurauksena ilmaa pääsee vuotamaan keuhkopussiin. Ilmarinnassa keuhkopussiin päätynyt ilma pääsee myös poistumaan samaa reittiä kuin on sinne päässytkin. Yksipuolisena ilmarinta ei yleensä ole vakava, jos siihen ei liity jänniteilmarintaa. (38.) Jänniteilmarinnassa keuhkopussiin vuotanut ilma ei pääse poistumaan aiheuttaen paineen nousun vamma puolen keuhkossa. Jänniteilmarinta on hoidettava välittömästi laukaisemalla keuhkon ylipainetila. (18.) Jänniteilmarinta hoidetaan välittömästi neulatorakosenteesillä (9, 602). Ilmarinta korjaantuu dreenaamalla ja hoitamattomana jänniteilmarinta saattaa olla fataali (33). Hoitamaton ilmarinta on vasta-aihe ylipainehappihoidolle, joten se on hoidettava ennen painekammioon menoa (32). Carean ensihoidon vastuulääkäri Petri Loikas ohjeistaa

seuraavaa; *`Keuhkojen barotraumaan liittyy usein ilmarinta, jolloin positiivinen painehengitys ilman pleuradreeniä on vasta-aiheista spontaanihengityksen ollessa riittävä. Happihoito voidaan tässä tilanteessa toteuttaa varaajamaskilla.`* (35).

Välikarsinan ilmapöhö (mediastinaaliemfyseema) on tila, jossa keuhkokudos on rikkoutunut rintakehän keskeltä, henki- ja ruokatorven ympäriltä (8). Ilman purkautumista välikarsinaan kutsutaan myös nimellä pneumomediastinum (9, 600). Tällöin ilmaa pääsee vuotamaan välikarsinaan rikkoutuneesta keuhkokudoksesta (8). Välikarsinan ilmapöhössä tyypillinen oire on kaulan paksuuntuminen ja ihonalainen emfyseema, joka tuntuu krepitaationa palpoitaessa ihoa kaulan ja rintakehän yläosan alueelta. Potilas saattaa tuntea kipua rintalastan takana ja lievää hengitysvaikeutta. (8.) **Subkutaaniemfyseemassa** ilmaa purkautuu ihon alle (9, 600).

Ensiapu kaikissa laitesukellusonnettomuuksissa on happi mahdollisimman suurella sisäänhengityspitoisuudella (FiO_2), heti kun hapen annostelu on mahdollista. Välikarsinan ilmapöhö korjaantuu itsestään tai muun painekammiohoidon aikana. (33.) Laitesukellusonnettomuuteen liittyvässä hengitysvaikeudessa tulee ensihoito tapahtua tilannekohtaisesti päivystävän lääkärin hoito-ohjeen mukaan (35).

Kaikki kauhkojen painevammapotilaat, jotka ovat jääneet henkiin, ovat kärsineet muun muassa hengitysvaikeudesta, syanoosista ja/tai verisistä ysköksistä sekä eriasteisista neurologisista akuuttioireista (33). Keuhkojen painevaurio ilmenee hengenahdistuksena, hengitysvaikeutena sekä rintakipuna ja ilma voi hakeutua pleuratilaan (ilmarinta), mediastinumiin (välikarsinan ilmapöhö), ihon alle (subkutaaniemfyseema) tai keuhkolaskimoiden kautta systeemiverenkiertoon (AGE). Keuhkojen painevaurio diagnosoidaan kliinisen tutkimuksen ja thorax- tai keuhkokuvan avulla. (18.)

5.2.2 Ilmaonteloiden painevammat

Välikorvan ja nenän sivuontelot ovat limakalvon verhoamia onteloita (20, 63). Vesisukeltamiseen liittyy aina ympäröivän paineen muutos, joka aiheuttaa Boylen lain mukaisesti aina kaasun virtausta joko ilmäteiden onteloihin tai sieltä pois (25, 362). Jos vapaa ilman virtaus estyy ympäröivän paineen muuttuessa, kehittyy kyseiseen

onteloon joko yli- tai alipaine. Paineen muutos suljetussa ilmatilassa voi aiheuttaa painevaurioita. Yleisimmin painevammat sukeltajalla esiintyvät nenän ja korvien alueella. (34.)

Alipainevamma syntyy aina sukeltajan laskeutuessa syvemmälle, suurempaan ympäröivään paineeseen. Tällöin ilma pyrkii virtaamaan onteloon päin saavuttaakseen tasapaineisen tilan. Mikäli paineen tasaaminen ei onnistu, aiheuttaa syntyvä alipaine painevaurion. (34.) Yleisin alipainevamma esiintyy välikorvassa (22, 9-4.). Ylipainevamma syntyy aina sukeltajan noustessa matalammalle, pienempään ympäröivään paineeseen. Tällöin ilma pyrkii virtaamaan ontelosta ulospäin saavuttaakseen tasapaineisen tilan. Mikäli tämä ei onnistu, aiheuttaa syntyvä ylipaine painevaurion. (34.)

Rikkoutunut tärykalvo tai ehjä tärykalvo, mutta selvät merkit painevauriosta tärykalvolla tai välikorvassa aiheuttavat sukelluskiellon. Sukelluskielto on voimassa kunnes sukelluslääkäri on todennut tilanteen normaaliksi. (34.) Jos sukellusonnettomuuspotilaan ainoana oireena ilmenee korvakipua tai tukkoisuuden tunnetta, voi sukellusonnettomuuspotilas hakeutua itse lääkärin arvioitavaksi. Ambulanssikuljetus ei tällöin ole aiheellista. (35.)

Sisäkorvan painevamma syntyy yleisimmin laskeutumisen aikana välikorvan paineentasausongelman seurauksena (34). Sisäkorvan painevammat ovat paljon harvinaisempia kuin välikorvan vammat (20, 89). Sisäkorvaan kuuluvat eteinen, simpukka ja kaarikäytävät (25, 161). Sisäkorva on nesteellä täytetty ja yhteydessä välikorvaan soikean ja pyöreän ikkunan välityksellä (25, 160). Tärykalvon pullistuessa sisäänpäin ja äkillisesti revetessä, voi kuuloluiden välityksellä siihen yhteydessä oleva pyöreä ikkuna revetä välikorvan puolelle. Tämä aiheuttaa sisäkorvassa olevan nesteen valumista välikorvaan. (22, 9-12.) Sisäkorvan pyöreän tai soikean ikkunan rikkoutuminen voi aiheuttaa voimakasta, pysyvää ja ponnistuksessa pahenevaa kiertotyypistä huimausta, korvan soimista ja kuulon alenemaa (34).

Sisäkorvassa sijaitseva tasapainoelin välittää tietoa asennosta, jotta sukeltaja tietää mikä on ylhäällä ja mikä alhaalla (25, 164). Sukelluksen aikana suuntavaiston kadottaminen voi koitua kohtalokkaaksi, koska sukeltajan on vaikea havaita missä suunnassa on pinta. Sisäkorvan painevauriota epäiltäessä on potilas kuljetettava

lähimpään operoivaan korvayksikköön päivystyksenä. Potilas kuljetetaan makuulla ja pää puoli kohotettuna (34).

Välikorvan painevamma syntyy korvan eri osien välisestä paine erosta. Välikorvaan kuuluva välikorvan ontelo on yhteydessä nieluun korvatorven välityksellä (25, 160). Sukeltaja havaitsee ulko- ja välikorvan välisen paine-eron jo noin 30 cm syvyydessä. Ellei painetta saada tasattua alkaa kipu korvassa parin metrin syvyydessä. (20, 89.) Kiputuntemus pahentuu paineen edelleen kasvaessa, kunnes tärykalvo repeää ja kipu helpottaa (22, 9-5). Ellei paineen tasaaminen laskeutumisen aikana korvatorven kautta välikorvaan onnistu, voi tärykalvo revetä sisäänpäin (34). Tärykalvon puhjetessa syntyy huimausta, nystagmusta, pahoinvointia ja desorientaatiota (32).

Ympäröivän paineen muutos välittyy välikorvaan kehon nesteiden ja kudosten välityksellä aiheuttaen kaasun puristumista kasaan välikorvaontelossa (22, 9-4). Nousun aikana välikorvan ilmanpaine tasaantuu yleensä itsestään, mutta korvatorven tukkeutuminen nousun aikana voi aiheuttaa tärykalvon repeämisen ulospäin (34). Syynä on usein hoitamaton ylähengitystieinfektio tai allergia (32). Nousun aikana ilmenevä välikorvan painevamma on vakavampi kuin laskun aikana ilmenevä. Nousun aikana ilmaantuvalla painevammalla altistaa limakalvoturvotusta vähentävien lääkeaineiden käyttö sukelluksen aikana (22, 9-9).

Paineen muutoksen aiheuttama vaurio välikorvassa on laitesukelluksessa yleisin terveydellinen ongelma (32). Välikorvan painevaurion oireina ovat kipu, tukkoisuus, lievä korvan soiminen ja kuulon huonontuminen (34). Revenneeseen tärykalvoon liitetään usein huimauksen tunnetta, joka aiheuttaa pahoinvointia. Merkkinä välikorvan painevauriosta voi myös olla verenvuoto nenästä tai suusta, johon veri on valunut korvatorvea pitkin välikorvasta. (22, 9-6.) Revenneen tärykalvon kautta voi välikorvaan päästä kylmää vettä, joka aiheuttaa huimausta ja tasapainohäiriöitä (20, 89). Vaurioitunut tärykalvo on aina esteenä sukellukselle (22, 9-4).

Ulkokorvan painevamma syntyy tärykalvon ulkopuolisen paineen johdosta. Ulkokorvaan kuuluvat korvalehti ja korvakäytävä (25, 159). Korvakäytävän painevamma voi syntyä laskeuduttaessa, korvakäytävän suun ollessa tiiviisti peitettynä hupulla tai korvavahan tukkiessa korvakäytävän (22, 9-3). Sukeltaja pystyy tasaamaan paineen välikorvassa tärykalvon sisäpuolella, mutta suljettu ilmaontelo muodostuu korvakäytävään tärykalvon ja korvakäytävän tukkeutumisen aiheuttavan

esteen välille (34). Korvakäytävän painevammoja esiintyy erityisesti pää edellä laskeuduttaessa (20, 88).

Oireena on korvan kipeytyminen laskeutuessa paineentasauksen onnistuessa kumminkin ongelmitta (34). Kipu aiheutuu alipaineesta korvakäytävässä aiheuttaen tärykalvon pullistumista ulospäin, korvakäytävän turvotusta ja jopa mahdollisesta veren tihkumista korvakäytävään (22, 9-3.). Korvakäytävän alipaineesta voi vakavimmillaan seurata tärykalvon repeytyminen ulospäin. Potilasta tutkittaessa voidaan havaita korvakäytävän punoitusta, mustelmia, rikkoutunut tärykalvo ja veren vuotoa korvakäytävästä. (34.)

Sivuontelon painevamma syntyy paineentasauksen ongelmasta nenäontelon ja sivuontelon välillä. Sivuentelot ovat yhteydessä nenäonteloon sen sivuseinämissä olevien pienien aukkojen välityksellä (25, 357). Nenän sivuontelot ovat yleensä aina avoinna, joten paine niissä tasaantuu itsestään (20, 68). Tavallisimmin painevamma syntyy laskeutumisen aikana luonnollisen ilmakehän ollessa joko kokonaan tai osittain tukossa limakalvoturvotuksen takia. Ilmakehän tukkeutumisesta aiheutuva alipaine johtaa kudosten turvotukseen tai kudoksen tihkumiseen ilmaonteloon (22, 10-2). Vilustumisen tai influenssa saa usein nenän limakalvot turpoamaan, joka saattaa tukkia nenäontelon sivuonteloiden aukot kokonaan (25, 357). Tämän vuoksi vesisukellusta tuleekin välttää akuuteissa ylätieinfektioissa, influenssassa tai nuhakuumeessa (20, 68).

Sivuonteloiden painevammat esiintyvät otsa-, poski- ja kitaonteloissa (34). Jos sukeltamista jatketaan kiputuntemuksesta huolimatta, voi aiheutua limakalvoturvotusta sekä veren ja kudoksen tihkumista onteloon ontelon limakalvoista (20, 68). Sivuentelön painevamman oireena on kipua ja paineen tunnetta kyseisen ontelon alueella sekä mahdollinen nenä verenvuoto ontelon vaurioituneen limakalvon vuoksi (34). Sivuentelöiden painevammat voivat oireilla myös hammaskipuna ylähampaissa tai aiheuttaa puutumisen tunnetta poskessa yläleukahermon joutuessa pinteeseen (22, 10-3).

Nenän tukkoisuutta hoidetaan yleensä nenätippoilla, jotka vähentävät turvotusta limakalvoissa (25, 357). Harvinaisempi, mutta vakavampi sivuentelön painevamma syntyy limakalvon turvotessa sukelluksen aikana (34). Tämä voi johtua esimerkiksi nenätippojen tai allergialääkkeiden käytöstä, joiden limakalvojen turvotusta vähentävä

vaikutus lakkaa sukelluksen aikana. Tällöin paine ontelossa on tasaantunut alaspäin mentäessä, mutta ei enää pääse purkautumaan luonnollista reittiä nousun aikana. (22, 10-3.) Ontelossa laajeneva ilma voi jopa aiheuttaa luiden murtumista. Ilmaa voi joutua kallon sisään aiheuttaen ilmakallon tai vaurioita näkö- ja kolmoishermostossa, jos sukeltaja ei keskeytä nousuaan (34).

Sivuontelon painevamma, johon liittyy pääkipua tulee aina tutkituttaa lääkäriellä, koska myös sukeltajantauti voi ilmetä ainoastaan pääkipuna. Yleensä sivuontelon painevamma paranee itsestään, mutta sukeltamista tulee välttää kunnes oireet ovat hävinneet. (22, 10-4.)

Muita painevammoja voi syntyä aina, kun ilmaa on suljetussa tilassa. Tällaisia ilmatiloja voi syntyä ihon ja sukellusvarusteen väliin. (22, 12-1.) Painevammoja voi syntyä myös kaikissa muissa elimistön onteloissa (32). Sukelluksella käytettävä maski ja kuivapuku voivat myös aiheuttaa barotraumoja iholle tai silmiin (30). Maskin sisäisen paineen tasaamisongelma voi ilmetä verenpurkauksina silmissä ja puvun aiheuttama alipaine mustelmina iholla (22, 12-2). Suljettu ilmatila voi aiheuttaa painevamman myös suolistossa tai hampaissa (20, 65). Nousun aikana, ympäröivän paineen laskiessa pääse suolistossa oleva kaasu laajenemaan ja se voi aiheuttaa vatsakramppeja, kipua ja pahoinvointia. (22, 12-4.) Hampaissa olevat paikat voivat ajan mittaan irrota hieman. Paine paikan alla voi päästä tasaantumaan laskeutumisen aikana, mutta irrallaan oleva paikka voi estää laajenevan ilman poistumisen nopean nousun aikana. Tämä voi johtaa paikan irtoamiseen kokonaan tai jopa hampaan hajoamiseen. (22, 12-5.)

Sinus caroticus-refleksi aiheuttaa verenpaineen laskua ja sykkeen hidastumista. Tämän seurauksena sukeltaja voi jopa menettää tajuntansa. (20, 95.) **Vena jugularis – syndroomassa** on kuvattu myös samankaltaisia oireita, jolloin sukeltaja on mahdollisesti menettänyt tajuntansa aivojen laskimopaluun estymisen johdosta (22, 35-5). Kyseiset tilat saattavat syntyä esimerkiksi kiristävän kuivapuvun kaulamansetin tai muun kaulan alueelle puristusta aiheuttavan varusteen seurauksena. Tämä mainittakoon muistutuksena, vaikkei varsinaisesti kuulukkaan painevammoihin.

5.2.3 Sukelluskaasujen aiheuttamat ongelmat

Laitesukeltaja hengittää kaasua sukelluksensa aikana ja sukeltajaan kohdistuu sitä suurempi ympäröivä paine, mitä syvemmälle sukeltaan (23, 430). Yleisimmin sukelluksilla hengityskaasuna käytetään paineilmaa, mutta myös seoskaasuja voidaan käyttää paineilman sijaan. Tekniikkasukelluksessa paineilma voidaan korvata muulla kaasuseoksella, jos paineilma ei sovellu suoritettavalle sukellukselle esimerkiksi syvyyden tai keston takia (20, 135). Seoskaasuissa kaasujen pitoisuudet poikkeavat paineilmosta ja tavoitteena on saavuttaa sopiva kaasujen osapaine aiotun sukelluksen suorittamiseksi. Yleisimpiä seoskaasuja ovat Nitrox, Trimix ja Heliox joissa normaalia paineilmaa on rikastettu hapella (nitrox) tai typpeä on korvattu jollakin inerttikaasulla (trimix, heliox). Käytettävää hengityskaasua saatetaan myös vaihtaa sukelluksen aikana ja pukukaasuna käyttää hengitykseen kelpaamatonta kaasua kuten Argonia. (22, 43-1 – 3.) Argon on 2,33 kertaa narkoottisempaa kuin typpi (20, 95), joten pukukaasun päästessä sekoittumaan hengityskaasuun voi sukeltaja kohdata odottamattomia ongelmia. Rikastetulle ilmalle tarkoitetut säiliöt tulee olla merkitty standardisoiduilla tarroilla tai merkinnöillä ja värikoodeilla säiliössä, jotka ovat kansainvälisen sukellusyhteisön yhteisesti sopimia ja hyväksymiä. (39, 9.) Kohdattaessa tajuton tai disorientoitunut laitesukelluspotilas ensihoitotilanteessa, pitää sukelluksen aikana käytetty hengityskaasu pystyä tarkastamaan sukelluspullossa olevasta merkinnästä. Vaihtoehtoisesti käytetty sukelluskaasu selvitetään sukellusparilta.

Pelastustoimen yleisimmin käyttämä hengityskaasu on paineistettu ilma, joka riittää koulutussyvyyden mukaisten vesisukellustehtävien suorittamiseen. *‘Suurin sukellussyvyys on sukeltajan saama koulutussyvyys. Mikäli tehtävän kiireellisyys edellyttää syvemmälle sukeltamista voidaan laitekohtaiset vaatimukset huomioiden ja sukeltajan suostumuksella sukeltaa syvemmälle. Koulutussyvyyttä voidaan lisätä palokunta kohtaisella harjoittelulla tai alan täydennyskoulutuksella.’* (19, 6). Ehdottomana syvyysrajana ammattimaisilla sukeltajilla paineilmaa käytettäessä tulisi pitää 50 metrin syvyyttä (22, 18-1).

Happi on solujen toiminnalle välttämätöntä. Ihmisen elimistö on sopeutunut elämään ympäristössä, jossa on noin 0,21bar suuruinen hapen osapaine. Sukeltaessa ihmisen elimistö on alttiina korkeammalle hapen osapaineelle. (20, 91.) Laitesukelluksessa

happimyrkytyksen riski kasvaa, kun pO_2 (hapen osapaine, partial oxygen pressure) nousee yli 1,4 bar (40, 23). Tämä vastaa paineilmalla sukeltaessa noin 56 metrin syvyyttä (22, 2-10). Kaasuseoksen pO_2 ollessa yli 1,6 bar on happi toksista keskushermostolle. Kyseinen happiosapaine saavutetaan paineilmasukelluksella 66 metrin syvyydessä ja puhtaalla hapella 6 metrin sukellussyvyydessä. Happimyrkytyksen voi saada matalammallakin hapen osapaineella. Sukeltaessa Nitrox-kaasuseoksella, jossa on happea kaasuseoksessa yli 21 %, on happimyrkytys mahdollinen jo normaaleilla harrastussukellussyvyyksillä. (18.) Happi ei aiheuta ongelmia sukeltajalle muodostamalla sukeltajantautia aiheuttavia kuplia elimistöön, mutta muuttuu toksiseksi keskushermostolle osapaineen kasvaessa (22, 21-1 – 21-5). Hengitettäessä paineilmaa saavutetaan hapen toksinen osapaine 66 metrin syvyydessä ja 100% happea käytettäessä tämä osapaine saavutetaan jo 6 metrin syvyydessä. Tätä tilaa kutsutaan hyperoksiaksi. (36, 39.)

Happimyrkytyksen oireita ovat huimaus, pahoinvointi, korvien soiminen, näkökentän kaventuminen, lihasten nykinä, kouristelu ja mahdollinen tajuttomuus (7). Nämä voivat osaltaan johtaa poikkeavaan nousunopeuteen sekä etappi- ja turvapähdysten laiminlyömiseen. Happimyrkytys ilmenee usein tajunnan menetyksenä ja yleistyneenä kouristeluna sukelluksen aikana, joka voi johtaa hukkumiseen. (18.) Vakavat keskushermosto-oireet voivat tulla äkillisesti ilman ennakko-oireita (7). Keuhkotoksisuus ilmenee yleensä keskushermostovaikutuksia hitaammin, mutta pienemmässä osapaineessa (22, 21-1). Hapen keuhkotoksisuuden oireina ovat polte rintakehällä, yskä ja hengenahdistus. Tämä johtaa myöhemmin vitaalikapasiteetin alenemiseen ja keuhkoödeemaan. (7.)

Sukeltaessa saattaa altistua happimyrkytykselle käytettäessä suljetun- tai puolisoljetunkiertokoneita, käytettäessä avoimen kierron laitteissa seoskaasua, saturaatiosukelluksilla, käyttämällä happea dekompressiopysähdyksillä tai märkärekompensiossa (20, 91). Tekniikkasukeltajilla hypoksinen kaasuseos, jossa pO_2 on alle 0,1 bar johtaa myös tajuttomuuteen. Tämä on erityinen ongelma sukeltaessa suljetun kierron laitteilla. (18.) Hapen aiheuttamat ongelmat pelastuslaitoksen vaesisukelluksella eivät ole todennäköisiä, jos turvaohjeita on noudatettu. Sukelluksia ei yleensä suoriteta syvyyksissä, joissa oireita ilmenee. (19, 28.) Pelastustoimen yleisesti käyttämät vesisukelluslaitteet perustuvat avoimeen kiertoon ja hengityskaasuna käytetään paineilmaa.

Typpi ei ole kemiallisesti kovinkaan aktiivinen aine, mutta korkean paineen alaisena sillä on ihmiseen huumaavia vaikutuksia (20, 94.). Typen aiheuttaman narkoosin eli syvyyshumalan riski kasvaa, kun pN_2 (typen osapaine, partial nitrogen pressure) nousee yli 3 bar. Tämä vastaa noin 30 metrin syvyyttä sukeltaessa paineilmailla. (22, 18-1.) Typen suurin sallittu osapaine sukeltajaliiton mukaan on 3,9 bar (40, 23) eli noin 39 metrin vesisyvyys. Typen narkoottiset vaikutukset ovat henkilökohtaisia ja vaikutusten alkaminen voi vaihdella samallakin henkilöllä eri sukelluskertojen välillä. Typen narkoottisen vaikutuksen toleranssia voi myös kasvattaa totuttautumalla portaittain kasvavan syvyyden aiheuttamaan ympäröivän paineen kasvuun. (22, 18-2.) *‘Pelastussukeltajan alttius typpihumalaan tulisi tutkia painekammiossa ennen yli 30 metrin sukelluksia.’* (19, 27). Harrastussukeltajan ei tulisi ylittää 30 metrin syvyyttä ja syvä sukelluksiin harjaantuneen, kokeneen sukeltajan äärimmäinen raja tulisi olla 40 metriä (20, 94). Suurin turvallisena pidetty syvyys kokeneelle, paineilmaa käyttävälle ammattimaiselle sukeltajalle on 50 metriä (22, 18-1).

Typen aiheuttaman kaasunarkoosin oireita ovat humalaan verrattavissa oleva hyvän olon tunne, itseluottamuksen kasvaminen, keskittymis-, päättely-, ja huomiokyvyn heikkeneminen, motoristen taitojen lasku ja pelkotilat (7). Tyypestä aiheutuva kaasunarkoosi voi johtaa välinpitämättömyyteen, turhaan riskinottoon sekä kognitiivisen ja motorisen suorituskyvyn heikkenemiseen veden alla (18). Oireet voivat saada aikaan tahattoman vajoamisen syvemmälle, joka johtaa edelleen tilan pahenemiseen tai vaikeuksiin tasapainotuksen hallinnassa, joka voi aiheuttaa tahattoman ja liian nopean nousun (7). Typen narkoottinen vaikutus ilmenee yleensä muutaman minuutin sisällä saavutettaessa narkoottisia oireita aiheuttava syvyys. Oireet eivät enää pahene altistuksen jatkuessa samassa syvyydessä. (22, 18-2.) Korkea typpikaasun osapaine hengityskaasussa heikentää myös elimistön lämmönsäätelyjärjestelmää altistaen sukeltajan kehon ydinlämmön alenemiselle sukelluksen aikana. Tämä heikentää puolestaan sukeltajan henkistä ja fyysistä suorituskykyä, josta voi seurata vakavia virhearvioita. (7.) Käytännöntaitojen laskua, toimintakyvyn alenemista ja mahdollista näkökentän kaventumista saattaa myös esiintyä (20, 94). Ongelmien ilmaantuessa typen aiheuttamasta kaasunarkoosista kärsivä sukeltaja ei välttämättä tiedosta oireita tai käyttäytyy välinpitämättömästi (22, 18-2) eikä välttämättä muista pinnalla veden alla tekemäänsä tehtävää (20, 94).

Typpikaasun aiheuttamassa kaasunarkoosissa heikkenevät ensin korkeimpia aivotoimintoja edellyttävät kyvyt kuten päättely- ja huomiokyky (20, 94). Typen vaikutuksia kuvaamaan on luotu ns. Martinin laki (22, 18-3), jonka mukaan typen vaikutuksen suhde sukellussyvyyteen esitetään seuraavassa taulukossa (Taulukko 5).

20 – 30 metriä:	Lievää epätarkkuutta suoritettavassa tehtävässä ja euforian tunnetta.
30 – 50 metriä:	Itseluottamuksen kasvua ja väliinpitämättömyyttä, vaikeuksia suorittaa vaadittua tehtävää, arviointikyvyn heikkenemistä ja levottomuutta.
50 metriä:	Rauhoittuminen, arviointikyvyn menettäminen ja mahdolliset hallusinaatiot.
50 – 70 metriä:	Puheliaisuus kasvaa, pelokkuutta ilmenee.
70 metriä:	Ärsykkeisiin reagoiminen heikkoa, ajattelukyky heikkenee.
70 – 90 metriä:	Muistin menetys, sekavuus.
yli 90 metriä:	Hallusinaatiot, tajunnan menetys.

Taulukko 5. Typpikaasun aiheuttama kaasunarkoosi (22, 18-3)

Tekijöitä, joiden tiedetään altistavan typen vaikutukselle ovat matala älykkyys, väsymys, levottomuus, paleleminen, rauhoittavien lääkkeiden tai alkoholin äskettäinen käyttö sekä huono näkyvyys sukelluksen aikana (22, 18-3).

Hiilidioksidin osapainetta ylläpidetään elimistössä biologisen palautemekanismin avulla kapeiden raja-arvojen välissä (22, 22-1). Elimistön solujen aineenvaihdunnan sivutuotteena syntyy hiilidioksidia, joka poistetaan elimistöstä hengityksen kautta (25, 371). Sukellettaessa syvällä kaasuseos tihenee ja hengitystyö lisääntyy (18). Hiilidioksidin kertyminen sukelluksen aikana voi johtaa hiilidioksidimyrkytykseen (7). Hiilidioksidimyrkytys syntyy kaasujenvaihdon ollessa riittämätöntä

hengitystapahtuman yhteydessä ja uloshengityksen hiilidioksidimäärän lisääntyessä ruumiillisen rasituksen yhteydessä (19, 27).

Hiilidioksidipitoisuuden nousu yleensä kiihdyttää hengityskeskukseen toimintaa, mikä nopeuttaa kaasun poistumista (25, 374). Sukellessa hiilidioksidin kertyminen ei kuitenkaan aina stimuloi hengitysrefleksiä, mikä voi johtaa hiilidioksidiretentioon eli elimistön hiilidioksidiosapaineen nousuun entisestään (7). Syvyyden johdosta kasvaneen ympäröivän paineen vaikutus hiilidioksin osalta on tärkeää. Ihminen sietää 3%:n pitoisuutta merenpinnan tasolla, mutta sama osapaine 20 metrin syvyydessä vastaa 9%:n pitoisuutta merenpinnan tasolla (22, 22-2).

Altistavia tekijöitä hiilidioksidirentiolla ovat raskaat ja syvät sukellukset, joiden aikana sukeltaja hengästyy. Paineilmaa käytettäessä tihtyneen hengityskaasun hengittäminen lisää rasitusta ja sukeltaja voi yrittää pienentää ilmankulutustaan madaltamalla ja hidastamalla hengitystään. (20, 92.) Myös paleminen sukelluksen aikana kasvattaa hiilidioksidirentiota (7). Hiilidioksimyrkytyksen oireita ovat hengenahdistus, päänsärky sekä hukkumiselle altistavat tajunnan häiriöt (18). Nopeasti syntyvä hiilidioksimyrkytys voi johtaa tajunnan menetykseen ennen kuin mitään muita oireita on ehtinyt ilmetä. Hiilidioksidirentio sukelluksen aikana lisää sukeltajantaudin oireiden ilmenemistä, altistaa happimyrkytykselle ja typpinarkoosille sekä lisää hengitystyötä. Ensiapuna on 100% happi ja muiden päänsärkyä ja hengitysvaikeutta aiheuttavien tilojen pois sulkeminen. (22, 22-3 - 22-4.)

Hengityskaasun epäpuhtaudet voivat aiheuttaa sukeltajalle erilaisia oireita. Hengityskaasun kokonaispaineen kasvaessa myös haitallisen kaasun osapaine hengityskaasussa kasvaa. (25, 368.) Hengityskaasun osapaineen kasvu aiheuttaa vakavampia oireita kuin hengitettäessä samaa kaasua normaalissa paineessa merenpinnan tasolla. Esimerkkinä hengityskaasun mahdollisista epäpuhtauksista mainittakoon häkä, joka syrjäyttää happea ja heikentää hapen kuljetusta elimistössä. (36, 40.) Häkämyrkytykselle voi altistaa esimerkiksi hengitysilmakompressorin pakokaasun kulkeutuminen raitisilman ottoyhteeseen, jonka kautta häkää kulkeutuu hengitysilman sekaan (20, 92). Häkämyrkytyksen oireita ovat nopeasti ilmenevä pahoinvointi ja oksentelu, päänsärky sekä tajunnan häiriöt (36, 40). Elimistössä häkä estää hapen hyväksikäyttöä solutasolla sitoutuen verenkiertoon huomattavasti happea nopeammin (20, 93).

Hypoksia tarkoittaa tilannetta, jossa kudokset kärsivät hapen puutteesta. Vakavan hypoksian oireet; sekavuus, levottomuus, aistiharhat ja tajuttomuus johtuvat aivotointojen häiriöistä. (25, 376.) Alle 0,1 bar osapaineessa seuraa tajunnan häiriöitä, jotka johtavat aina tajuttomuuteen ja kuolemaan asti. Tämä vastaa merenpinnan tasolla noin 10% happea sisältävän kaasuseoksen hengittämistä. (7.)

5.2.4 Hypotermia ja hypertermia

Lämpö pyrkii siirtymään korkeammasta lämpötilasta matalampaan ja siirtyminen tapahtuu säteilemällä, johtumalla, kuljettumalla sekä haihtumalla (25, 440). Ihminen pyrkii lämmönsäätelyjärjestelmänsä avulla pitämään ydinosansa tasalämpöisenä (41). Lämmönsäätelyjärjestelmän osalta ihmisen elimistö jaetaan kuorikerrokseen (iho, rasvakudos, lihakset, raajat) sekä ydinosaan (sydän, keuhkot, aivot, sisäelimet) (9, 603). Ydinoa tuottaa lämpöä oman aineenvaihduntansa toimesta ja kuorikerros pyrkii lisäämään tai vähentämään lämpenemistään pintaverenkiertoaan muuttamalla (41). Termoneutraalilla alueella, niin sanotulla mukavuusalueella, ympäristön lämpötila voi vaihdella vaikuttamatta ihmisen aineenvaihduntaan tai ruumiinlämpöön. Termoneutraalilla alueella pelkkä ihon verenkierron säätely riittää pitämään lämmönhukan vakiona. (25, 443.) Elimistön lämpötila ihmisellä on noin 37 °c ja lämmön säätely tapahtuu pääasiassa erilaisten heijasteiden välityksellä. Lämpötilaan reagoivia aistinsoluja ihmisellä on iholla sekä elimistön sisäosissa, jotka keräävät tietoa lämmönsäätelykeskukselle. Lämmönsäätelykeskus toimii termostaatin tavoin tehostaen tai hidastaen lämmöntuotantoa tarpeen mukaan. (25, 444.)

Hypotermia on mahdollinen ihmisen altistuessa matalalle lämpötilalle, jolloin hänen elimistönsä alkaa jäähtymään (9, 603). Suomessa vedet ovat kehon normaalilämpöä selvästi kylmempiä ympäri vuoden, joten hypotermia on pidettävä mielessä aina hoidettaessa vedessä ollutta ihmistä. (41). Hypotermia pelastussukeltajan vesisukellustehtävällä tulee kysymykseen pitkäkestoisilla sukelluksilla, jolloin etappipysähdyksessä joudutaan olemaan pitkään. Mahdollinen kuivapuvun repeäminen kesken sukelluksen voi myös aiheuttaa nopean ruumiinlämmön alenemisen (19, 28).

Hypotermia voidaan jakaa sen vaikeusasteen mukaan (36, 43):

- lievä hypotermia, ydinlämpö 33-35 °C
- keskivaikea hypotermia, 30-32 °C
- vaikea hypotermia, < 30 °C

Hypotermian oireita ovat lievässä hypotermiassa mahdollinen kömpelyys, verenpaineen nousu, hengityksen ja sykkeen kiihtyminen, ääreisosien verenkierron väheneminen sekä lihasvärinä, joka lisää potilaan hapen kulutusta huomattavasti. Vesisukelluksen aikana nämä oireet altistavat tahattomalle ja liian nopealle nousulle sukelluksesta, hengityskaasun loppumiselle. Hypotermia altistaa myös sukeltajantaudin ilmaantumiselle, jos paleleminen tapahtuu turvapysähdyksessä. (41.) Hypotermisen potilaan hoito suoritetaan hoito-ohjeen mukaan, huomioiden mahdollinen sukellussairaus ja painevammat (35). Carean ensihoidon vastuulääkäri Petri Loikas toteaa; *'Hypotermia tulkitaan nopeasti syntyneeksi (erilainen lämpötila elimistön eri osissa) joten lämmityskin tulisi olla nopea ja vaikeassa hypotermiassa lähinnä sentraalinen. Yleensä laitesukelluksiin liittyvä hypotermia on lievä jos potilas on elossa.'* (35).

Hypertermia eli lämpösairaus on mahdollinen myös Suomessa, vaikkakin vedet ovat pääsääntöisesti viileitä lähes ympäri vuoden. Pitkäkestoisessa sukellustehtävässä lämpimässä vedessä, esimerkiksi pelastustehtävä lauhdevesialtaassa, on huomioitava läpökertymän vaikutus. Elimistön neste- ja suolatasapaino voi häiriintyä ja vesisukeltajan nestetasapainosta on huolehdittava koko sukellustehtävän ajan. (19, 8.) Liian eristävä vaatekerros sukelluspuvun alla, paksu sukelluspuku sekä fyysiseen suorituskykyyn nähden liian rasittava sukellus voivat johtaa sukeltajan hypertermiaan (41).

Lämmönsäätelymekanismien pettäessä saattaa seurauksena olla lämpöuupuminen tai lämpöhalvaus. Kehon lämpötilan noustessa sydämen minuuttitilavuus nousee ja ihon perifeeriset suonet laajenevat. Tällöin lämpöä pääsee paremmin poistumaan johtamalla ja säteilemällä ympäristöön. Tärkein elimistön jäähdytyskeino on hikoilu, joka voi runsaana johtaa merkittävään veden ja natriumin menetykseen elimistöstä. (25, 448.) Hikoilu ja verenkierron tehostuminen sukelluksen aikana altistavat sukeltajantaudin kehittymiselle kaasujen imeytymisen tehostumisen johdosta (41).

Tämä lisää riskiä varsinkin silloin, jos sukeltaja palelee fyysisesti rasittavan sukelluksen jälkeen turva- tai etappipysähdyksessä (8).

Elimistö pyrkii pitämään lämmön noin 37 °C:ssa lämmönsäätelyjärjestelmän avulla. Lämmön aiheuttama uupumus johtuu veden tai suolojen puutteesta liittyen lämpöaltistumiseen ja fyysiseen rasitukseen. Oirekuvaan kuuluu janon tunne, heikotus, tukala olo, ahdistus, huimaus, pyörtyily ja päänsärky. (9, 613.) Lämpöhalvauksessa lämmönsäätelymekanismit ihmisellä pettävät täysin ja ruumiinlämpö pääsee kohoamaan hallitsemattomasti (25, 448).

Lämpökouristukset ovat yleensä vaarattomia, mutta sukeltaessa ne voivat aiheuttaa ikäviä ja jopa vakavia seurauksia (41). Hypertermisen potilaan hoito suoritetaan hoito-ohjeen mukaan ja ulkoinen jäähdytys on lämpöuupumuksen keskeistä ensihoitoa (35). *‘Oirekuvan tunnistaminen tyypin II sukeltajantautioireista voi olla hankalaa, työdiagnoosin tulisi perustua todennettuun yllämpöisyyteen.’* toteaa Carean ensihoidon vastuulääkäri Petri Loikas (35).

5.2.5 Hukkuminen

Lähes mikä tahansa tapaturma tai onnettomuus veden alla voi johtaa hukkumiseen (20, 103). Hukkuminen tarkoittaa tukehtumista nestemäiseen väliaineeseen, sukellustapaturmien kohdalla yleisimmin veteen. Lopputuloksena voi olla eriasteinen neurologinen selviäminen tai kuolema heti tai myöhemmin (9, 592). Vesisukelluksessa mahdollinen hukkuminen seuraa lähes poikkeuksetta jonkin muun ongelman ilmaantumista ensin. Hukkumista saattaa edeltää laitevika, hengityskaasusta johtuva ongelma tai sairaskohtaus (7). Laitesukeltajalla voi olla sukeltajantauti, mutta yleisin sukeltajien kuolinsyy on kuitenkin hukkuminen. Hukkumisen on voinut aiheuttaa kouristuskohtaus tai aivoverenvuoto. (42.)

Kiireisin toimenpide on uhrin pelastaminen vedestä. Potilas tulee nostaa vedestä horisontaalisesti, jotta nopeilta verenkierron muutoksilta vältyttäisiin. Nopeat muutokset verenkierrossa voivat aiheuttaa elossa olevalle potilaalle herkästi kammiovärinän. (9, 595.) Hengitysteihin joutunut makea vesi hävittää surfaktantin alveoleista, jonka seurauksena alveolit painuvat kasaan ja syntyy oikovirtausta.

Oikovirtaus keuhkoissa aiheuttaa hypoksemiaa. (42.) Aspiroitu vesi voi aiheuttaa kurkunpään spasmin ja voimakkaat hengityслиikkeet suljettua kurkunkantta vasten aiheuttavat usein keuhkopöhön (36, 37).

Hengitystien avaaminen sekä tehokas ventilaatio ja hapetus ovat tärkeimmät hoidot. Suu ja nielu tyhjennetään vedestä ja varmistetaan tajuttoman potilaan hengitystie välittömästi. Ventilaatio aloitetaan 100 % hapella ja jatkossa pyritään sisäänhengitysilman happipitoisuuteen, jolla verikaasuarojen mukaan saavutetaan normaali happeutuminen. Liian suuret happipitoisuudet voivat haitata neurologista toipumista. Hukkuneen elvytys aloitetaan avaamalla hengitystie ja puhaltamalla viisi kertaa. (42.) Hukkuneen laitesukelluspotilaan elvytyksessä käytetään normaalia hoito-ohjeen mukaista hoitokaaviota, toteaa Carean ensihoidon vastuulääkäri Loikas ja jatkaa *‘Erityishuomio mahdollisen paineilmarinnan kehittymiseen mikäli taustalla on nopea pintaautuminen.’* (35.)

5.3 Laitesukellusonnettomuuspotilaan kohtaaminen ja hoitoon saattaminen

Sukeltajan elimistö reagoi yleensä veden alle menoon sukellusrefleksillä. Sukellusrefleksi ilmenee muun muassa bradykardiana, ventilaation ja autonomisen säätelyn muutoksina sekä verivolyymin uudelleenjakautumisena. Nämä muutokset eivät ole pelkästään eduksi sukeltajalle ja minkään yksittäisen järjestelmän toiminto ei saa pettää veden alla, koska siitä seuraa viime kädessä hukkuminen. (33.) Tässä opinnäytetyössä tarkoitettu ensihoito kattaa ensihoitotoimia hoitovalmiustasosta riippumatta. Ensihoidossa keskitytään potilaan tutkimiseen, hoitoon sekä kuljetukseen laitesukellusonnettomuustilanteessa.

Medi Oxygen Oy:n lääkäri, dosentti Anne Räisänen-Sokolowski, muistuttaa haastattelussa että ylipainehappihoitoa antavaan hoitolaitokseen tulee toimittaa kaikki mahdolliset tiedot edeltäneestä sukelluksesta (43). Anamneesi on tärkeää laitesukelluspotilasta tutkittaessa ja huomiota on syytä kiinnittää myös potilaan muihin sairauksiin ja lääkitykseen, aikaisempiin sukelluksiin ja pinta-aikaan niiden välillä sekä aikaisempiin sukellustapaturmiin (33). Kaikki mahdolliset sukellussairauksien oireet tulee löytyä ensihoitokertomuksesta (19, 30). Tapaturmaa edeltäneestä sukelluksesta on selvitettävä maksimisyyvyys, sukellusaika, mahdolliset

nopeat paineen muutokset (tahattomat nousut), käytetty hengityskaasu ja sukelluslaitteen tyyppi. Oireista selvitetään niiden laatu ja alkamisaika, alkoivatko sukelluksen aikana vai sukelluksen jälkeen, viive oireisiin ja annettu ensiapu. (33.) Myös Carean ensihoidon vastuulääkäri Loikas painottaa mahdollisimman tarkkojen tietojen selvittämistä sukelluksesta; *‘Mahdollisimman tarkat selvitykset sukellusvaiheen tapahtumatiedoista ovat tärkeitä eivätkä saisi jäädä selvittämättä ja dokumentoitumatta.’* (35).

Kohdattaessa laitesukelluspotilas tulee muistaa myös mahdollisuus lääketieteellisen syyn aiheuttamaan tajunnan menetykseen, hengityksen riittämättömyyteen tai elimistön puutteelliseen kykyyn mukautua lisääntyneeseen fyysiseen rasitukseen. Vaikka sukeltamiseen liittyvät lääketieteelliset riskit tulisikin olla suljettu pois ennen laitesukeltamisen aloittamista lääkärintarkastuksella, voi tarkastus olla laiminlyöty kokonaan tai siitä on kulunut aikaa ja elimistöön on syntynyt muutoksia tarkastuksen jälkeen. Tajunnan menetys, hengitysvaikeus tai verenkiertoelimistön ylipaino voivat johtua laitesukellusonnettomuuksissa neurologisista syistä (mm. epilepsia tai muu äkillinen tajunnan häiriö), psykiatrisista syistä (mm. paniikkihäiriö tai vakava mielenterveyden häiriö), psyykenlääkkeiden tai päihteiden käyttö, respiratorisista esteistä (mm. astma, hengitystieinfektiot tai rajoittunut respiratorinen suorituskyky), kardiovaskulaarisista syistä (mm. immersion johdosta lisääntyneet rytmihäiriöt, sydämen vajaatoiminta, vasta sairastettu infarkti tai korkea ja hoitamaton verenpaine), tuki- ja liikuntaelimistön ongelmat ja heikko kunto sekä huomattava ylipaino, diabetes, hematologiset sairaudet (antikoagulaatiohoito pahentaa painevaurioita ja lisää vuotoriskiä vammoissa) sekä otologiset ongelmat. (33.)

5.3.1 Laitesukellusonnettomuuspotilaan neurologinen tutkiminen

Tutkittaessa laitesukelluspotilasta on kiinnitettävä huomiota peruselintoimintojen lisäksi painevammoihin sekä neurologisiin oireisiin. Neurologisessa tutkimuksessa tulee tarkastaa potilaan tajunnantaso, vireystila, lähimuisti ja muu orientaatio, taaksepäin lasku sekä ihotuntomuutokset. (33.) Laitesukelluspotilaan neurologisen tilan selvittäminen on tärkeää, jotta mahdollisen ylipainehappihoidon vaikutusta ja potilaan tilan etenemistä voidaan verrata tapahtumahetken tilanteeseen mahdollisimman samankaltaisesti toistettavalla tavalla. Tähän sopivin tapa olisi

ylipainehappihoitoa tarjoavien hoitolaitosten yleisesti käyttämä Laitesukelluspotilaan neurologinen tutkimuskaavake, kertoo haastattelussa dosentti Räsänen-Sokolowski. (43.)

Kysyttäessä Carean ensihoidon vastuulääkärin kantaa neurologisesta tutkimuskaavakeesta ensihoidossa, vastaa Loikas perustellen vastauksensa: *`Ensihoitopalvelun tehtävänä kohdattaessa laitesukelluspotilas on tunnistaa mahdolliset sukeltajataudin oireet sekä karkeasti tilan vakavuus. Neurologisen tutkimuskaavakkeen idea laajan neurologisen statuksen tekemisestä ei kuulu ensihoidon tehtäviin kohteessa, toisin sanoen missään tapauksessa potilaan tutkimiseen ei käytetä niin paljon aikaa kuin kyseisen lomakkeen läpikäynti edellyttäisi. Toiseksi lomakkeen ongelmana on normaalikäytännöstä poikkeavat tai peruskoulutukselle vieraat kliiniset tutkimukset. Ensihoitajat arvioivat tajunnan tason aina GCS-luokituksen mukaisesti eikä ole syytä käyttää erilaista luokittelua eri potilasryhmille. Jotkin neurologisen tutkimuskaavakkeen tutkimukset edellyttävät tiettyjä suoritusteknisiä standardeja jotta tutkimustulos on dokumentaatio- ja vertailukelpoinen ja näiden teknisten standardien hallinta ei kuulu ensihoitajien koulutukseen joten niitä ei pidä myöskään yllyttää tekemään.`* Laitesukelluspotilaan tarkka neurologinen tutkimus voidaankin perustellusti jättää sairaalan ensiavun tehtäväksi. (35.)

5.3.2 Laitesukellusonnettomuuspotilaan hoito

Elottomalle laitesukellusonnettomuuspotilaalle aloitetaan hoitoelvytys (9, 602). Paineammiohoidon ajaksi potilaalla olevan intubaatioputken kalvosin täytetään keittosuolalla (33). Elvytystilanteessa intuboidun potilaan intubaatioputken kalvosin tulee täyttää valmiiksi 0,9% keittosuolaliuoksella (9, 602). Sykkeen tuntuessa turvataan ensimmäisenä ilmatie ja hapetetaan potilasta, tajuton potilas käännetään kylkiasentoon jos intubaatiota ei ole suoritettu (9, 602). Sukeltajantautia epäiltäessä aloitetaan 100% happihoito ja järjestetään kuljetus ylipainokammiohoitoon (43, 222). Tarvittaessa potilas tulee dreenata jo ennen painekammioon viemistä (33). Dreenauksella tarkoitetaan laskuputken asettamista potilaalle, kudoksiin vuotaneen veren tai nesteen poistamiseksi. *`Vaikeaoireisiin tilanteisiin liittyy monesti ”kovan” diagnostiikan ja hoidon tarvetta, esim. hypoksialöydös tarkoittaa että mahdollinen*

tarve pöeuran dreenuukseen pitää tunnistaa (esimerkiksi keuhkokuvalla) ja toimenpide pitää tehdä ennen pitkää siirtoa riippumatta paineistuksen kiireestä. toteaa Loikas. Kymenlaakson alueella voidaan joutua siksi tukeutumaan Kotkan Keskussairaalaan, vaikkakin se viivästyttäisi painekammiohoidon aloitusta. (35.)

Laitesukellusonnettomuuspotilaan hoito on oireenmukaista, normaaleiden hoitoprotokollien mukaisesti, huomioiden sukeltajantaudin mahdollisuus (7). Laitesukellusonnettomuuspotilaan ensihoito perustuu oireenmukaiseen hoitoon, kuten muukin ensihoito (19, 29). Ensiapuna kaikille laitesukellusonnettomuuspotilaille annostellaan happea. Happihoitoa jatketaan, kunnes potilas on saatu painekammiohoitoon, kuitenkin enintään 6 tuntia. (33.) Hoitoprotokollien tulee olla paikkakuntakohtaisia ja niiden tulee perustua paikkakunnan ensihoidon vastuulääkärin ohjeisiin (19, 30). Sukeltajantautia epäiltäessä tulee aloittaa 100 % hapen annostelu riippumatta happisaturaatio lukemista (SpO₂). Hengitysvaikeuden löydökset, mukaan lukien madaltunut SpO₂ vaativat happihoidon aloittamisen. (35.) *Tajuton sukeltaja on käytännöllisesti katsoen aina toimitettava painekammiohoitoon, koska vain harvoin voidaan olla täysin varmoja siitä, että painekammiohoito ei ole tarpeen. Jos tajunta palaa ennen rekompresiohoidon aloittamista, voidaan hoidosta luopua, mikäli oireita sukeltajantaudista tai ilmaemboliasta ei ole.* (19, 23). Hapen antoa ja potilaan nesteytystä jatketaan kuljetuksen aikana, ja potilaan virtsamäärät sekä mahdolliset virtsaamisvaikeudet tulee kirjata muistiin (33).

Hengitystie varmistetaan. Riskiryhmässä ovat tajuttomat potilaat, jotka eivät jaksakaan pitää hengitystietään itse auki (7). Tajunnan tasoltaan alentuneen potilaan hengityksestä ja verenkierrosta on varmistuttava ensimmäisenä, sekä hoitaa niissä havaitut häiriöt (19, 29). Vaikka kaularankavammat ovatkin erittäin harvinaisia laitesukellusonnettomuuksissa, on sen mahdollisuus kumminkin huomioitava. Hengitysteiden avaamisen jälkeen tulee tarkistaa ilman kulku, eli ventilaatio. (7.)

Vierasesineet, kuten muta ja hiekka tai hengitysventtiilin mahdollisesti irti purrut osat poistetaan kylkiasennolla tai imulla. Veden poistamiseen ei tule uhrata aikaa elvytystilanteessa, koska Suomessa vesi on poikkeuksetta hypotonista (Itämeressä suolapitoisuus on alle 0.76%) ja se imeytyy nopeasti alveolien läpi verenkiertoon. (7.) Hengitysvajauksesta kärsivä, koomassa tai tajuttomana oleva potilas intuboidaan (33). Tajuisaan olevalle potilaalle voi käyttää yskittämistä, selkälöyntejä tai Heimlichin

otetta. Hengitystien varmistaminen nielutuubilla, larynx putkella tai intuboimalla normaalin hiotokäytännön mukaan. (7.)

Hengitys, hengityksen rittävyyden tarkastaminen ja hengityksen mahdollinen mekaaninen avustaminen normaaliin tapaan maskipalkeella (19, 29) tai uloshengitystä avustamalla rintakehää painaen (7). Kipureaktion ylläpitämä hengitys ja mahdollisen kivunpoiston aikaansaama hengityksen lamaantuminen, eli cave, tulee muistaa. Riskiryhmät ovat alle 10 ja yli 25 kertaa minuutissa hengittävät. (29.) Hengitysvajauksesta kärsivä potilas intuboidaan (33). Happisaturaatioarvon mittaaminen laitesukelluspotilaalta tulee suorittaa aina natiivina, eli ennen happihoidon aloittamista. Hoitona on happihoito mahdollisimman korkealla hapen sisäänhengityspitoisuudella (FiO_2), varaajamaskilla päästään noin 90 %:n FiO_2 -pitoisuuteen. Muistuttaa Advanced Diving Accident Life Support 2013 -luennolla Medioxxygenin lääkäri, dosentti Räisänen-Sokolowski. (29.) Laitteukellusonnettomuuspotilaalle tulee aina aloittaa happihoito (19, 29), vaikka kyseessä olisi seoskaasua hengityskaasuna käyttänyt tekniikkasukeltaja tai sukellussyvyyden voitaisiin olettaa ylittäneen paineilmalla sukeltavalla 66 metriä ja epäillään happimyrkytystä (30). Hapen antoa jatketaan, kunnes potilas on saatu kuljetetuksi painekammiohoitoon hapen virtauksen ollessa vähintään 15 litraa minuutissa (33). *‘Kentällä aloitettu happihoito mahdollisimman suurella FiO_2 :lla parantaa sukellusonnettomuuden ennustetta ja ylipainehappihoidon hoitotuloksia.’* (9, 602).

Laitteukellusonnettomuuspotilaalla on muistettava huomioida keuhkopöhö ja jänniteilmarinta hyvin todennäköisinä oireina. Jänniteilmarinnan laukaisuun tuleekin olla varautunut, vaikka tilanne ei heti uhkaavalta vaikuttaisikaan. Keuhkopöhö hoidetaan mahdollisuuksien mukaan, tajuissaan oleville aloitetaan CPAP-hoito. (38.) Jänniteilmarinnan esiintyminen on muistettava kaikilla laitesukellusonnettomuuspotilailla (9, 602). Myös hengitystä avustettaessa on huomioitava keuhkovaurio (19, 29) ja paineilmarinnan kehittymisen mahdollisuus (35). Kliinisesti merkittävässä ilmarinnassa laitetaan pleuradreeni, AGE-potilas viedään painekammioon välittömästi ja muissa keuhkojen painevammoissa riittää yleensä kliininen seuranta (18).

Verenkierto varmistetaan. Valtimoiden syke voidaan palpoida, vaikka sen tuntuminen tai tuntumattomuus ei kerrokkaan verenpaineesta. Verenpaine on mitattava, jos se halutaan tietää. Esimerkiksi arteria radialis voi tuntua, vaikka systolinen verenpaine olisi jopa vain 55. Syketaso huomioidaan sekä kirjataan, alle 40 tai yli 100 lyöntiä minuutissa tavattavilta potilailta on selvítettävä verenkiertohäiriön syy. (7.)

Intravenaalinen tai intraosseaalinen nestekorvaus aloitetaan tarvittaessa isotonisella liuoksella. Vasopressorihoito aloitetaan normaaliin tapaan sydämen toimintaan ja verenkiertoon vaikuttavilla lääkkeillä. Epäsuoria merkkejä huonosta verenkierrosta ovat raajojen lämpörajan siirtyminen kohti torsoa, sympatikushermoston käynnistyminen eli ihon kalpeus, hikoilu ja takykardia sekä tajunnan säilyminen ainoastaan makuuasennossa. (7.) Laitesukeltaja on usein myös dehydroitunut kylmädiureesin ja hikoiliun seurauksena. Tämä elimistön kuivuminen huonontaa kudosten verenkiertoa ja lisää happivajeen muodostumista sekä hidastaa typen poistumista elimistöstä. Nesteen anto voi tapahtua suun kautta tajunnantason niin salliessa, arviolta noin 1 litra ensimmäisen tunnin aikana. Jatkossa tarve arvioidaan virtsamäärien mukaan. (33.) Ylipainehappihoidon mahdollisena komplikaationa on pahoinvointi, joten nestettä juomalla täytetty mahalaukku voi aiheuttaa aspiraatorisikin (22, 16-3). Laskimonsisäinen nesteytys tulee hoitaa isotonisella nesteellä, ei glukoosia ellei ole todennettu hypoglykemiaa. Esimerkiksi Ringerin liuos 10 ml /kg 30 minuutin kuluessa. (36, 41.) Nesteytystä jatketaan aukiolotiputuksena tai verenkierron tilan mukaan (9, 602).

Neurologinen tila selvitetään. Neurologisessa tutkimuksessa laitesukellusonnettomuuspotilaalta tulee tarkastaa tajunta, vireystila, lähimuisti ja muu orientaatio, taaksepäin lasku sekä ihotunnon muutokset. Jänneheijasteet, eritoten akillesjänteistä, on myös syytä tarkistaa, tasapaino potilaan seistessä ja kävellessä on myös arvioitava. (33.) Tajunnantaso tulee tutkia huolellisesti Glasgow coma asteikolla (44, 221). Potilaan neurologinen tila selvitetään samoin kuin muidenkin ensihoitopotilaiden (35), kiinnittäen erityistä huomiota puolieroihin (29).

Ulkoiset altisteet poistetaan. Potilaalta tulee riisua käytössä ollut sukelluspuku ja varusteet. Potilas peitellään ja eristetään ulkoilmasta, mutta aktiivista lämmittämistä pitää välttää. Lievä paleleminen on eduksi sukeltajataudin aiheuttaman typen

poistumisen hidastamiseksi, ja hidastaa sukeltajataudin oireiden etenemistä. (29.) Aktiivista lämmittämistä ja hakeutumista esimerkiksi saunaan rasittavan sukelluksen jälkeen tulee välttää sukeltajataudin riskin vuoksi, koska elimistössä olevien tyyppijäämien poistuminen kiihtyy kasvavan verenkierron seurauksena (33).

5.3.3 Laitesukellusonnettomuuspotilaan kuljetus

Lääkärin käsikirjan mukaan ylipainehoito on ensisijainen hoitomuoto sukeltajataudissa sekä ilma- ja kaasuembolioissa (32). Sukeltajataudista kärsivän hoitoon ohjauksesta kertoo dosentti Räisänen-Sokolowski haastateltaessa seuraavaa: Epäiltäessä sukeltajantautia järjestetään kuljetus ylipainekammiohoitoon. Kiireellisissä tapauksissa ensisijaisesti koko maassa Turun Yliopistollinen Keskussairaala, jossa hoidetaan tehohoitoa vaativat potilaat. Kymenlaaksoa lähinnä oleva Medioxigen Oy Helsingissä voi hoitaa potilaat jotka ovat makuullaan kammiossa, mutta potilaan on oletettavasti pystyttävä kävelemään sieltä pois hoitajakson päätteeksi. (43.) Turun yliopistollinen keskussairaala hoitaa kaikki tehohoitopotilaat ja päivystää 24 tuntia ympäri vuoden. Jos potilaalla on vitaalitoimintojen häiriöitä, hänet on kuljetettava mahdollisimman nopeasti hoitopaikkaan ambulanssilla tai matalalla helikopterilennolla. (32.) Mikäli potilaalla havaitaan merkkejä sukellussairaudesta, tulee järjestää nopea kuljetus lähimpään painekammioyksikköön. Kuljetuksen aikana elintoiminnoista monitoroidaan NIBP, EKG, SpO₂ ja GCS. (1.)

Laitesukellusonnettomuuspotilas, joka kärsii sukellussairaudesta, kuljetetaan vaakatasossa ja selinmakuulla. Tajunnantasoltaan alentuneet potilaat, joita ei ole intuboitu, kuljetetaan kylkiasennossa. Voimakasta hengitysvaikeutta kokeva potilas kuljetetaan puoli-istuvassa asennossa, verenpaineen salliessa. (9, 602.) *`Vakavista sukellussairausten oireista (neurologiset oireet, hengitys- tai verenkiertovajauksen oireet) kärsivä sukeltaja tulee pyrkiä kuljettamaan helikopterilla mikäli maakuljetus kestää yli 2 tuntia lähimpään painekammioon.`* (1). Ilmateitse tapahtuva kuljetus suoritetaan alle 300 metrin korkeudessa. Jopa alle 150 metrin korkeudessa on kuitenkin raportoitu oireiden pahenemista. (9, 602.)

Hoito-ohjetta on kysyttävä jos hoitopaikka on epäselvä, tai potilaan tila on epävakaa hoidosta huolimatta. Hoito-ohjetta kysytään ensisijaisesti alueen päivystävältä ensihoitolääkäriltä. (44, 222.) Kymenlaakson alueella ensihoitajat pyytävät hoito-ohjetta kaikista hätätilapotilaista päivystävältä ensihoitolääkäriltä. Sukelluslääkäriin konsultaatiokin voi olla tarpeen, mutta se on hieman mutkien takana ja sen voi suorittaa ensihoitolääkäri jos tarvetta ilmenee, kertoo Loikas. (35.) Sukellussairauspotilaille tulisi järjestää pääsy ylipainehappihoitoon alueellisesti ensihoitojärjestelmän toimesta. Ylipainehappihoito on vakiintunut hoitomuoto sukellussairauksissa ja menettelytavoista tulee sopia alueen hoitoonohjauksesta vastaavien kanssa. (9, 602.)

Carean ensihoidon vastuulääkäri Petri Loikas ohjeistaa haastattelussa seuraavaa: *‘Lieväoireisessa sukeltajataudissa voidaan ylipainehappihoito etsiä ja sopia rauhassa päivystyksestä käsin, hoidon aloitus ei ole minuuttien päälle. Silloin kun potilaalle on kehittynyt nopeasti neurologiset oireet, ilman tarvetta ensihoidon täydennykseen lähisairaalassa, voi primaarikuljetus ylipainehappihoitoon olla paras ratkaisu. Nopein tapa saada potilas paineistettua, ellei laivaston kammiota satu olemaan lähistöllä, on kuljettaa potilas Helsinkiin. Ambulanssilla kuljetus kestää noin 1,5 tuntia mikä osuu sikäli hyvin että Medioxxygen pystyy valmistelemaan kammion käyttöön yleensä parissa tunnissa.’* Pelkästään välikorvan painevammaoireista tai hyvin pitkällä viiveellä ilmaantuneista lievistä, tyypin 1 oireista kärsivä laitesukelluspotilas voidaan ohjata päivystykseen muulla kuin ambulanssikyädillä. (35.) Kohdattaessa nivel- tai lihaskivuin oireileva potilas, olisi syytä pyrkiä suoraan kentältä ylipainehappihoitoon (9, 602).

5.3.4 Ylipainehappihoito

Ylipainehappihoidolla (HBOT, Hyperbaric oxygen therapy) pienennetään syntyneiden kuplien tilavuutta mekaanisesti, jonka seurauksena niiden poistuminen helpottuu. Hoidon aikana annosteltava happi kasvattaa liuenneen hapen määrää elimistössä, mikä lisää kuplien liukenemista niin sanotun happi-ikkunan avulla. (9, 602.) Sukeltajataudin akuuttivaiheessa hoidon tavoite on sama kuin ilmaembolian hoidossa, eli komprimoida kuplat ylipaineella pienemmiksi ja liuottaa ne takaisin kudospaineteeseen (8). Tavoitteena ylipainehappihoidossa on ylimääräisen inerttikaasun

poistaminen elimistöstä vahinkoa aiheuttamatta ja perifeerisen kudoshapetuksen palauttaminen (32). Puhdas happi toimii hoidon alkuvaiheessa kuplavolyymien pienentäjänä sekä lisääntyneen perifeerisen perfusion ja diffuusion avulla parantaa kudosten hapetusta. Akuutti hoito aloitetaan heti kun potilas saadaan ylipainekammioon. (8.) Myös sisäkorvan sukeltajataudin hoitona on mahdollisimman nopea painekammiohoito (34). Ylipainehappihoito lisää hapen liukenemista veriplasmaan. Liukeneminen on normaalisti noin 0,3ml/dl, käytettäessä 100% happea 2 bar ylipaineessa liukeneminen kasvaa noin 1,5ml/dl. (45.) Ylipainehappihoidossa typpikuplat liukenevat takaisin verenkiertoon, mikäli hoito ehditään aloittaa ajoissa. Vaikeidenkin keskushermosto-oireiden ennuste on tällöin hyvä. Mikäli painekammiossa tapahtuva ylipainehappihoito aloitetaan vasta tuntien viiveellä, hoidon kohteena on periferian hypoksia. Suuri osa ääreisverenkierron hapettamista soluista ei kuole heti hapen puutteeseen, vaan ne ovat uudelleen hapettamalla palautettavissa normaalitoimintaan korjaamalla niiden hypoksia ja asidoosi. (32.)

Painekammiohoidossa potilas istuu tai makaa painekammion sisällä. Kammiossa vallitsee 18 metrin vesisyvyyttä vastaava paine ja hengityskaasuna on 100 % happi, joka hengitetään maskin tai hupun kautta. Tarkoituksena on saada mahdollisimman suuri painegradientti veren ja kudostesteiden hapen välillä ja siten mahdollisimman nopea hapen diffuusio soluja kohti. (37.) Ylipainehappihoidossa noudatetaan yleensä Yhdysvaltain laivaston hoitotaulukoita ja paine vastaa noin 9-18 metrin vesisyvyyttä (9, 602). Ensimmäinen vakiohoito kestää yleensä 2.5 tai 4.5 tuntia ja oireet alkavat helpottaa tavallisesti jo noin 20 minuutin aikana. Ylipainehappihoitoja jatketaan 14–15 metrin syvyyttä vastaavassa paineessa 90 minuutin ajan ja jatketaan tarvittaessa päivittäin, kunnes paranemisessa ei enää tapahdu edistymistä tai kaikki oireet ovat hävinneet. (32.) Seoskaasua käyttäneiden sukeltajien ylipainehappihoito suoritetaan samalla tavoin, kuin paineilmalla sukeltaneiden hoito (33). Valtimokaasuembolisaatiopotilaille ylipainehappihoito aloitetaan 51 metrin vesisyvyyttä vastaavalla paineella. Yli 18 metrin vesisyvyyttä vastaavassa paineessa hengitetään ilmaa. (9, 602.)

Ylipainehappihoitoa antavaan hoitolaitokseen tulee vähintään selvittää ja ottaa mukaan tiedot onnettomuutta edeltäneestä sukelluksesta, hengityskaasuna käytetty sukelluskaasu, oireiden alkamishetki sekä oirekuva potilaan kohtaamishetkellä (43).

Saattajan tulisi pystyä antamaan hoitohenkilöstölle vähintään potilaan henkilötiedot, viimeisimmän sukelluksen ajankohta, syvyys ja kesto, lääkkeiden ja alkoholin käyttö, lepo- ja ravitsemustila viimeisen 48 tunnin sisällä (19, 25).

Ylipainehappihoito on sitä tehokkaampaa, mitä nopeammin se päästään aloittamaan (9, 603). Mikäli sukeltajantaudista kärsivän potilaan hoito voidaan aloittaa heti pintaan nousun jälkeen, on vaikeissakin tapauksissa erittäin hyvä ennuste. Myös myöhemmin ilmenneet nivelkiputapaukset tai muusta syystä viiveellä aloitettu ylipainehappihoito auttaa pääsääntöisesti ilman suurempia jälkiongelmia, mutta vaativat useampia hoitokertoja. (32.) Yli 70 % potilaista toipuu täysin tai lähes täysin. Pysyviä oireita jää noin 7 %:lle hoidettavista. (9, 603.)

5.4 Märkärekompressiosta pidättäminen

Märkärekompressio, eli sukeltajan uudelleen paineistaminen vedessä, tarkoittaa heti sukelluksen jälkeen tehtävää laiminlyödyn etappipysähdysten tai rikutun nousunopeuden korjaamista (19, 18). *„Keskeytyneen dekompression suorittaminen vedessä sukeltajan pintautumisen jälkeen tulee selkeyden vuoksi erottaa varsinaisesta oireisen sukellussairauden uudelleenpaineistuksella vedessä toteutettavasta hoidosta. Molemmista käytetään hieman harhaanjohtavasti termiä ”märkä-rekompressio” (IWR, in-water recompression). Jälkimmäistä menetelmää ei Suomen oloissa tulisi sukeltajan turvallisuuden takia tehdä missään olosuhteissa.”* (1.) Laiminlyödyt dekompressio tarkoittaa tilannetta, jossa sukellus on keskeytynyt siten, että normaalia dekompressiopysähdystä ja nousunopeutta ei noudateta (20, 137). *„Jos sukeltaja on jättänyt etappinousun kesken tai laiminlyönyt sen kokonaan pelastustehtävän suorittamisen takia, tulee laiminlyöty etappi suorittaa pääsääntöisesti painekammiossa.”* (19, 19). Painekammioita ei Kymenlaakson pelastuslaitoksen toimialueella ole ja siirrettävää painekammioita ei yleensä kohteeseen saada, koska pelastustehtävän luonne on yleensä aina äkillinen ja ennakoimaton. *„Rekompression voi suorittaa vedessä vain mikäli sukeltaja on oireeton eikä siirrettävää painekammioita ole käytettävissä.”* (19, 19).

Sukeltajantaudin oireideet kehittyminen alkaa usein hitaasti ja vasta tovin kuluttua sukelluksen päätyttyä, jatkuen sitten vakiona muutaman tunnin ajan (8).

Pelastusopiston vesipelastuskurssilla opetetaan tekemään rekompresio vedessä (märkärekompresio) liian nopean nousun, laiminlyödyn turvapysähdyksen tai etappipysähdyksen jälkeen jos sukeltaja on oireeton (19, 19). Toimintamalli käytännössä on siis kyseisissä tapauksissa märkärekompresio, joka aloitetaan heti sukelluksen päätyttyä ja hengityskaasuna käytetään paineilmaa. Uhrin pintaan tuonut pelastustoimen vesisukeltaja ehtii todennäköisesti takaisin veteen suorittamaan märkärekompresiota, ennen mahdollisten sukeltajataudin oireiden ilmaantumista ja sukeltajataudin viivästyneet oireet koetaan vasta sukeltajan ollessa vedessä (46).

Divers Alert Networkin julkaiseman Alert Diver -lehden Winter 2011 numerossa käsitellään märkärekompresion suorittamista. Märkärekompresion suorittamisen puolesta esiintyy myös kannanottoja. Nekin suosittavat toimenpiteen suorittamista ainoastaan silloin, kun hengityskaasuna voidaan käyttää happea. Kyseisessä tilanteessa matka painekammiohoitoon on pitkä ja paineistamiselle on välitön tarve. (46.) Ennaltaehkäisevästi suoritettavaa märkärekompresiota ei käsitellä yhdessäkään julkaisussa, paitsi Turvaohjeet pelastustoimen vesisukellukseen (19).

Minkään rekompresioimenetelmän tehoa ei ole tieteellisessä koeasetelmassa osoitettu olevan toista parempi, mutta märkärekompresioon sisältyy kuitenkin huomattavia riskejä sukeltajalle. Vaikeat sukellussairauden oireet alkavat yleensä aina 30 minuutin kuluessa pintautumisesta. On siis mahdollista että vakavimmat oireet alkavat sukeltajan ollessa vedessä jatkamassa keskeytynyttä dekompressiota, eli märkärekompresiota. (1.) On myös mahdollista, että sukeltaja ei tunnista alkavia oireita heti sukelluksen jälkeen ja lähtee suorittamaan märkärekompresiota. Viivästyneet sukeltajataudin oireet voidaan havaita vasta vedessä ollessa, jolloin tilanne on entistä vakavampi. (47.)

Yleisimmin sukeltajataudin oireet ovat lieviä, eivätkä vaadi välitöntä paineistusta (21). Vakavaoireisessa taudinkuvassa nopean paineistuksen edut ovat keskeisiä ja vaativat myös välitöntä nesteytystä (33). Nesteytystä ei voida suorittaa märkärekompresion aikana. Pinnalla hengitetystä hapesta ja ensihoitotoimenpiteistä saadaan enemmän hyötyjä, kuin märkärekompresiossa tapahtuvassa paineilman hengittämisestä (43). Yli 12 tunnin viiveen esiintyessä ylipainehoidon aloittamiseen, voidaan harkita märkärekompresion suorittamista. Tällöinkin tulee käyttää happea hengityskaasuna. (46.)

Keskeytyneen tai laiminlyödyn dekompressiopysähdyksen, tai liian nopean nousunopeuden aiheuttamaa sukeltajantaudinriskiä pienentämään, on suositeltavin ja ylivoimaisesti turvallisoin tapa normobaarinen 100% happihengitys pinnalla (1). Märkärekompressiokäytäntöön liittyy siis suuremmat riskit sukeltajalle, kuin pinnalla tapahtuvaan hapen hengittämiseen varaajapussilla varustetusta happimaskista. Märkärekompressio ei ole edullista sukeltajalle käytettäessä pelkkää paineilmaa. Monissa tapauksissa paineilman käyttö on johtanut sukeltajan tilan pahenemiseen märkärekompressiossa. (48.) Oireista sukeltajaa ei tule missään oloissa hoitaa vedessä, koska oireet usein pahenevat progressiivisesti ja ilmalla suoritettavan rekompression tehosta ei ole näyttöä (1). Pelastustoimen sukelluksilla ei ole mahdollista käyttää happea hengityskaasuna veden alla, joten nykyisen märkärekompressiokäytännön tehosta ei siis ole näyttöä. Lähes yleismaailmallinen yksimielisyys vallitsee hapen antamisesta sukeltajantaudin oireista kärsivälle ja sukeltajantaudin ennaltaehkäisevänä hoitona (48). Hoidollinen märkärekompressio tulisikin tutkimusten mukaan suorittaa 100% hapella ja tulee kysymykseen lähinnä lämpimissä vesissä sukeltaessa, kohteessa josta matka painekammioon kestää yli 12 tuntia (1). Kylmyys ja paleleminen vähentää märkärekompression hyötyä ja hoitajakso voi kestää tunteja, jolloin sukeltaja altistuu hypotermialle. Kuplat jatkavat kasvamistaan tuntien ajan, jolloin sukeltaja altistuu viivästyneille sukeltajantaudin oireille. Monissa tapauksissa, joissa märkärekompressiota on yritetty, on toimenpide jouduttu keskeyttämään komplikaatioiden takia. (46.)

Sukeltajantaudin hoidossa 100% hapen hengittäminen ylipaineessa poistaa inerttikaasuja ja kaasukuplia elimistöstä. Tämä tulisi toteuttaa mahdollisimman nopeasti, ennen kuin pysyviä vaurioita syntyy. (9, 602.) Märkärekompression eduista ei ole riittävää näyttöä verrattaessa turvallisempiin menetelmiin, kuten hapi-ensiapu ja nesteytys. Ehdottomana vaatimuksena märkärekompression yrittämiselle on 100% happi. (46.) Nesteytyksellä on tärkeä rooli sukeltajantaudin hoidossa (33), nesteytystä ei märkärekompression aikana ole mahdollista toteuttaa.

Kymenlaakson pelastuslaitoksella ei ole mahdollisuutta käyttää happea hengityskaasuna vesisukelluksen märkärekompressiossa. Painekammiohoitoon päästään lähes kaikkialta alle 4 tunnin sisällä oireiden alkamisesta. Happea on kuitenkin aina käytettävissä pinnalla, jos pelastuslaitosten Turvaohjeet pelastustoimen

vesisukellukseen -ohjetta on noudatettu (19). Samankaltainen tilanne lienee vallitseva kaikilla Suomen pelastuslaitosten vesisukelluksilla.

Suomen Sukelluslääketieteellinen yhdistys suosittaakin kehittämistutkimusta varten pyydytyssä kannanotossaan seuraavaa:

’Pelastussukeltajan tai sukellustyön johtajan havaitessa puuttuvan dekompressiopysähdyksen tai liian nopean nousunopeuden (> 10 m/min) sukelluksen jälkeen (keskeytynyt dekompressio), tulee sukeltaja riisua sukellusvarusteistaan, tutkia mahdollisten DCI-oireiden varalta, siirtää lämpimään tilaan ja asettaa makuuasentoon lepoon (selkäasennossa sydämen minuuttivirtaus jakautuu tasaisemmin kudoksiin ja inerttikaasun poistuminen nopeutuu). Sukeltajalle annostellaan 100% happea joko varaajapussilla varustetulla happinaamarilla tai ns. demand-tyyppisellä annostimella 60 minuutin ajan. Hänelle annetaan suun kautta vettä tai urheilujuomaa 0,5 L/30 min (mikäli tajunta normaali eikä pahoinvointia esiinny). 60 min happihengityksen jälkeen sukeltaja tutkitaan uudelleen DCI-oireiden varalta (mikäli sukeltajalla ilmenee DCI:n oireita happihoitajakson aikana, siirrytään suoraan kohdan 2 toimintaan). Tämän jälkeen toimitaan seuraavasti:

- 1. Mikäli sukeltaja on täysin oireeton, hänen tulee välttää fyysistä rasitusta, sukeltamista ja lentämistä (yli 300 m korkeudessa merenpinnan tasosta) seuraavan 23 tunnin ajan. Mahdollisia sukellussairauden oireita tulee seurata ja ottaa tarvittaessa yhteyttä sukelluslääkəriin. Seurannan aikana oireilevat tulee hoitaa painekammiossa. Yli 24 tunnin kuluttua pintautumisesta alkavat oireet ovat hyvin epätodennäköisesti sukellussairaudesta johtuvia.*
- 2. Mikäli sukeltajalla havaitaan DCI:n oireita tai löydöksiä, tulee sukeltaja toimittaa nopeasti hoitoon lähimpään painekammioyksikköön. Happihoitoa jatketaan ja vakavaoireisille sukeltajalle avataan suoniyhteys Ringer-tyyppisellä kristalloidilla (infusoidaan 10 ml/kg ensimmäisen 30 min aikana, jatkoon lääkärin ohjeiden mukaan tavoitteena riittävä diureesi) ja konsultoidaan sukelluslääkəriä. Sokeripitoisia nesteitä ei infusoida ellei todeta hypoglykemiaa. Sukeltaja pidetään lepoasennossa vaakatasossa ja lämpimänä käytettävissä olevin keinoin (huopa, avaruuslakana tms.). Matkalla tulee huolehtia 100% happihoidon jatkumisesta sekä riittävästä nesteytyksestä (virtsaneritystavoite > 1 ml/kg/t).*

Lievät sukellussairauden oireet (iho-nivel/lihasoireiset): potilas voidaan kuljettaa maakuljetuksella kaikkialta Suomesta lähimpään painekammioon mielellään makuuasennossa. Nesteytys suun kautta. Vaikeat sukellussairauden oireet (neurologisesti oireilevat, hengitys- tai verenkiertovajauksen oireet): potilas tulee pyrkiä kuljettamaan helikopterilla mikäli maakuljetus ambulanssilla kestää yli 2 tuntia lähimpään painekammioon. Makuuasento ja iv-nesteytys, muuten ensihoito on oireenmukaista. Elintoimintojen monitoroinnista tulee huolehtia kuljetuksen aikana (NIBP, EKG, SpO2 ja GCS). Helikopterievakuaation aikana lentokorkeus ei saa ylittää 300 m. Korkeutta on tarvittaessa laskettava mikäli potilaan oireisto pahenee kuljetuksen aikana.` (1.)

Carean ensihoidon vastuulääkäri Petri Loikas toteaa haastattelussa laiminlyödyistä turvapäähdyksestä ja liian nopeasta noususta sukellukselta: *`Sukeltajan tauti voi kehittyä vaikka hetimiten pintaan tulon jälkeen ei tyyppioireita olisikaan. Tästä syystä selkeästi liian nopeasti tapahtuneeseen pintaautumiseen tulisi reagoida antamalla happea tunnin ajan taudin ennaltaehkäisevänä hoitona ja toteuttamalla aktiivinen oireiden seuranta. Käytännössä happihoito aloitetaan paikanpäällä ja potilas kuljetetaan päivystykseen, jossa happihoito voidaan jatkaa riittävän pitkään ja jossa myös voidaan toteuttaa tarkka oireiden seuranta.` (35.)*

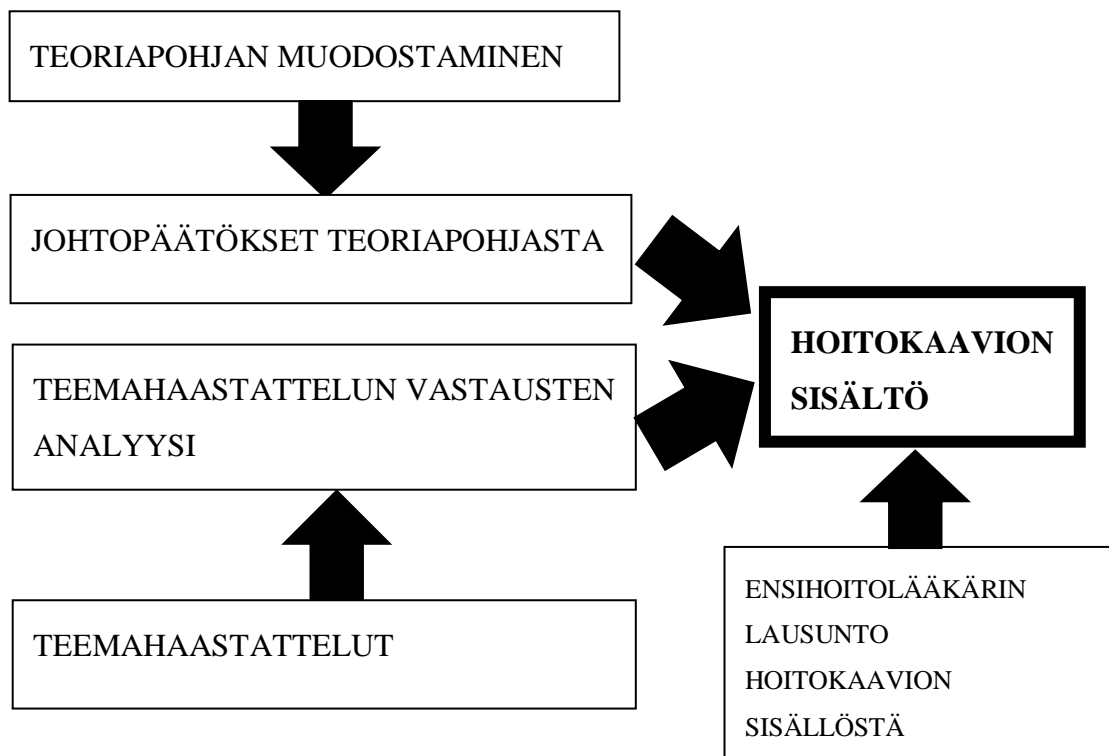
Pelastustoimen vesisukeltajien koulutuksesta vastaavan Valtion Pelastusopiston kantaa tiedusteltiin, liittyen märkärekompressioon. Vesisukelluskoulutuksesta vastaavalle toimitettiin kopio SSLY:n lausunnosta. Selkeää kannanottoa asiasta ei kuitenkaan saatu. Kehittämistutkimuksen tulokset saatetaan tiedoksi pelastustoimen vesisukellusta ohjeistavalle valtakunnalliselle Vesisukellustoimikunnalle, edeten pelastustoimen organisaation mukaisesti. Vesisukellustoimikunnalla on mahdollisuus vaikuttaa Turvaohjeet pelastustoimen vesisukellukseen –ohjeen sisältöön.

6 SUKELLUSONNETTOMUUDEN HOITOKAAVION LAADINTA

Kymenlaakson pelastuslaitoksen toiveena oli saada opinnäytetyöhön sisällytetyn kehittämistyön tulokseksi yksinkertainen ja selkeä ohjeistus kohdattaessa laitesukellusonnettomuuspotilas. Ohjeen muotoutuminen ns. vuo-kaavio muotoon syntyi keskustelussa tutkimustyön tilaajan edustajan, palomestari Simo Noreman

kanssa. Teemahaastattelussa Carean ensihoidon vastuulääkäri Petri Loikas piti hyödyllisenä yksinkertaista kaaviota kriittisten tietojen kirjaamisen tueksi ensihoitotilanteessa (35).

Hoitokaavion sisällön muodostamisessa hyödynnettiin kehittämistyön teoriapohjaa sekä asiantuntijoiden teemahaastatteluja. Teoriapohjan muodostamisessa huomioitiin hankitun tiedon käytettävyys hoitokaaviota muodostettaessa. Hoitokaavion sisältö mukautettiin Carean ohjeistuksiin. Hoitokaavion sisällön muodostamisen prosessia esittävä kuva selventää kerätystä teoriapohjasta tehtyjen johtopäätösten ja teemahaastattelujen vastausten analysoinnin vaikutusta hoitokaavion sisältöön (Kuva 8).



Kuva 8. Hoitokaavion sisällön muodostuminen

Hoitokaavion sisältöön tehtiin muutoksia kaavion käytettävyyttä arvioivan koulutustapahtuman jälkeen. Tilaisuuteen osallistui Kymenlaakson pelastuslaitoksen ensihoitajia, pelastajia sekä palomies-sairaankuljettajia. Carean ensihoidon vastuulääkäriltä pyydetyn lausunnon jälkeen hoitokaavio muotoutui lopulliseen ulkoasuun. Tämän jälkeen hoitokaavion sisältö hyväksyttiin Carean ensihoidon vastuulääkärillä. Arvioivan koulutustapahtuman palautteena hoitokaavion

taustapuolelle päädyttiin lisäämään yleisesti ensihoidossa käytettävä ISBAR-konsultaation muistikortti (liite 8.), jonka on tarkoitus helpottaa hoito-ohjeen pyytämistä ensihoitolääkäriltä. ISBAR-konsultaation muistikorttia käytetään muutenkin ensihoidon tehtävillä, hoito-ohjetta pyydetessä.

7 HOITOKAAVION SISÄLTÖ

Hoitokaavion käytön tulee olla yksinkertaista ja sujuvaa, jotta hoitokaavion käytettävyys onnettomuustilanteessa sujuisi ongelmitta. Hoitokaaviossa edetään yksinkertaisesta kysymyslaatikosta seuraavaan, selkeiden kyllä / ei -nuolien ohjaamana. Etenemistä helpottamaan valittiin vakavampaan tilaan johtavan nuolen väriksi punainen ja lievempään tilaan ohjaavan nuolen väriksi vihreä. Nuolia seuraamalla päädytään potilaan luokittelussa ohjaavaan laatikkoon ja päädytään lopuksi hoitoa ohjaavaan laatikkoon. Hoitokaavion loppuun on lisätty tärkeimmät sukelluksesta selvitettävät tiedot. Onnettomuutta edeltäneen sukelluksen tiedot tulee toimittaa potilasta kuljettavan yksikön mukana hoitolaitokseen, ensihoitokertomukseen liitettynä. Hoitokaavion taustapuolella on hoito-ohjeen pyytämiseksi helpottava ISBAR-konsultaation muistikortti.

8 HOITOKAAVION KÄYTTÖÖNOTTO JA KOULUTTAMINEN

Hoitokaavion laadinnassa otettiin huomioon mahdollisten käyttäjien koulutustausta, palomies-sairaankuljettajat, pelastajat ja ensihoitajat. Kaavio suunniteltiin soveltuvaksi ensihoitopalvelun käyttöön hoitovalmiustasosta riippumatta. Hoitokaavion tarpeellisuutta lisää vakavien laitesukellusonnettomuuksien epätavanomaisuus, jolloin ruutunia niiden hoitamiseen ei pääse syntymään (35). Ennen käyttöönottoa hoitokaavio laitesukellusonnettomuuksiin hyväksyttiin Kymenlaakson pelastuslaitoksen vesipelastuksesta vastaavalla sekä lääketieteellinen luotettavuus Carean ensihoidon vastuulääkärillä.

8.1 Hoitokaavion käyttöönotto

Opinnäytetyö on tarkoitettu luettavaksi. Sen tulee olla saatavilla aina tarvittaessa kertausta kehittämistyön käsittelemiin asioihin, myös varsinaisen koulutusvaiheen jälkeen. Opinnäytetyöhön liittyvänä kehittämistyönä syntynyt hoitokaavio laitesukellusonnettomuuksien varalle on tarkoitettu liitettäväksi Kymenlaakson pelastuslaitoksen vesisukellukseen liittyvään ohjeistukseen. Hoitokaavio laminoidaan ja sijoitetaan kaikkiin vesisukellusta suorittaviin yksiköihin ja sen tulee olla saatavilla aina vesisukellusta suoritettaessa.

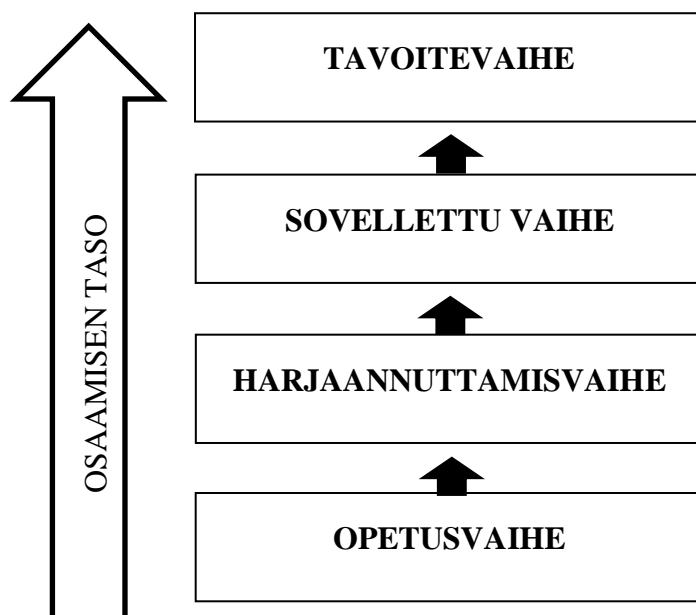
Hoitokaavion on tarkoitus lisätä turvallisuutta pelastustoimen suorittamilla vesisukellustehtävillä. Hoitokaaviota voidaan hyödyntää tarvittaessa niin pelastustoimen harjoitussukelluksilla kuin hälytystehtävilläkin, mahdollisen onnettomuuden sattuessa. Hoitokaaviota voidaan hyödyntää myös ensihoidon tehtävillä, kohdattaessa laitesukellusonnettomuuspotilas.

8.2 Hoitokaavion koulutustilaisuudet Kymenlaakson pelastuslaitoksella

Tutkimuksellinen kehitystoiminta edellyttää toteutuksen seuranta, jotta prosessia voidaan suunnata sekä arvioida (10, 80). Hoitokaaviota testataan kouluttamalla sen käyttö ensin osalle Kymenlaakson pelastuslaitoksen henkilöstöä. Kaavion toimivuutta arvioidaan koulutettavien, kouluttajan sekä kehittämistyön tilaajan toimesta. Toimijoiden osallistuminen prosessin kulkuun on eduksi kehittämistoiminnalle (10, 99). Kouluttajana toimii kehittämistutkimuksen tekijä ja koulutustapahtuma järjestetään pelastoimen vallitsevien käytänteiden mukaisesti, hyödyntäen Pelastusopiston koulutusharjoituksen järjestämisen periaatteita (13). Kehittämisprosessin aikana tarvittavaa havainnointia ja arviointia seuraavat mahdolliset korjaustoimenpiteet tehdään kehittämissyklin aikana (11, 79).

Valmiin hoitokaavion käyttö koulutetaan Kymenlaakson pelastuslaitoksen koko operatiiviselle henkilöstölle, pelastuslaitokselta saadun aikataulun mukaan. Opinnäytetyölle asetettujen aikarajoitusten vuoksi koko koulutusprosessia ei ehditä käydä läpi, jotta koulutettavat saavuttaisivat tavoitevaiheen (13, 24). Koulutustapahtuma käsittää teoriaosuuden sekä käytännön harjoitteen, jossa

selvitetään kouluttajan toimesta hoitokaavion tulkinta ja sen mukanaan tuomat hyödyt kohdattaessa laitesukellusonnettomuuspotilas. Koulutuksessa korostetaan ymmärrettävyyttä, jotta asian omaksuminen helpottuu. Koulutustapahtuma suunnitellaan huolellisesti ja siitä laaditaan harjoitussuunnitelma pelastuslaitoksen käytännön mukaisesti. Koulutus suunnitellaan pidemmälle aikajänteelle, huomioiden pelastuslaitoksen koulutuskalenteri. Lopullisena tavoitteena tulee olla koulutettavien saavuttavan tavoitevaiheen (13, 19). Neljä koulutusvaihetta kuvataan alla olevassa kuvassa (Kuva 9).



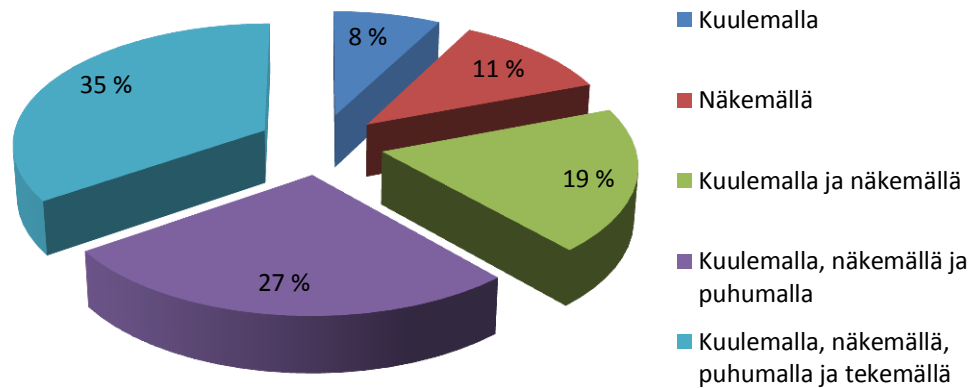
Kuva 9. Koulutusvaiheet (13, 24)

Ensimmäisellä koulutustapahtumalla pyritään opetusvaiheen jälkeen saavuttamaan harjaannuttamisvaihe. Harjaannuttamisvaiheesta edetään sovellettuun vaiheeseen. Sovelletun vaiheen kautta tavoitevaiheeseen pääsy tulee olla lopullisena osaamisen tasona, mutta tämän saavuttaminen opinnäytetyölle asetetun aikataulun sisällä ei ole mahdollista. Koulutustapahtumia tuleekin järjestää työnantajan toimesta, edeten nousujohteisesti ja pyrkien tavoitevaiheeseen (13, 24).

Hoitokaavion kouluttamisessa käytetään monipuolisia koulutusmenetelmiä. Hoitokaavioon liittyvän teorian osuus koulutetaan esittävänä opetuksena ja hoitokaavion käyttö muodollisena, harjoittavana koulutuksena. Koulutuksessa

huomioidaan erilaiset oppisen tapahtumat (13, 22-23), eli miten oppiminen tapahtuu. Oppimisen tapahtuminen on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 10).

Miten oppiminen tapahtuu



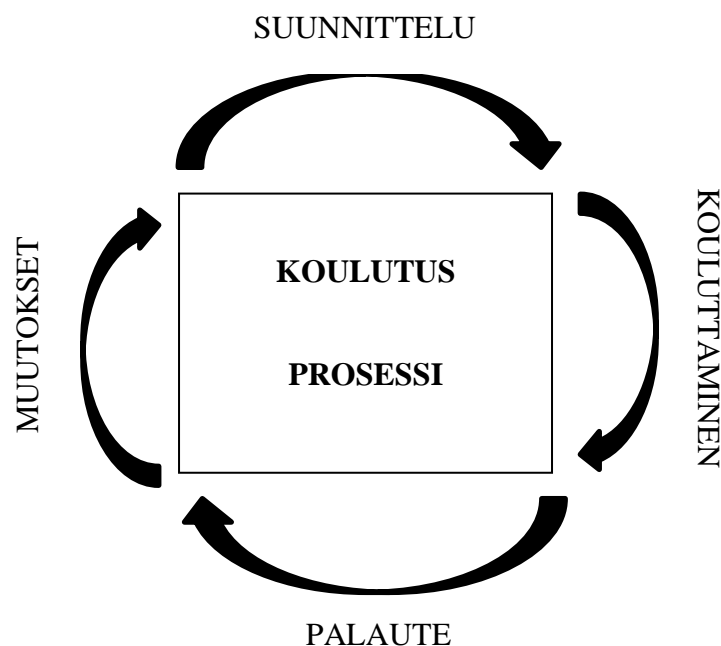
Kuva 10. Miten oppiminen tapahtuu (13, 22-23)

Teoriaosuuden kouluttamisessa hyödynnetään siis selostavaa ja näyttävää menetelmää, antaen koulutettaville mahdollisuus osallistua esittämällä kysymyksiä. Hoitokaavion käytön kouluttamisessa huomioidaan lisäksi tekemällä oppiminen lisäämällä koulutustapahtumaan käytännönvaihe. (13, 22-23.) Käytännönvaiheessa hoitokaavion hyödyntämistä harjoitellaan konkreettisesti.

Koulutustilaisuuden yhteydessä käydään opinnäytetyö kokonaisuudessaan läpi Power Point -esityksen avulla (liite 9.), jolloin keskeisimmät asiat laitesukellusonnettomuuksista ja niiden syistä tulee kerrattua. Laitesukellusonnettomuuspotilaan kohtaamisen, hoidon sekä kuljetukseen liittyvät erityistä huomiota vaativat asiat ja märkärekompressiokäytäntö käydään myös läpi koulutustapahtumaa varten luodussa Power Point -esityksessä. Tarkoituksena on herättää pelastuslaitoksen vesisukeltajien oma sisäinen oppimishalu ja kasvattaa motivaatiota omaa työturvallisuuttaan kohtaan vesisukellustapahtumissa. Koulutuksen lopuksi koulutettaville annetaan ja heiltä pyydetään rehellinen palaute. Palaute lisää osaltaan koulutettavien motivaatiota sekä mahdollistaa koulutustapahtuman

kehittämisen. (13, 27.) Hoitokaaviosta ja hoitokaavion kouluttamisesta suoritetaan osallistava arviointi, mikä mahdollistaa myös uusien ja omien toimintojen omaehtoisen kehittämisen (11, 82). Osallistavassa arvioinnissa huomioidaan toiminnan konteksti, eli asiayhteys, sekä organisaation arvot, asenteet ja tavat. Hoitokaaviosta ja sen kouluttamisesta pyydetään palaute myös tutkimustyön tilaajalta. Saatu palaute kirjataan muistiin ja hyödynnetään seuraavia koulutustilaisuuksia suunniteltaessa.

Jotta koulutuksessa saavutettaisiin tavoitevaihe, tulee uuden asian kouluttaminen olla jatkuvaa sekä kertaavaa. Koulutusprosessin tulee muuttua aina hieman palautteiden mukaan ja muutokset näkyä seuraavan koulutustapahtuman suunnittelussa. Seuraavan koulutustapahtuman tavoitteet tulee asettaa vastaamaan sovellettua vaihetta, josta edetään myöhemmin tavoitevaiheeseen seuraavalla koulutustapahtumalla. (13, 24.) Koulutusprosessin etenemistä kuvataan seuraavassa kuvassa (Kuva 11).



Kuva 11. Koulutusprosessin eteneminen (13, 28)

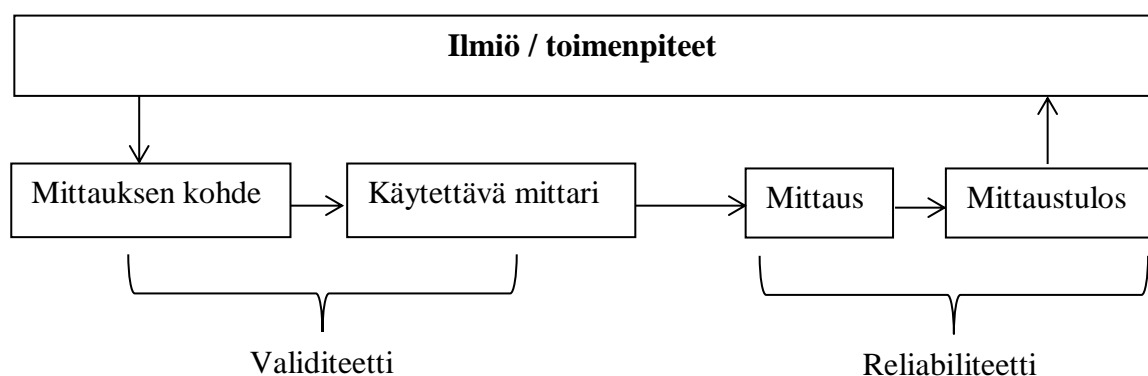
Tavoitetason saavuttamiseksi hoitokaavio tulee ottaa mukaan pelastuslaitoksen säännöllisiin harjoitteisiin, yhdistettynä soveltavaan laitesukellusonnettomuusharjoitukseen. Tällöin saavutetaan kokonaiskuva laitesukellusonnettomuuden tilanteen kulusta ja eri toimijoiden yhteistyöstä, kuten pelastuslaitoksen vesisukeltajat, sukellusavustajat, pintamiehistö sekä ensihoitajat.

9 POHDINTA

Pohdinnassa käsitellään kehittämistutkimuksen luotettavuutta ja tarkastellaan kehittämistehtävän prosessia. Pohdinnassa nostetaan esille myös kuinka sukellussairauden riskiä voitaisiin vähentää pelastustoimen vesisukelluksilla, työvuoron aikana. Tarkoituksena on herättää ja ohjata ajatuksia turvallisempaan toteutukseen pelastustoimen vesisukellustehtävien yhteydessä sekä palauttaa mieliin vesisukelluskelpoisuuden määritelmät ja vesisukelluskelpoisuuden terveydellisten vaatimusten noudattamisen tärkeys.

9.1 Kehittämistyön luotettavuus

Kehittämistyö ei ole itsenäinen tutkimusote, vaan se koostuu monen menetelmän yhdistämisestä (11, 166). Kehittämistoimintaan liittyvällä tiedontuotolla tavoitellaan vastauksia erilaisiin tehtäviin (10, 113). Kehittämistyön luotettavuuden arvioinnissa tulee huomioida kunkin käytetyn menetelmän omat arviointikriteerit (11, 166). Kehittämistoiminnassa luotettavuus tarkoittaa ennenkaikkea käyttökelpoisuutta (10, 121). Kehittämistutkimuksen reliabiliteettiä eli luotettavuutta ja validiteettiä eli pätevyyttä tulee arvioida objektiivisesti (11, 161). Opinnäytetyön eri vaiheissa tehtävää luotettavuuden arviointia kuvataan seuraavassa kuvassa (Kuva 12).



Kuva 12. Luotettavuuden arviointi (11,161)

Reliabiliteetin ja validiteetin arviointiin valittiin mitattava kohde ja sen mittaamiseen soveltuva mittari. Suoritettu mittaus antoi mittaustuloksen, joka määritteli ilmiötä ja vaikutti suoritettaviin toimenpiteisiin. Toimenpiteiden jälkeen ilmiötä arvioitiin

uudelleen samalla menetelmällä, käyttäen samaa mittaria. Tämä toistettiin, kunnes toimenpiteitä ei enää tarvinnut suorittaa. Opinnäytetyön reliabiliteettia käsitellään tarkemmin kappaleessa 9.1.1 ja validiteettia kappaleessa 9.1.2. Mittauksen kohteet ja mittaamiseen käytetyt mittarit käsitellään kappaleessa 9.2.

Opinnäytetyön teoriataustan muodostamiseksi selvitettiin fysiologian ja fysiikan lainalaisuuksien vaikutuksia laitesukellusonnettomuuksien syntyyn ja muodostettiin tutkimusongelmat. Tutkimusongelmien ratkaisemiseksi haettiin vastauksia tutkimuskysymyksille kerätyn teoria-aineiston avulla (11,122). Kvalitatiivinen, eli laadullinen tutkimus, ei tuota yhtä objektiivistä tulkintaa vaan sen peruskysymys on: *‘Mistä ilmiössä on kyse?’* (11,30). Kvalitatiivinen tutkimus opinnäytetyössä ilmenee laadullisten metodien käyttämisessä aineiston hankinnassa, kuten teemahaastattelut ja kirjallisuuskatsaus.

9.1.1 Kehittämistyön reliabiliteetti

Reliabiliteettia, eli tutkimuksen luotettavuutta arvioitaessa (11, 161) voidaan katsoa tutkimuksen olevan luotettava jos kaksi eri tutkijaa päätyvät samaan lopputulokseen eri tutkimuskerroilla (12, 226). Tutkimuksen reliabiliteetti taataan keräämällä teoriapohjaa alan tunnustetusta kirjallisuudesta, aiemmista tutkimuksista ja käyttämällä asiantuntijoina Suomen johtavia sukelluslääketieteen sekä ensihoidon edustajia. Reliabiliteettia voidaan kuvata myös tutkimustulosten pysyvyydellä. Se perustuu kattavaan otokseen aiheeseen liittyvästä teoriasta. (11, 167-168.) Reliabiliteetti ilmenee teoriataustan keräämisessä kehittämistoiminnalle ja siitä tehdyistä johtopäätöksistä sekä teorioista (12, 136).

Kehittämistyössä valittiin ja tulkittiin lähteet huolellisesti sekä esitettiin myös sellainen tutkimusaineisto, jossa puolletaan nykymallista märkärekompresioikäytäntöä. Tällä pyrittiin takaamaan tutkimuksen objektiivisuus. (12, 292-293.) Ongelmaksi muodostui yleisesti märkärekompresioikäytäntöä puoltavan teoria aineiston löytäminen. Tapauksissa, joissa märkärekompresio suoritetaan käyttäen paineilmaa, teoriapohjaa ei yksinkertaisesti löytynyt. Kaikissa märkärekompresiota mahdollisesti käytettävissä lähteissä pidettiin lähtökohtana hapen käyttämistä hengityskaasuna. Ennaltaehkäisevästi suoritetusta

märkärekompressiosta ei löytynyt aineistoa muualta kuin Turvaohjeet pelastustoimen vesisukellukseen-ohjeesta (19). Märkärekompressiokäytännön käsittelyä varten pyydettiin lausunto Suomen Sukellus- ja Ylipainelääketieteen Yhdistykseltä. Hoitokaavion luotettavuus analyysien paikkaansapitävyyden osalta varmistettiin hyväksyttävällä hoitokaavion sisältö Carean ensihoidon vastuulääkärill.

Käyttämällä eri tutkimusmenetelmiä mahdollistetaan keskenään ristiriitaisten näkökulmien tarkasteleminen ja lisätään tutkimuksen luotettavuutta (17, 141-142). Kirjallisuuskatsauksen lisäksi aineistoa kerättiin asiantuntijoiden teemahaastatteluilla. Teemahaastattelujen luotettavuus varmistettiin suorittamalla haastattelut rauhallisessa tilassa, varmistamalla muistiinpanovälineiden toimivuus ennen haastattelutilannetta ja käyttämällä apuna avustajaa haastattelun kulun kirjaamisessa. Yksilöhaastattelujen jälkeen kokoonnuttiin yhteiseen keskustelutilaisuuteen, jossa oli mukana myös haastatteluihin osallistumattomia Suomen Sukellus- ja Ylipainelääketieteen Yhdistyksen lääkäreitä. Haastattelujen teema nostettiin esille myös ryhmäkeskustelussa, jonka lopputuloksena oli yksimielinen kanta nykyisen pelastustoimen märkärekompressiokäytännön muutostarpeesta.

Tutkija-subjektin, eli henkilökohtaisten mielipiteiden vaikutus, vältettiin tarkastelemalla hankittua teoriapohjaa kiihkottomasti ja tasapuolisesti (12, 293). Luotettavuuden itsearviointia varten luotiin taulukko. Taulukossa esitetään luettelo tekijöistä, joiden tulee olla kunnossa jotta opinnäytetyön tieteellisyys on taattu ja asian osoittava teksti löytyy selväkielisenä opinnäytetyöstä (11, 195-196). Luotettavuuden itsearviointia varten luotu taulukko on opinnäytetyön liitteenä (liite 11).

9.1.2 Kehittämistyön validiteetti

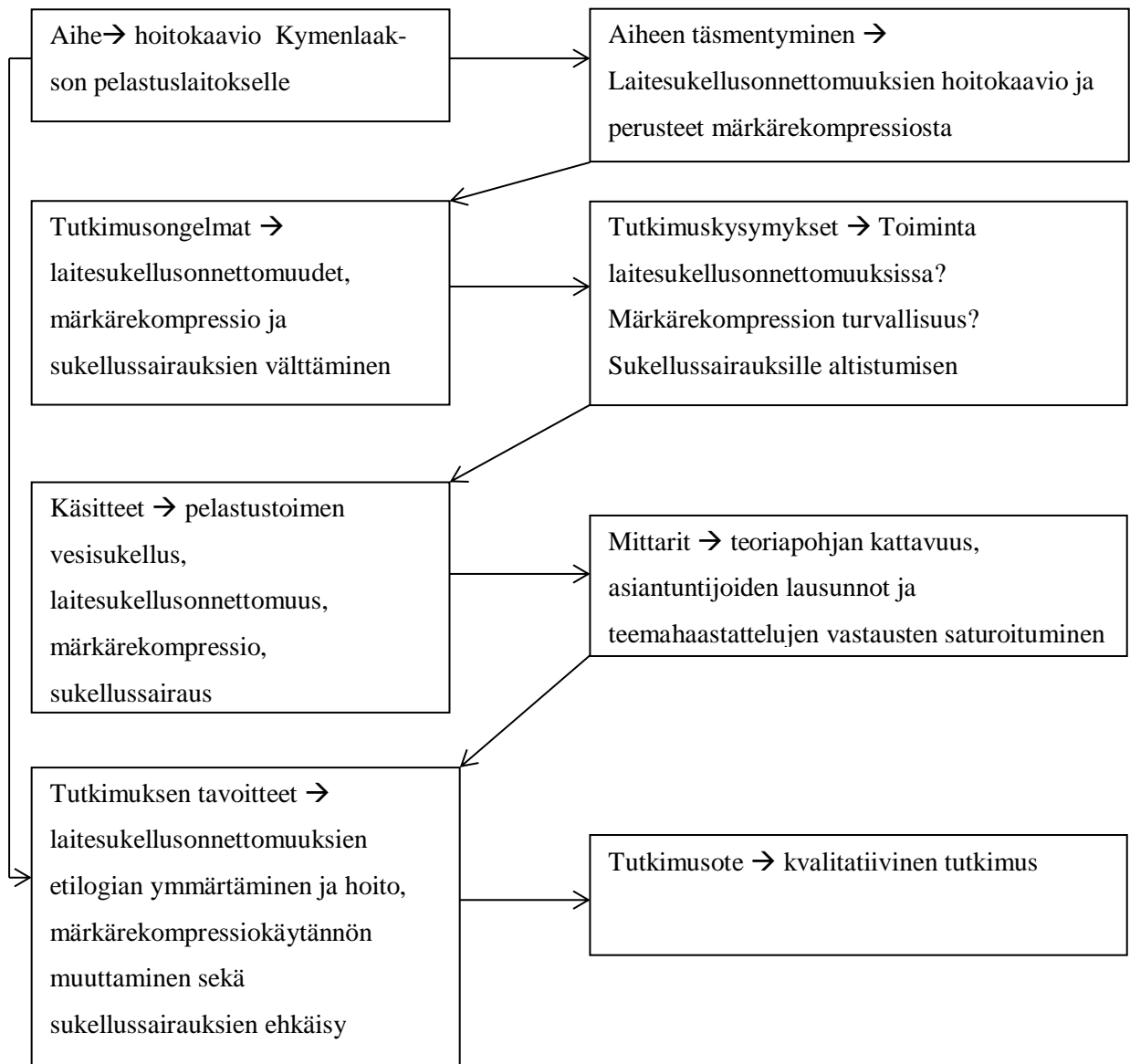
Teoriapohjan keräämiseen suoritettavat teemahaastattelut suoritettiin valitsemalla haastateltavien joukko tarkoituksen mukaisesti, ei satunnaisotoksen menetelmää käyttäen. Teemahaastattelujen validiteetti varmistettiin toteuttamalla haastattelut joustavasti ja muuttaen suunnitelmia olosuhteiden mukaan. (12,160.) Tutkimustulosten saturoituminen, eli vastausten sisällön samankaltaisuus (11, 30) ohjasi tutkimuksen etenemistä niin teemahaastattelurungon, kuin tutkimusongelmien muodostamisen osalta.

Validiteetti, eli tutkimuksen pätevyys, varmistettiin dokumentoimalla tutkimusprosessi huolellisesti ja määrittelemällä käsitteet tarkasti hankittuun teoriaan pohjaten (11, 168-171). Validiteetti varmistettiin myös kohdistamalla tutkimusasetelma vastaamaan suoraan pelastustoimen suorittamaan vesisukellukseen, jotta tutkimusongelmat pystyttiin muodostamaan mahdollisimman yksiselitteisiksi (12, 145). Kehittämistoimintaa arvioitaessa keskeistä on tiedon vaikuttavuus. Tarkastelu voidaan kohdentaa hankkeen arviointiin ja hyvän käytännön vaikuttavuuteen. (10, 148.) Asiantuntijoiden teemahaastattelussa käytettiin vakioitua haastattelurunkoa, vastaukset käytiin haastattelun jälkeen läpi yhdessä haastateltavan kanssa ja puhtaaksikirjoitettiin sekä analysoitiin huolellisesti. Tällä varmistettiin teemahaastattelujen pätevyys.

9.2 Kehittämistyön prosessin tarkastelu ja johtopäätökset

Opinnäytetyön lähdeviitejärjestelmäksi valittiin Kymenlaakson Ammattikorkeakoulun dokumentointiohjeen mukainen numeroviitejärjestelmä. *Numeroviitejärjestelmän etuna on tekstiviitteiden lyhyys. Sitä suositetaan usein silloin, kun lähteitä on vain vähän tai ne ovat muodoltaan erityyppisiä.* (49, 7). Kehittämistyönä tuotettu hoitokaavio ja muutoksen tavoittelu nykyiseen pelastustoimen märkärekompresiokäytäntöön pyrkivät vaikuttamaan vallitsevaan tilaan positiivisesti. Hyvien käytäntöjen tulee tukeutua selkeään näyttöön käytännön toimivuudesta. Terveys sekä turvallisuus tulee olla päämäärinä kaikessa kehittämistoiminnassa. Terveiden ja turvallisuuden edistämiseen pyrkiminen onkin opinnäytetyön keskeinen johtoajatus. (10, 148-149.) Opinnäytetyö valikoitui suoritettavaksi kehittämistyönä. Kehittämistoiminnan asemoinnilla tarkoitetaan vastaamista metodologisiin kysymyksiin (10, 54). Metodologisiin kysymyksiin vaikuttivat aiheen valinta ja aiheen täsmentyminen, tutkimusongelmien määrittely ja muodostetut tutkimuskysymykset, käsitteiden ja mittareiden määrittely, tutkimuksen tavoitteet sekä tutkimusotteen eli lähestymistavan valikoituminen (11, 186- 188). Kehittämistoiminnassa käytettävät menetelmät ovat usein monimuotoisia, metodologian muodostuessa erilaisista tutkimusotteista (10, 166-167).

Opinnäytetyön prosessin kulusta luotiin kuva, josta ilmenee tähän kehittämistehtävään liittyvät ja prosessin kulkuun vaikuttaneet asiat (Kuva 13).



Kuva 13. Opinnäytetyön prosessin kulku (11, 186-188)

Opinnäytetyön aiheen valikoituminen vaikutti päätökseen tehdä opinnäytetyö kehittämistyönä. Opinnäytetyön prosessi aikataulutettiin ja tavoitteeksi asetettiin prosessin valmistuminen keväällä 2014. Aiheen tarkennuttua muodostettiin tutkimusongelmat, jotka muunnettiin tutkimuskysymyksiksi. Tutkimuskysymysten ratkaisemiseksi kerättiin mahdollisimman laaja teoriapohja, jonka käsitteet pyrittiin avamaan selkeästi ja asettamaan luotettavuutta mittaavat mittarit. Tutkimuksen edetessä tarkentuivat myös tutkimukselle asetetut tavoitteet. Tavoitteet olivat epämääräisenä hahmotelmana olemassa jo aihetta valittaessa, mutta teoriapohjaa

muodostettaessa syntyi uusi tutkimusongelma vallitsevasta märkärekompresioikästä. Tämä tutkimusongelma katsottiin niin tärkeäksi että sen ratkaiseminen lisättiin tavoitteisiin kehittämistyön tilaajan kanssa käydyn keskustelun jälkeen. Kehittämistyön sisällön ja tavoitteiden takia tutkimusotteeksi valikoitui kvalitatiivisen tutkimus tiedonkeruu- ja analysointimenetelmien vuoksi (11, 188).

Tutkimusprosessin eri vaiheista muodostettiin kiinteä kokonaisuus, jonka keskeisenä sisältönä ovat teoriapohjan kerääminen, kerätyn teoripohjan analysointi, tulkinta ja johtopäätökset (12, 216). Eri tutkimusmenetelmiä käyttäen mahdollistetaan keskenään ristiriitaisten näkökulmien tarkasteleminen ja voidaan lisätä tutkimuksen luotettavuutta (17, 141-142). Opinnäytetyössä käytettiin erilaisia aineistoja teoriapohjan keräämiseen. Esimerkiksi haastattelut, tilastot, kirjallisuus ja tutkimukset sekä hyödynnettiin eri lähteitä. (17, 141.) Opinnäytetyössä käytetty kvalitatiivinen tutkimus auttoi hahmottamaan tutkimusongelmia, mikä puolestaan edellytti tutkimusongelmien tarkkaa tuntemusta (11, 180). Opinnäytetyön lopputulosta arvioitiin objektiivisesti ja tutkimuksessa vältettiin virheiden syntymistä (12, 226).

9.2.1 Sukellussairauksien ehkäisy työvuoron sukelluksilla

Sukeltajaliiton mukaan sukeltajan on oltava sukelluskelpoinen sekä psyykkisesti että fyysisesti. On muistettava, että päivittäiset vaihtelut omassa sukelluskunnossa voivat olla suuria ja oman sukelluskunnon arvioiminen on vaikeaa. Varsinkin silloin kun sukellaan lähellä omia suoritusrajoja. Sukelluskuntoa alentavia tekijöitä ovat erityisesti stressi, univelka, väsymys, kylmyys, puutteellinen nesteytys, päihteiden käyttö ja riittämätön palautuminen aiemmasta sukelluksesta tai raskaasta fyysisestä kuormituksesta. (40, 7.) Pelastustoimen vesisukeltajien lääkärintarkastuksilla taataan työntekijän fyysinen ja psyykkinen sopivuus vesisukellustehtävään.

Pelastustoimen käyttämän nousutaulukon, Merivoimien nousutaulukko 91, kehittämistyössä mukana ollut dosentti Seppo Sipinen muistuttaa haastattelussaan nousutaulukon altistavan sukeltaja 1 % mahdollisuudelle saada sukeltajantauti. Vaikka sukellus suoritettaisiin täysin taulukon suomissa rajoissa, on silti mahdollisuus sukeltajantaudin oireille. (50.) Sukeltajantaudin ilmaantumisen riskin minimoiminen

tulisi olla jokaisen vesisukeltajan ajatuksissa. Altistuttessa kohonneelle riskille tulisi ehkäisevät toimet suorittaa huolella. Kohonneelle riskille altistutaan rikottaessa sallittua nousunopeutta ja laiminlyötyessä turvapysähdys. Oireita koettaessa tulee oikeiden sekä määrätietoisten sukeltajan tilaa edistävien toimien olla ripeitä. Sukeltajan elimistöön liuenneen inerttikaasun vapautuminen on henkilökohtaista. Siihen vaikuttavat yksilöllisten tekijöiden lisäksi myös jokaisella sukelluksella vaihtuvat muuttuvat tekijät. Tärkeimpänä ehkäisykeinona on terve elimistö sekä sukelluksen huolellinen suunnittelu ja sukelluksen suorittaminen turvaohjeen mukaisesti ja asianmukaisilla varusteilla. Unohtamatta mahdollisia yllättäviä muutoksia, niin sanottuja `Jesus factors` -tekijöitä. (50.)

Suorittaessani teemahaastattelua Suomen Sukellus- ja Ylipainelääketieteen Yhdistyksen vesisukekellukseen perehtyneiden lääkäreiden kanssa, tuli ilmi Pelastusopiston opettaman märkärekompressiokäytännön mahdollisesti vesisukeltajalle aiheutuva riski. Vaikka sukeltaja olisikin oireeton, voivat viivästyneet oireet ilmaantua märkärekompression aikana. Muodostuneet kuplat jatkavat kasvuaan pintautumisen jälkeen. (8.) Märkärekompressiota ei tule suorittaa jos sukeltaja on altistunut sukeltajataudin kehittymiselle ja kuljetusaika painekammioon on alle 12 tuntia. Altistumisen katsotaan tapahtuneen, jos dekompressiotaulukoita on rikottu. (1.) Kuljetus painekammiohoitoon alle 12 tunnissa toteutuu käytännössä kaikkialla Suomessa. Märkärekompression sijaan vesisukeltajan tulee hengittää pinnalla happea, mieluiten varaajapussilla varustetulla happimaskilla ja vesisukeltaja tulee toimittaa painekammioon ylipainehappihoitoon heti oireiden ilmaantuessa (1). Kuljetus tulee järjestää ambulanssilla, jatkaen happihoitoa koko matkan ajan, tai lentoteitse lentokorkeuden ollessa enintään 300 metriä (9, 602).

Märkärekompressiota ei suositella, koska vesisukeltajalla on riskina sukeltajataudin myöhäisoireet (1). Myöhäisoireet ovat huomattavasti vakavammat ja vaikeammin hoidettavat jos ne ilmaantuvat sukeltajan ollessa veden alla, suorittamassa märkärekompressiota (8). Kaukaisissa kohteissa, joista kuljetus painekammioon kestää yli 12 tuntia on märkärekompressio mahdollisesti tarpeen suorittaa, mutta silloinkin hengityskaasuna tulee käyttää puhdasta happea (46). Puhtaan hapen hengittäminen ei pelastuslaitoksen välinein ole mahdollista märkärekompression aikana. Nestehoito on tärkeää laitesukellusonnettomuuksissa (9, 602), eikä sekään ole mahdollista märkärekompressiossa. Siispä nykyinen pelastustoimen

märkärekompressio tulee korvata uudella toimintatavalla, perustuen SSLY:n lausuntoon. Rikotun nousunopeuden tai laiminlyödyn turva- tai dekompressiopysähdyksen jälkeen vesisukeltaja pitää riisua sukellusvarusteistaan, asettaa lepoon ja huolehtia nesteen nauttimisesta suun kautta. Sukeltajalle annostellaan happea varaajapussillisesta happimaskista ja hänen tilaansa seurataan. Fyysistä rasitusta ja aktiivista lämmittämistä vältetään. Haastattelussa Carean ensihoidon vastuulääkäri Petri Loikas muistuttaa, että päädyttäessä antamaan happea sukeltajalle on syytä myös kuljettaa sukeltaja sairaalaan. Sairaalassa suoritettavien tarkempien neurologisten tutkimusten tekemiseksi. Happihoito tulee toteuttaa kuljetuksen aikana. (35.)

Laitesukelluspotilaalle tehtävässä neurologisessa tutkimuksessa tulee kiinnittää huomiota potilaan neurologiseen statukseen, jota tulee seurata säännöllisesti ja tutkimus tulee voida toistaa luotettavasti samankaltaisena (43). Tarkan neurologisen tutkimuksen perusteella voidaan luokitella potilaan mahdollisen sukeltajantaudin vakavuus sekä tilan muuttuminen ajan kuluessa (33). Ensihoitohenkilöstön suorittama neurologinen tutkimus on GCS (Glasgow Coma Scale), jota mahdollisesti tarkennetaan muilla tutkimuksilla tarpeen mukaan (35).

Sukeltajantaudin myöhäisoiireet saattavat lievinä jäädä huomioimatta. Ajatellaan helposti väsymyksen, iho-oireiden tai pienien nivelkipujen johtuvan jostakin muusta tekijästä. Toistuva hoitamaton tai puutteellisesti hoidettu sukeltajantauti saattaa ajan mittaan johtaa keskushermoston vaurioitumiseen (21). Viimeisenä ilmaantuvia myöhäisoiireita sukeltajantaudissa ovat luukuoliot, joissa mikrokuplat saavat aikaan verenkiertohäiriöitä erityisesti lonkkaluiden päissä ja putkiluissa lähellä nivelpintoja, erityisesti polvi- ja olkanivelissä (29). Näkyvät löydökset saadaan yleensä vasta kuukausien tai vuosien kuluttua röntgenkuvissa (21). Pelastustoimen henkilöstö joutuu kuormittamaan tuki- ja liikuntaelimistöään runsaasti työtehtävissään. TULES, eli tuki- ja liikuntaelimistön sairaudet, ovat operatiivisen henkilöstön kohdalla varsin yleinen vaiva. Vesisukelluksen kautta mahdollisten hoitamattomien sukeltajantautien vaikutusta tähän asiaan tulisi mielestäni pyrkiä selvittämään.

Sairaana ei tule sukeltaa `väkisin`. Varsinkaan nenän limakalvoja laajentavien lääkeaineiden vaikutuksen alaisena, tai kärsittäessä vain `pienestä tukkoisuudesta`. Lääkeaineen limakalvoja laajentava vaikutus mahdollistaa paineentasauksen

onnistumisen sukelluksen alussa, mutta vaikutuksen lakatessa saattavat ilmaonteloiden limakalvot turvota entisestään ja estävät paineen tasaantumisen nousun aikana (22, 9-9). Tämä tulee huomioida myös työvuoron esimiehen toimesta, vesisukeltajan itsensä lisäksi. Pelastuslaitoksen ohjeistuksen mukaan vesisukeltaja on velvollinen ilmoittamaan esteestä omassa vesisukelluskelpoisuudessaan.

Nestetasapainosta huolehtiminen on tärkeää myös ennen sukellustehtävää, ei ainoastaan sen jälkeen. Kuivuminen vaikuttaa sukeltajantaudin kehittymiseen hidastuneen perifeerisen verenkierron takia. Sukeltajantautia edistää immersiodiureesi sukelluksen aikana sekä käytettävän paineenalaisen hengityskaasun kuivuus. Hyvällä fyysisellä kunnolla ja kevyellä urheilusuorituksella ennen sukellusta on todettu olevan sukeltajantaudin esiintymistä suojaavaa vaikutusta. (21.) Tähän vesisukeltaja voi tehokkaasti vaikuttaa itse. Kevyt fyysinen suoritus ennen sukellusta ja omasta nestetasapainosta huolehtiminen pienentävät riskiä sairastua sukeltajantautiin. Myös työvuoron aikana suoritettut muut pelastustehtävät, esimerkiksi savusukellus palavassa rakennuksessa, heikentävät elimistön nestetasapainoa. Jos mahdollista, tulee työvuoron esimiehen miettiä komennuslistaa uudelleen ja kierrättää tehtäviä tarpeen mukaan.

Ylipaino on riskitekijä. Typpi on rasvaliukoinen kaasu ja sitä kertyy sukelluksen aikana lihavammalle enemmän kuin laihalle. Typpi poistuu rasvakudoksesta hitaasti rasvakudoksen huonon verenkierron takia. Huono fyysinen kunto on myös merkittävä tekijä sukeltajantaudin ilmenemisessä. Liikuntasuoritukset ennen sukellusta vähentävät sukeltajantaudin riskiä, mutta heti sukelluksen jälkeinen fyysinen rasitus saattaa laukaista sukeltajantaudin. Varsinkin syvien ja pitkien sukellusten jälkeen riski on ilmeinen. (21.) Tämä pitää ottaa huomioon suunniteltaessa työvuoron aikaisia tehtäviä. Sukeltajan mahdollisuus vaikuttaa omaan kehonkoostumukseensa ja fyysiseen kuntoon tulee olla jokaiselle selvää.

Korkean iän on myös todettu olevan sukeltajantaudin ja sukeltajantaudin myöhäisoireiden kehittymiseen vaikuttava tekijä (29). Yli 40 vuotiaiden sukeltajien tulisi suorittaa hieman pidemmät dekompressioajat kuin nuorempien (21). Pelastustoimen vesisukeltajilla onkin Kymenlaakson pelastuslaitoksella mahdollisuus jättäytyä pois vesisukellustehtävistä, niin halutessaan, kun on saavuttanut 50 vuoden iän.

Palelemisen on todettu vaikuttavan typen liukenemiseen elimistöstä ja raskaiden sukellusten lisäävän typpikertymää. Sukeltajantaudin kannalta riskialttein taulukon mukaisesti suoritettu sukellus on kylmässä vedessä suoritettu raskas sukellus, jonka aikana on hengästytty ja verenkierto on vilkastunut. Lisäksi suoritettavan turva- tai dekompressiopysähdyksen aikainen paleleminen kasvattaa sukeltajantaudin riskiä. (41.) Suoritettujen vesisukellusten jälkeen tulee välttää aktiivista lämmittelyä ja raskasta fyysistä rasitusta, koska silloin nopeutetaan typen poistumista elimistöstä. Saunominen sukelluksen jälkeen voi myös laukaista viivästyneet sukeltajantaudin oireet, joten sitä tulee välttää (8). Työvuoron päivittäistä ohjelmaa suunniteltaessa tuleekin huomioida mahdollinen tiedossa olevan vesisukelluksen ajankohta suhteessa muuhun päivittäiseen ohjelmaan, kuten päiväpalvelukseen kuuluva liikunta tai muut suunnitellut harjoitukset.

Sukeltajantaudin oireita pitää tarkkailla entistä huolellisemmin sukelluksen jälkeen ja hakeutua lääkärin tarkastukseen heti, jos pieniäkin viitteitä ilmenee (29). Vesisukeltajan seuranta tulee ohjeistaa työvuoron esimiehen toimesta työvuoron aikana suoritettujen sukellustehtävien jälkeen, jos sukellustaulukon arvoja on rikottu. Myös harjoitussukelluksilla tapahtuvat mahdolliset tahattomat pintaannousut ylittävät usein sallitun 10 metriä minuutissa nopeuden. Sukellusharjoituksia suunniteltaessa pitää muistaa toistuvien nousujen ja laskeutumisten lisäävän sukeltajantaudin riskiä saman sukelluksen aikana. Sukellettaessa niin sanotulla jojo-profiililla altistutaan sukeltajantaudille. Lähelle pintaa tullessa syntyy mikrokuplia ja riski lisääntyy mitä syvemmällä on sukellettu ja mitä pidempi sukeltajan alttiinaoloaika on ollut. (21.) Vesisukeltajan on myös Turvaohjeet pelastustoimen vesisukellukseen –ohjeen mukaan suoritettava tuloilmoitus sukelluksen jälkeen. Tuloilmoituksessa tulee mainita esimerkiksi poikkeamat nousunopeudessa ja turvapysähdyksessä. Vesisukeltajan tulee kiinnittää erityistä huomiota riittävän hitaaseen nousuun harjoitussukelluksilla. Vesisukeltajan täytyy myös rehellisesti myöntää, jos nousunopeus sukelluksella on ollut liian suuri tai sukelluksen aikana on kohdattu muita poikkeamia.

Uusintasukellusten vaikutus typen kertymiseen elimistössä tulee myös muistaa (21). Mahdolliseen hälytysluonteiseen uusintasukellukseen tulee varautua ennakolta, vaihtamalla sukellusvuorossa oleva henkilö mahdollisuuksien mukaan työvuoron esimiehen toimesta. Uusintasukellukset lisäävät sukeltajantaudin riskiä, koska silloin elimistössä on vielä jäljellä typpikertymää edelliseltä sukellukselta. Tämä edellisen

sukelluksen elimistöön kerryttämä jäännöstyyppi tulee huomioida uusintasukelluksen alttiinaoloajassa. Hälytysluonteisen sukeltamisen johdosta seuraavan sukelluksen ajankohtaa ei voi itse valita ja sukeltaja ei välttämättä ehdi itse laskea uuden sukelluksen sallittua alttiinaoloaikaa. Suoritettavan sukelluksen suurin syvyys ei ole yleensä etukäteen tiedossa hälytyksen sattuessa. Tällöin asiansa osaava sukellusavustaja huolehtii uusintasukelluksen suorittamisesta sukellustaulukon sallimien aikarajoitusten mukaan. Henkilökohtainen ja varusteiden huolto tulee suorittaa mahdollisimman pian sukellutehtävän jälkeen, jotta hälytysvalmius säilyy ja tehtävän tullessa ei tarvitse huolehtia laitteiden toimivuudesta.

Pelastustoimen käyttämää märkärekompresioikäytäntöä ei pidä noudattaa. Se tulee korvata SSLY:n suosittamalla pinnalla tapahtuvalla happihoidolla. Missään tapauksessa uudelleen paineistamista vedessä ei tule suorittaa ehkäisymenetelmänä sukeltajantaudille. (1.) Sukeltajan nousunopeuden ylittäessä 10 metriä minuutissa, tulee sukeltajan jäädä pinnalle. Sukeltajaa tarkkaillaan mahdollisten sukeltajantaudin oireiden varalta ja ennaltaehkäisevästi annetaan happea tarpeen mukaan. Jos happihoitoon ryhdytään, tulee sukeltaja toimittaa tarkempaan neurologiseen arviointiin sairaalaan ja happihoito toteuttaa kuljetuksen aikana.

9.3 Hoitokaavion sekä koulutustapahtuman arviointi ja palaute

Kehittämissyklin aikana järjestetystä hoitokaaviota testaavasta koulutustapahtumasta saatu palaute johti lopullisen hoitokaavion muokkaamiseen. Hoitokaavion tulkinnan selkiyttämiseksi päädyttiin muuttamaan tulkintaa ohjaavat nuolet eri väreillä. Vakavampaan tilaan viittaavan nuolen väriksi valittiin punainen ja kohti lievempiä oireita johtavan nuolen väriksi vihreä. Ainoastaan laitesukellustapaturman määrittämistä ohjaava nuoli sai jäädä alkuperäisen väriseksi. Myös hoitoa ohjaavien laatikoiden sisältöä muokattiin helpommin ymmärrettävään muotoon sekä sukelluksesta selvitettävien tietojen laatikkoon tehtiin lisäyksiä palautteen perusteella.

Varsinaisen teoriapohjan kouluttamista testaavasta koulutustapahtumasta saadun palautteen perusteella päätettiin varsinaista koulutustapahtumaa varten muodostaa Power Point-esitys teoriaosan keskeisistä asioista. Muodostetun teoriapohjan kouluttaminen Power Point –esityksen avulla testattiin ja esitykseen tehtiin tarvittavat

muutokset ennen varsinaista koulutustapahtumaa. Palautteita seuranneiden muutosten ansiosta aikaansaatiin mahdollisimman selkeä ja ymmärrettävä esitys varsinaista koulutustapahtumaa varten. Koko opinnäytetyön läpikäymisestä koulutustapahtuman aikana luovuttiin. Opinnäytetyö päädyttiin toimittamaan tulostettuna pelastuslaitoksen yhteisiin tiloihin, jolloin mahdollistetaan tarkempi syventyminen opinnäytetyön sisältöön liitteineen.

Lopullista koulutustapahtumaa varten pidetyistä testaavista koulutustapahtumista saatu palaute oli myönteistä. Käsiteltävä aihe koettiin yleisesti tärkeäksi ja aikaisempi tietämys aiheesta koettiin puutteelliseksi, varsinkin ei-vesisukellusta suorittavien taholta. Hoitokaavion lopullista ulkoasua pidettiin yleisesti selkeälukuisena ja vastaavan käytännön tarpeeseen. Myös vesisukellukseen osallistuvien mielestä aiheen kertaaminen oli tärkeää ja hyvänä pidettiin keskeisen teoria kerrattavuutta opinnäytetyöstä.

LÄHTEET

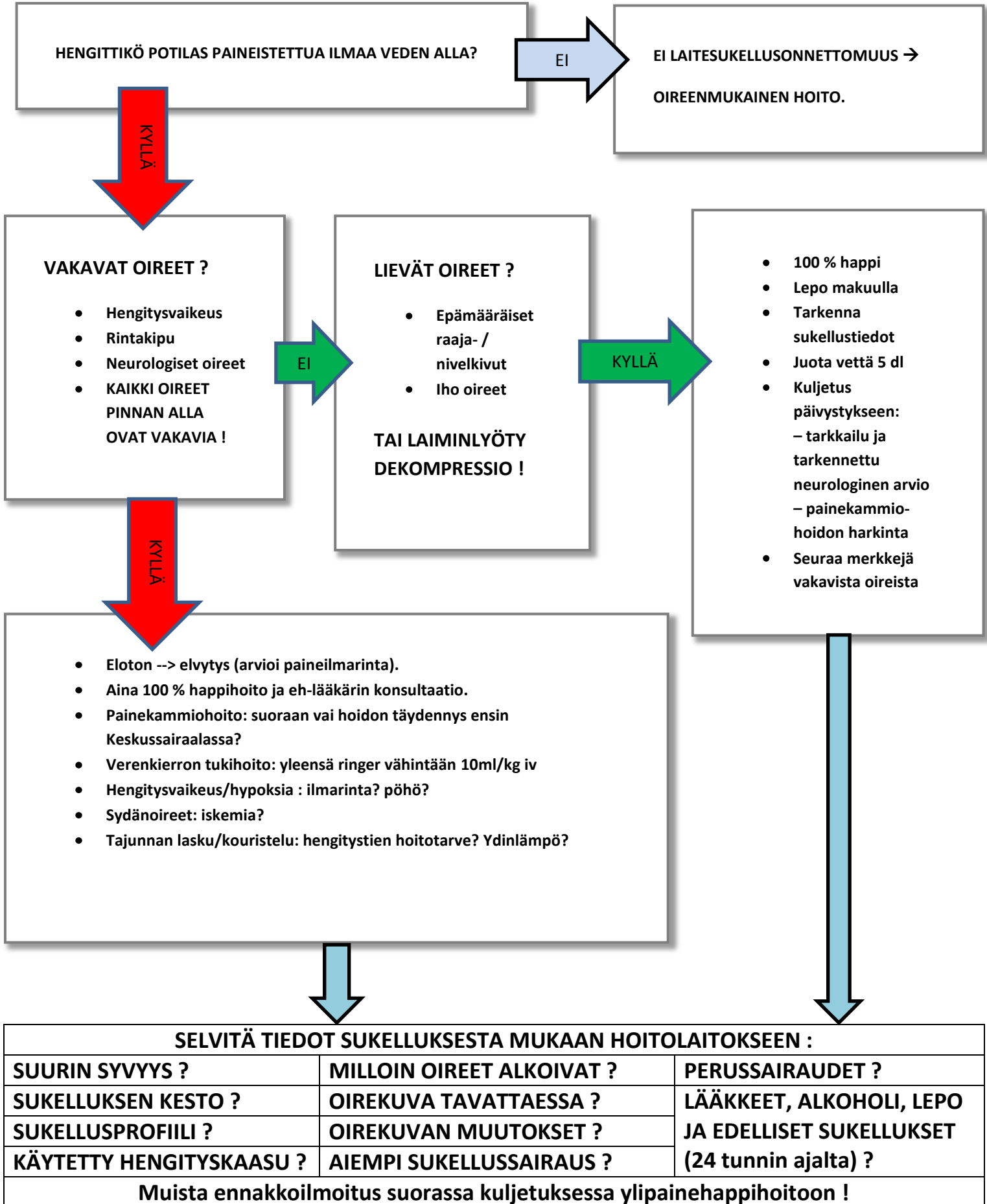
1. Suomen Sukellus- ja Ylipainelääketieteen Yhdistys. Lausunto keskeytyneen dekompression suorittamisesta vedessä. 1.3.2014.
2. Sukeltajaliitto ry. Sukeltajaliiton internetsivut. Päivitetty 5.3.2013. Saatavissa: www.sukeltaja.fi/content/fi/11501/8930/227/227.html [viitattu 4.4.2014]
3. Sukeltajaliitto ry. Sukeltajaliiton internetsivut. Päivitetty 21.8.2013. Saatavissa: <http://www.sukeltaja.fi/content/fi/11501/9572/227/227.html> [viitattu 4.4.2014]
4. Yleisradio oy. Yleisradion internetsivut. Päivitetty 7.2.2014. Saatavissa: http://yle.fi/uutiset/um_vahvistaa_kaksi_suomalaista_kuoli_sukellusonnettomuudessa_norjassa/7075258 [viitattu 4.4.2014]
5. Yleisradio oy. Yleisradion internetsivut. Päivitetty 4.3.2014. Saatavissa: http://yle.fi/uutiset/asikkalassa_kuolemaan_johtaneen_sukellusturman_syita_selvitetaan/7118944 [viitattu 4.4.2014]
6. Yleisradio oy. Yleisradion internetsivut. Päivitetty 29.3.2014. Saatavissa: http://yle.fi/uutiset/kuortaneella_vakavasti_loukkaantunut_sukeltaja_kuoli/7163212 [viitattu 4.4.2014]
7. Jama T 2013. Advanced diving accident life support. Luento 19.4.2013. Upinniemi: Varuskunta.
8. Sipinen, S.2013. Advaced diving accident life support -luento. 19.4.2013. Upinniemi.
9. Kuisma, M., Holmsström, P., Nurmi, J., Porthan, K. & Taskinen, T. 2013. Ensihoito. 3.-4. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
10. Toikko, T. & Rantanen, T. 2009. Tutkimuksellinen kehittämistoiminta. 3. korjattu painos. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy-Juvenes Print.
11. Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print.
12. Hirsjärvi, S. Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. 14. painos. Vantaa: Tammi.
13. Höök, J. 2009. Pelastusyksikön jäsenten pelastustekniset perustaidot – 1.osa koulutusharjoituksen järjestäminen. Pelastusopiston julkaisu A-sarja 3/2009. ISBN.
14. Johansson, K., Axelin, A., Stolt, M. & Ääri, R-L. 2007. Systemaattinen kirjallisuuskatsaus ja sen tekeminen. Turun yliopisto.

15. Tähtinen, H. Systemaattinen tiedonhaku hoitotieteen näkökulmasta. 2007. Turun yliopisto.
16. Kääriäinen, M. & Lahtinen, M. 2005. Systemaattinen kirjallisuuskatsaus tutkimustiedon jäsentäjänä. Hoitotiede- lehti vol. 18. nro 1/2006. Oulun yliopisto.
17. Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2011. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. 8. uudistettu painos. Vantaa: Tammi.
18. Jama, T. 2012. Sukellusonnettomuuspotilaan hoito. Akuuttihoito-opas. Terveysportin internetsivut. Päivitetty 19.12.2012. Saatavissa: www.terveysportti.fi.xhalax-ng.kyamk.fi:2048/dtk/aho/koti?p_artikkeli=aho01801&p_haku=sukellusonnettomuuspotilaan%20hoito [viitattu 4.4.2014]
19. Pelastusopisto. 2007. Turvaohjeet pelastustoimen vesisukellukseen.
20. Vikman, T. 2007. Sukellus. 7.painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino OY
21. Sipinen, S. 2010. Sukeltajantauti. Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim. Terveysportin internetsivut. Saatavissa: http://www.terveysportti.fi.xhalax-ng.kyamk.fi:2048/dtk/ltk/koti?p_artikkeli=duo98634&p_haku=sukeltajantauti [viitattu 4.4.2014]
22. Edmonds, C., McKenzie, B., Thomas, R. & Pennefather, J. 2012. Diving medicine for scuba divers. 4. painos. Manly, Australia: Edmonds Carl.
23. Young, H. & Freedman, R. 1996. University Physics. 9. painos. USA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
24. Halliday, D., Resnick, R. & Walker, J. 2008. Fundamentals of Physics. 8. painos. USA: John Wiley & Sons, Inc.
25. Sand, O., Sjaastad, Haug, E., Bjälje, J. & Toverud, K. 2012. Ihminen Fysiologia ja anatomia. 8.-9. uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
26. Sukellus.info. 2013. Kuolemaan johtaneet sukellusonnettomuudet. Sukellus.infon internetsivut. Saatavissa: www.sukellus.info/sukelluskuolemat.shtml [viitattu 5.9.2013].
27. DAN. 2008. Project Dive Exploration report 2008. Durham, NC: Divers alert network. Divers alert networkin internetsivut. Vaatii kirjautumisen: <http://www.diversalertnetwork.org/medical/report/> [viitattu 28.4.2013].
28. Sukeltajaliitto ry. 2012. Yleinen koulutusohje 2012, hyväksytty 14.1.2002. Sukeltajaliiton internetsivut. Saatavissa: www.sukeltaja.fi/files/pdf/1415/Yleinen%20koulutusohje%20hyv%2014.1.2012.pdf [viitattu 7.7.2013].

29. Räsänen-Sokolowski, A. 2013. Advanced diving accident life support -luento. 19.4.2013.
30. Suvilehto, J. 2007. Sukeltajantauti. Akuutti televisio ohjelma 20.3.2007. Akuutin arkiston internetsivut. Saatavissa: http://www.yle.fi/vintti/yle.fi/akuutti/arkisto2007/200307_a.htm [viitattu 16.6.2013].
31. Jama, T. 2012. Sukeltajantauti. Akuuttihoito-opas. Terveysportin internetsivut. Päivitetty 19.12.2012. Saatavissa: http://www.terveysportti.fi.xhalax-ng.kyamk.fi:2048/dtk/aho/koti?p_artikkeli=aho01802&p_haku=sukeltajantauti [viitattu 4.4.2014]
32. Sipinen, S. & Suvilehto, J. 2013. Sukelluslääketiede. Lääkäriin käsikirja. Terveysportin internetsivut. Päivitetty 5.4.2013. Saatavissa: http://www.terveysportti.fi.xhalax-ng.kyamk.fi:2048/dtk/ltk/koti?p_artikkeli=ykt00455&p_haku=sukeltajantaudin%20hoito [viitattu 4.4.2014]
33. Kuokkanen, J. 2002. Sukeltajantaudin ja sukellusonnettomuuksien hoito. Suomen lääkirilehti. Terveysportin internetsivut. Vahvistettu 2014, Suomen lääkiriliitto. Saatavissa: http://www.terveysportti.fi.xhalax-ng.kyamk.fi:2048/dtk/ltk/koti?p_artikkeli=ykt00455&p_haku=sll14948 [viitattu 4.4.2014]
34. Suvilehto, J. 2013. Advanced diving accident life support -luento. 19.4.2013. Upinniemi.
35. Loikas, P. Haastattelu. Kotka. 3.8.2013.-4.4.2014.
36. Mäkijärvi, M., Harjola, V., Päivä, H., Valli, J. & Vaula, E. 2011. Akuuttihoito opas. 15., uudistettu painos. Helsinki: Kustannus oy Duodecim.
37. Sipinen, S. & Suvilehto, J. 2013. Ylipainehappihoito (HBO-hoito). Lääkäriin käsikirja. Terveysportin internetsivut. Päivitetty 5.4.2013. Saatavissa: http://www.terveysportti.fi.xhalax-ng.kyamk.fi:2048/dtk/ltk/koti?p_artikkeli=ykt01387&p_haku=ylipainehappihoito [viitattu 4.4.2014]
38. Virta, J. 2013. Advanced diving accident life support -luento. 19.4.2013. Upinniemi.
39. PADI. 2010. Enriched Air Diver manual. Versio 1.01. California, USA: 30151 Tomas

40. Sukeltajaliitto ry. 2009. Turvaohje 2009, hyväksytty 30.11.2008. Sukeltajaliiton internetsivut. Saatavissa: www.sukeltaja.fi/files/pdf/1413/Turvaohje%202009.pdf [viitattu 7.7.2013].
41. Lauritsalo, S. 2013. Advanced diving accident life support -luento. 19.4.2013. Upinniemi.
42. Silfast, T. 2012. Hukkuneen hoito. Akuuttihoito-opas. Päivitetty 19.12.2012. Terveysportin internetsivut. Saatavissa: http://www.terveysportti.fi.xhalax-ng.kyamk.fi:2048/dtk/aho/koti?p_artikkeli=aho01540&p_haku=hukkuminen [viitattu 4.4.2014]
43. Räisänen-Sokolowski, A. Haastattelu. Upinniemi 19.4.2013.
44. Silfast, T., Castrèn, M., Kurola, J., Lund, V. & Martikainen, M. 2013. Ensihoito opas. 6. uudistettu painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.
45. Wuorimaa, T. Advanced diving accident life support. Luento 19.4.2013. Upinniemi: Varuskunta.
46. Denoble, P. 2011. Alert Diver-Winter 2011. In-Water Recompression. Alertdiveronline internetsivut. Saatavissa: http://www.alertdiver.com/In-Water_Recompression [viitattu 1.8.2013].
47. Jama, T. Haastattelu. Upinniemi 19.4.2013.
48. DAN. 2013. Decompression illness: what is it and what is the treatment. Dan European internetsivut. Saatavissa: http://www.diversalertnetwork.org/medical/articles/Decompression_Illness_What_Is_It_and_What_Is_The_Treatment [viitattu 1.8.2013].
49. Ahtola-Mutikainen, H., Nuutila, P., Sohlman, H. & Taubert, S. 2009 Opinnäytetyön dokumentointiohje. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu
50. Sipinen, S. Haastattelu. Upinniemi 19.4.2013.

LAITESUKELLUSONNETTOMUUDEN HALLINTAKAAVIO



LIITE 2: **ADVANCED DIVING ACCIDENT LIFE SUPPORT (ADALS)**

19. - 20.4.2013

Tapahtuman järjestäjät: Suomen Sukellus- ja Ylipainelääketieteen Yhdistys (SSLY), Suomen anesthesiologiyhdistys (SAY)/ensihoitojaos sekä SotLK/Sukelluslääketieteen keskus.

Kurssinjohtaja: **Timo Jama**, email: timo.jama@sukelluslaakarit.fi

Tavoitteet: Kurssin käytyään koulutettava tuntee sukellussairauden riskitekijät, patofysiologian ja ensihoidon, sekä tavallisimmat sukeltamiseen liittyvät lääketieteelliset ongelmat ja niiden hoidon, sekä hallitsee elvytyksen perusteet ja hukkuneen ensihoidon.

Luentomateriaali: **Seppo Sipinen**, LKT, sukellus- ja ylipainelääketieteen dosentti

Seppo Lauritsalo, LL, anesthesiologian erikoislääkäri, sydänanestesian ja ensihoitolääketieteen erityispätevyys, KSKS

Timo Jama, LL, anesthesiologian erikoislääkäri, sukellus- ja ylipainelääketieteen, ensihoitolääketieteen ja päivystyslääketieteen erityispätevyys, ylilääkäri, ensihoitokeskus, PHSOTEY

Jari Suvilehto, LT, korva-, nenä- ja kurkkutautien erikoislääkäri, sukellus- ja ylipainelääketieteen erityispätevyys, lääketieteellinen johtaja, MediOxygen oy

Anne Räisänen-Sokolowski, Dos., patologian erikoislääkäri, sukellus- ja ylipainelääketieteen erityispätevyys, HUSLAB ja MediOxygen oy

Janne Virta, LL, anesthesiologian erikoislääkäri, lääketieteellinen asiantuntija, FinnHEMS oy

Harri Mäkitalo, sukellussairaanhoidtaja, Sukelluslääketieteen keskuksen varajohtaja

Tomi Wuorimaa, LT, sukellus- ja ylipainelääketieteen erityispätevyys, Sukelluslääketieteen keskuksen ylilääkäri

Pienryhmäopetus:

Hoitoelvytys, Timo Jama

Hengitystien hallinta, Seppo Lauritsalo

Jänniteilmarinta, Janne Virta

HBO käytännössä, Harri Mäkitalo

Sukellusonnettomuuspotilaan tutkiminen ja ensihoito, Anne Räsänen-Sokolowski

Erikoistumiskoulutus, anottu:12-28 tuntia, Helsingin yliopisto.

Erikoisalat:

akuuttilääketiede, anestesiologia ja tehohoito, korva-, nenä- ja kurkkutaudit, keuhkosairaudet, kardiologia, kliininen fysiologia, ortopedia ja traumatologia, liikuntalääketiede, neurologia, työterveyshuolto, yleiskirurgia, yleislääketiede, sisätautien ja kirurgian runkokoulutus.

LIITE 3: Teemahaastattelurunko (ADALS).

Haastattelut suoritettiin ADALS –kurssin yhteydessä (Advanced diving accident life support), 19. – 20.4. 2013. Upinniemessä, Kirkkonummella.

Teema 1. Laitesukelluspotilaan ensihoito.

Aihe: Laitesukelluspotilaan ensihoidossa ilmenneet uudistukset?

Aiheen tarkentaminen: Tärkeimmät huomioitavat seikat kohdattaessa laitesukellusonnettomuuspotilas?

Teema 2. Märkärekompresio

Aihe: Märkärekompresiota puoltavat seikat?

Aiheen tarkentaminen: Milloin märkärekompresio tulisi suorittaa pelastustoimen vesisukelluksella?

Teema 3. Ylipainehappihoito

Aihe: Millaisen raportin ylipainehoitoon painekammiossa pystyvä yksikkö haluaa ensihoitohenkilöstöltä?

Aiheen tarkentaminen: Neurologisen statuksen selvittäminen?

LIITE 4: Teemahaastattelurunko, Kymenlaakson sairaanhoitopiirin ensihoidon vastuulääkäri Petri Loikas.

Haastattelu suoritettiin Kotkassa 01.06.2013-13.04.2014.

Teema: Paikallisten hoito-ohjeiden vaikutus laitesukellusonnettomuuspotilaan hoitoon.

Aihe 1: Lieväoireisen (tyyppi 1 oireet) sukeltajantautipotilaan kohtaaminen.

Aiheen tarkentaminen: Kuljettaminen / kuljettamatta jättäminen ja ohjeistaminen hakeutumaan itsenäisesti lääkärintarkastukseen.

Aihe 2: Korvaoireinen sukellusonnettomuuspotilas.

Aiheen tarkentaminen: Potilaan yleistilan vaikutus kuljetukseen.

Aihe 3: Keuhkojen barotraumasta kärsivän sukellusonnettomuuspotilaan hoito.

Aiheen tarkentaminen: Hengitysvaikeuden vaikutus hoitoon.

Aihe 4: SpO₂ –arvon vaikutus laitesukellusonnettomuuspotilaalla.

Aiheen tarkentaminen: Happihoidon toteuttaminen laitesukellusonnettomuuspotilaalle.

Aihe 5: Hypotermisen laitesukellusonnettomuuspotilas.

Aiheen tarkentaminen: Hoidon toteuttaminen hypotermisen potilaan kohdalla.

Aihe 6: Hypertermisen/ lämpöuupumuksesta kärsivän laitesukellusonnettomuuspotilaan hoito.

Aiheen tarkentaminen: Hoito-ohje.

Aihe 7: Hukkuneen laitesukellusonnettomuuspotilaan hoito ja elvytys.

Aiheeseen tarkentaminen: Erityis huomioiden liittyen vesisukellukseen.

LIITE 5: Kirjallisuuskatsaus:

Hakukone ja kriteerit	Hakusanat	Osumat yhteensä	Valinta kriteeri
<u>Pub Med</u>			
Vuodesta mikä tahansa, päätyen mikä tahansa	diving AND emergencies	76, valittu 1	tiivistelmä
Kieli englanti	diving AND first respond	5, valittu 1	tiivistelmä
Aineistona kaikki	recompression AND emergencies	202, valittu 1	tiivistelmä
<u>Melinda</u>			
Vuodesta mikä tahansa, päätyen mikä tahansa	sukellus AND ensihoito	3, valittu 0	
Kieli suomi ja englanti	sukellus AND onnettomuu?	6, valittu 0	
Aineistona kaikki	pelastussukellus	3, valittu 1	otsikko
	recompression AND diving	287, valittu 0	
	ylipainehappihoito	5, valittu 0	
	märkärekompresio	0, valittu 0	
<u>Terveysportti</u>			
Vuodesta mikä tahansa,	sukellus	36, valittu 14	sisältö

päätyen mikä tahansa	sukeltajantauti	14, valittu 14	sisältö
Kieli suomi ja englanti	sukellusonnettomuus	11, valittu 11	sisältö
Aineistona kaikki	sukellus ensihoito	3, valittu 3	sisältö
	ylipainehappihoito	31, valittu 2	sisältö
	märkärekompessio	0, valittu 0	
	recompression diving	4, valittu 0	
<u>Kymi</u>			
Vuodesta mikä tahansa, päätyen mikä tahansa	pro? sukellus?	69, valittu 0	
Kieli suomi ja englanti	pelastussukellus?	5, valittu 1	otsikko
Aineistona kaikki	sukellus? onnettomuu?	32, valittu 4	tiivistelmä
	diving? first respond?	1, valittu 0	
	märkärekompessio	0, valittu 0	

LIITE 6: **Kehittämistyössä käytetty metodologinen kirjallisuus.**

Teoksen nimi	Kirjoittaja	Julkaisemisvuosi
Kehittämistutkimus opinnäytetyönä	Kananen	2012
Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi	Tuomi ja Sarajärvi	2011
Systemaattinen kirjallisuuskatsaus ja sen tekeminen	Johansson, Axelin, Stolt ja Ääri	2007
Systemaattinen kirjallisuuskatsaus tutkimustiedon jäsentäjänä	Kääriäinen ja Lahtinen	2005
Systemaattinen tiedonhaku hoitotieteen näkökulmasta	Tähtinen	2007
Tutki ja kirjoita	Hirsjärvi, Remes ja Sajavaara	2009
Tutkimuksellinen kehittämistoiminta	Toikko ja Rantanen	2009

Suomen Sukellus- ja Ylipainelääketieteen Yhdistyksen (SSLY) lausunto keskeytyneen dekompression suorittamisesta vedessä

Asemamestari Antti Kosonen tekee Kymenlaakson pelastuslaitokselle turvaohjeita pelastussukeltajien pitämättä jääneen (keskeytyneen) dekompressiopysähdyksen varalta. Kosonen pyytää SSLY:ltä lausuntoa pelastussukelluksen turvaohjetta varten.

Nykyinen Pelastusopiston vesisukeltamista koskeva turvaohje vuodelta 2007 ohjeistaa suorittaman rekompression painekammiossa tai tarvittaessa vedessä sukelluksen jälkeen, jolla on rikottu pelastuslaitoksen käytössä olevia Merivoimien sukellustaulukoita (M91) dekompressiopysähdyksen osalta. Painekammioita ei pelastussukeltamisen luonteesta (hälytystehtävä, nopeat vasteet, kohteena kaikki vesistöt maa- ja merialueilla) johtuen ole onnettomuuspaikoilla saatavilla. Happea kuitenkin kaikilla tehtävillä tulee olla saatavilla.

Määritelmiä

Keskeytyneen dekompression suorittaminen vedessä sukeltajan pintautumisen jälkeen tulee selkeyden vuoksi erottaa varsinaisesta *oireisen sukellussairauden uudelleenpaineistuksella vedessä toteutettavasta hoidosta*. Molemmista käytetään hieman harhaanjohtavasti termiä ”märkä-rekompressio” (IWR, in-water recompression). Jälkimmäistä menetelmää ei Suomen oloissa tulisi sukeltajan turvallisuuden takia tehdä missään olosuhteissa.

Lausunto koskee pelastussukellustoimintaa Suomessa kaikissa sen muodoissa.

SSLY toteaa seuraavaa:

1. Minkään rekompressiomenetelmän tehoa ei ole osoitettu tieteellisessä koeasetelmassa toista paremmaksi. Mikäli keskeytyntä dekompressiota jatketaan vedessä, tulisi se toteuttaa alle 5 minuutin sisällä pintautumisesta. Rekompression turvallinen suorittaminen vedessä vaatii paitsi riittävän kaasuvaramon ja myös turvasukeltajan.
2. Vaikeat sukellussairauden (DCI) oireet alkavat yleensä aina 30 minuutin kuluessa pintautumisesta. On siis mahdollista, että kaikkein vakavimmat oireet (AGE:n eli valtimokaasuembolisaation oireet) alkavat sukeltajan ollessa jatkamassa keskeytyntä dekompressiota vedessä.
3. Ns. ”märkä-rekompressioon” vedessä sisältyy huomattavia riskejä sukeltajalle (hypotermia, dehydraatio, DCI oireiden alkaminen vasta vedessä, hukkuminen).
4. Suositeltavin ja ylivoimaisesti turvallisin menetelmä pienentää keskeytyneen dekompression tai liian nopean nousunopeuden aiheuttamaa sukellussairauden riskiä on **normobaarinen 100% happihengityksen** toteuttaminen pinnalla. Happihengitys nopeuttaa inerttikaasun (N₂) eliminaatiota ns. happi-ikkunan avulla, auttaa kuplien volyymin pienentämisessä sekä sulkee keuhkoverenkierron jo lievässäkin rasituksessa (jo 25% VO₂ max rasitustaso riittää) avautuvia keuhkoverenkierron oikovirtaussysteemejä (ns. suntteja). Sunttien avautuminen voi johtaa laskimokuplien arterialisaatioon (AGE) ja vakaviin DCI:n oireisiin. Happihoidolla pienennetään siis DCI:n riskiä merkittävästi.
5. *Oireista sukeltajaa* ei tule missään Suomen olosuhteissa määrätä veteen suorittamaan hoidollista rekompressiota (IWR), koska oireet usein pahenevat progressiivisesti ja ilmalla suoritettuna rekompression tehosta ei ole näyttöä. Hoidollinen IWR tulisikin tutkimusten mukaan suorittaa 100% hapella kokokasvomaskia käyttäen turvasukeltajan kanssa. Lisäksi vedessä tulisi olla järjestelyt, joilla rekompressiota

suorittava sukeltaja pystyy olemaan turvallisesti ja ilman liiallista fyysistä kuormitusta eri syvyyksissä (kiinteä naru/puomitikas ennalta sovituisissa syvyyksissä, joihin sukeltaja voi tukeutua ja mihin hänet voidaan kiinnittää). Hoidollinen IWR tulee kysymykseen lähinnä lämpimissä vesissä kaukaisilla sukelluspaikoilla, joista matka lähimpään painekammioon kestää tyypillisesti yli 12 tuntia ja sukellusorganisaatio on asianmukaisesti koulutettu menetelmän käyttöön.

6. Suomen olosuhteissa painekammioon päästään lähes kaikkialta 2-4 tunnin sisällä oireiden alusta. Oireinen sukeltaja tulee hoitaa aina painekammiossa valvotuissa olosuhteissa.

SSLY:n suositus

Pelastussukeltajan tai sukellustyön johtajan havaitessa puuttuvan dekompressiopysähdyksen tai liian nopean nousunopeuden (> 10 m/min) sukelluksen jälkeen (keskeytynyt dekompressio), tulee sukeltaja riisua sukellusvarusteistaan, tutkia mahdollisten DCI-oireiden varalta, siirtää lämpimään tilaan ja asettaa makuuasentoon lepoon (selkääsennossa sydämen minuuttivirtaus jakautuu tasaisemmin kudoksiin ja inerttikaasun poistuminen nopeutuu). Sukeltajalle annostellaan 100% happea joko varaajapussilla varustetulla happinaamarilla tai ns. demand-tyyppisellä annostimella 60 minuutin ajan. Hänelle annetaan suun kautta vettä tai urheilujuomaa 0,5 L/30 min (mikäli tajunta normaali eikä pahoinvointia esiinny). 60 min happihengityksen jälkeen sukeltaja tutkitaan uudelleen DCI-oireiden varalta (mikäli sukeltajalla ilmenee DCI:n oireita happihoitojakson aikana, siirrytään suoraan kohdan 2 toimintaan). Tämän jälkeen toimitaan seuraavasti:

1. Mikäli sukeltaja on täysin oireeton, hänen tulee välttää fyysistä rasitusta, sukeltamista ja lentämistä (yli 300 m korkeudessa merenpinnan tasosta) seuraavan 23 tunnin ajan. Mahdollisia sukellussairauden oireita tulee seurata ja ottaa tarvittaessa yhteyttä sukelluslääkäriin. Seurannan aikana oireilevat tulee hoitaa painekammiossa. Yli 24 tunnin kuluttua pintautumisesta alkavat oireet ovat hyvin epätodennäköisesti sukellussairaudesta johtuvia.

2. Mikäli sukeltajalla havaitaan DCI:n oireita tai löydöksiä, tulee sukeltaja toimittaa nopeasti hoitoon lähimpään painekammioyksikköön. Happihoitoa jatketaan ja vakavaoireisille sukeltajalle avataan suoniyhteys Ringer-tyyppisellä kristalloidilla (infusoidaan 10 ml/kg ensimmäisen 30 min aikana, jatkoon lääkärin ohjeiden mukaan tavoitteena riittävä diureesi) ja konsultoidaan sukelluslääkäriä. Sokeripitoisia nesteitä ei infusoida ellei todeta hypoglykemiaa. Sukeltaja pidetään lepoasennossa vaakatasossa ja lämpimänä käytettävissä olevin keinoin (huopa, avaruuslakana tms.).

Kuljetusmuoto painekammioon

Matkalla tulee huolehtia 100% happihoidon jatkumisesta sekä riittävästä nesteytyksestä (virtsaneritystavoite > 1 ml/kg/t).

1. Lievät sukellussairauden oireet (iho-nivel/lihasoireiset): potilas voidaan kuljettaa maakuljetuksella kaikkialta Suomesta lähimpään painekammioon mielellään makuuasennossa. Nesteytys suun kautta.

2. Vaikeat sukellussairausten oireet (neurologisesti oireilevat, hengitys- tai verenkiertovajauksen oireet): potilas tulee pyrkiä kuljettamaan helikopterilla mikäli maakuljetus ambulanssilla kestää yli 2 tuntia lähimpään painekammioon. Makuuasento ja iv-nesteytys, muuten ensihoito on oireenmukaista. Elintoimintojen monitoroinnista tulee huolehtia kuljetuksen aikana (NIBP, EKG, SpO2 ja GCS). Helikopterievakuaation aikana lentokorkeus ei saa ylittää 300 m. Korkeutta on tarvittaessa laskettava mikäli potilaan oireisto pahenee kuljetuksen aikana.

Helsingissä 1.3.2014

SSLY hallituksen puolesta



Timo Jama, SSLY pj.

Anestesiologian ja akuuttilääketieteen erikoislääkäri

Sukellus- ja ylipainelääketieteen, ensihoitolääketieteen ja päivystyslääketieteen erityispätevyys

ISBAR-KONSULTAATIO MUISTIKORTTI

ISBAR	
I IDENTIFY Tunnistautuminen	<ul style="list-style-type: none">• Nimi, hoitovelvoitetaso, yksikkötunnus ja kunta• Potilaan nimi, ikä ja henkilöturvatus
S SITUATION Tilanne	<ul style="list-style-type: none">• Konsultaation tarkennettu syy• Tilanteen vakavuus
B BACKGROUND Tausta	<ul style="list-style-type: none">• Perussairaudet, allergiat ja lääkitys• Tapahtumatiedot ja potilaan kuvaama oire
A ASSESSMENT Nykytilanne	<ul style="list-style-type: none">• ABCDE: vitaalielintoiminnot, mittaustulokset ja kliiniset löydökset• Hoidot ja vaste
R RECOMMENDATION Toimintaehdotus	<ul style="list-style-type: none">• Oma työdiagnoosi• Kysymykset ja omat ehdotukset

Lähde: M. Leonard, Kaiser Permanente 2004, SBAR/ISBAR
Sami Saarela, HUS Porvoon sha 2012
Susanne Ångerman-Haasmaa, FinnHEMS 10

LIITE 10: Opinnäytetyön itsearvioitsijan muistilista (11, 195):

Opinnäytetyön tieteellisyyden takaavat tekijät:	kunnossa	opinnäytetyön
Mitä tutkimuksessa aiotaan tehdä?	x	kappale 2
Onko tutkimusongelma määritelty?	x	kappale 3.1
Onko tutkimuskysymykset johdettu tutkimusongelmasta?	x	kappale 3.1
Onko tutkimuksella selvät tavoitteet?	x	kappale 3.1
Onko aihetta sivuavaan kirjallisuuteen perehdytty?	x	kappale 3.2
Onko tiedonkeruumenetelmä kerrottu ja perusteltu?	x	kappale 4
Onko analyysimenetelmä kerrottu ja perusteltu?	x	kappale 4.2
Onko tutkimuksen luotettavuusarviointi tehty?	x	kappale 6
Onko johtopäätökset oikeat?	x	kappale 6
Onko metodologia määritelty ja perusteltu?	x	kappale 9.1
Onko dokumentaatio riittävän tarkkaa?	x	kappale 9.1.1
Onko analyysit tehty oikein, onko ne varmistettu?	x	kappale 9.1.2
Onko käsitteet ja mittarit määritelty?	x	kappale 9.2
Onko metodologiakirjallisuuteen perehdytty?	x	liite 6
Onko aineisto riittävä?	x	lähdeluettelo



KYMENLAAKSON PELASTUSLAITOS

www.kympe.fi



LAITESUKELLUSONNETTOMUUDET
- ja märkärekompresio -

Asemamestari Antti Kosonen, Kotka, 01.03.2014



Sukellusfysiikkaa

- Ihmisen elimistö sopeutunut yhden ilmakehän suuruiseen ympäröivään paineeseen (n. 1 bar)
- Veden aiheuttama paineen nousu n. 1 bar/10m
→ vaikutus hengityskaasun osapaineeseen ja kaasun tilavuuteen
- Veden lämmönjohtamiskyky huomattavasti suurempi kuin ilman



Sukellusfysiikkaa

VESISUKELLUKSEEN LIITTYVÄT KAASULAIT

Miksi tärkeää ymmärtää?



Sukellusfysiikkaa

- Charlesin laki: $P_1:T_1=P_2:T_2$
- Boyleyn laki: $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$
→ Muodostavat yhdessä YLEISEN TILANYHTÄLÖN, $P_1 \times V_1 : T_1 = P_2 \times V_2 : T_2$ (→ $P \times V : T = \text{vakio}$), jossa kaasun tilavuuden suhde ympäröivään paineeseen suhteellisesti suurin lähellä pintaa (keuhkojen painevammat, paineenalantajan mahdollinen jäätäminen...)



Sukellusfysiikkaa

- Daltonin laki: $P_x = P_y + P_z$ (kaasun kokonaispaine on sen osapaineiden summa)

yksinkertaistettu esimerkki ilman osalta:
p ilma = $p_{O_2} + p_{N_2}$ → kaasun vaikutus elimistöön määräytyy sen osapaineen mukaan, ei tilavuusosan perusteella



Sukellusfysiikkaa

Henryn laki: Nesteeseen liukenevan kaasun määrä ja liukenemisnopeus ovat suoraan verrannollisia kyseisen kaasun osapaineeseen

- Vapaata kaasua liukenee nesteeseen ympäröivän paineen kasvaessa ja vapautuu ympäröivän paineen laskiessa, kunnes osapaine erotasoittuneet
- Ympäröivän paineen laskiessa nopeasti vapautuu kaasua nesteestä kuplina (nukleatio)



Sukellussairaus (DCI)

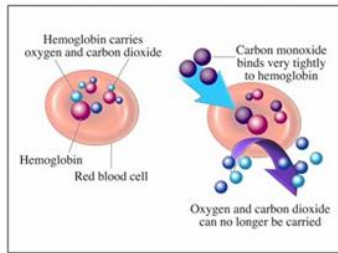
Jaetaan sukeltajantautiin (DCS) ja valtimokaasuemboliaan (AGE), lisäksi keuhkojen muut barotraumat

- Sukeltajantauti → Henryn (ja Daltonin) laki
- Barotraumat → Yleinen tilanyhtälö (Charlesin ja Boyleyn laki)



Sukeltajantauti (DCS)

Sukeltajantaudiksi kutsutaan tilaa, jossa kaasukuplat, yleisimmin typpiä, ovat vaurioittaneet kudoksia, tukkineet verisuonia ja aiheuttaneet veren sakkautumista



Good Dive
(<http://www.gooddive.com/scuba-diving-glossary/decompression-sickness.htm>)

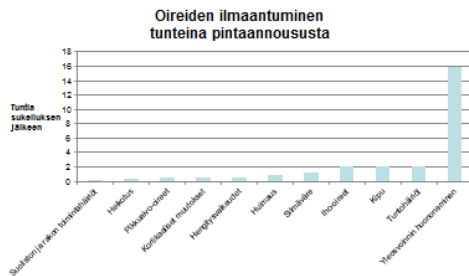


Sukeltajantauti (DCS)

- Nopeasti ilmenevät oireet merkinä vakavasta tilasta (voi alkaa jopa sukelluksen aikana)
- Yleensä oireet n.6 tunnin sisällä sukelluksen jälkeen
- Viivästyneet oireet jopa 24 tuntia sukelluksen jälkeen
- Oireet monimuotoisia ja riippuvat siitä, mihin kuplat ovat muodostuneet
- Jaetaan yleisesti oireiden mukaan tyyppiin 1 ja 2 sukeltajantautiin
- Yleensä oireiltaan epämääräinen sekoitus tyyppiä 1 ja 2, hankalimmissa tapauksissa mukana myös keuhkovammojen oireistoa
- Sukeltajantautia voi esiintyä lihaksissa ja jänteissä lähellä niveliä, hermokudoksessa, sisäkorvassa, keuhko- ja sydänkudoksessa, ruuansulatus- ja sisäelmissä sekä iholla



Sukeltajantauti (DCS)



Sukeltajantauti (DCS)

- Hoitona aina ylipainehappihoito kammiossa
- Ensihoitona oireenmukainen hoito, nesteytys, happi ja selinmakuuasento
- Hoito-ohje normaalkäytännön mukaan, neurologinen tila kartoitetaan GCS, selvitetään tiedot sukelluksesta mahdollisimman tarkkaan → tyyppi 2 oireissa aina eh-lääkärin hoito-ohje
- Suora kuljetus HBOT? (Medioxygen/TYKS)
- Myöhäisoireena osteonekroosi → syntyy kuplien aiheuttamien vk. häiriöiden seurauksena, merkit näkyvät yleensä vasta kuukausien kuluttua
- Luuokuoliota voi ilmetä vasta vuosien kuluttua hoitamattoman tai epätäydellisesti hoidetun sukeltajantaudin jälkeen (lieväoireinen DCS voi jäädä huomaamatta!) → vauriot paikallistuvat tyypillisesti lähelle nivelpintoja (lonkka-, polvi- ja olkanivelet)



Valtimokaasuembolia (AGE)

- Keuhko barotrauman vaarallisin sekä yleisin muoto, syntyy keuhkorepeämän seurauksena → ilmaa pääsee keuhkolaskimoiden kautta systeemikiertoon
- Ensioireena yleisimmin tajuttomuus, joka ilmaantuu lähes heti pintaantulon jälkeen → aivovaltimoissa ja sydämessä runsaasti ilmaa, johtaa yleensä kuolemaan
- Tila ei kliinisesti todettavissa → tehoelvytys mahdollisuuksien mukaan, koska kyseessä voi olla ilmanirta, mediaastinaaliemfyseema tai edellisten+DCS eriasteinen yhdistelmä



Keuhkojen muut barotraumat

Riittävä altistus 92-120 cmH₂O (siis noin metrin vesisyvyys), noustessa pintaan ilmatie suljettuna

Seuraukset riippuvat kaasun purkautumisreitistä

- Ilmarinta / jänniteilmarinta
- Mediaastinaaliemfyseema / subkutaaniemfyseema
- AGE ja barotraumat → oireenmukainen hoito, O₂, hoito-ohje ensihoitollääkäriltä



Ilmaonteloiden painevammat

Yleisimmin nenän ja korvien alueella ilmenevä ali- tai yli painevamma (ilmakalvotunvotusta vähentävät lääkeaineet)

- Sisäkorva (tasapainohäiriöt?) → kuljetus operoivaan korvayksikköön makuulla, pääpuoli kohotettuna
- Välkorva (tärykalvon repeäminen?) → humaus, phv, verenvuoto
- Ulkokorva (tiukka huppu tai vaikkokorvakäytävässä voi johtaa tärykalvon repeämiseen ulospäin)
- Sivuontelo (ylipainevammoissa jopa ilmakkalon riski)
- Jos oireena ainoastaan korvakipua tai tukkoisuuden tunnetta, ei tarvetta ambulanssikuljetukselle
- Sivuontelon painevamma johon liittyy pääkipu, tulee tutkituttaa lääkärillä, koska DCS voi ilmetä aluksi vain pääkipuna
- Oireenmukainen hoito, hoito-ohje



Muut painevammat

- Barotraumat iholla → tiukka sukelluspuku tai maski
 - Erotettava DCS ilho-oireista (ns. cutis marmorata)
- Suoliston painevammat
- Hampaat
- Lisäksi
 - Sinus caroticus-refleksi
 - Vena jugularis-syndrooma



The New England Journal of Medicine
(http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMClinCase.2010.352.issue.23?eprint=963444&productionImageEnlargeFrom=09444_11.jpg)



Sukelluskaasujen aiheuttamat ongelmat

- Daltonin laki
- Käytössä paineilmaa tai seoskaasua (esim. Nitrox, Trimix, Heliox), seoskaasut tulisi olla merkitty sukellussäiliöön
- Happi → $pO_2 > 1.4 \text{ bar}$, myrkytysriski kasvaa
 - Keskushermostomyrkytys $pO_2 > 1.6 \text{ bar}$
 - Laitevian seurauksena $pO_2 < 0.1 \text{ bar}$, hypoksinen kaasuseos (suljetun kierron laitteet)
- Typpi → typen aiheuttama kaasunarkoosi (hyvän olon tunne, itseluottamuksen kasvaminen, keskittymis-, päättely- ja huomiokyvyn heikkeneminen, motoristen taitojen lasku ja pelkotilat) → seuraukset sukelluksen suorittamiselle
 - Korkea pN_2 heikentää elimistön lämmönsäätelyjärjestelmää
 - Vaikutukset mahdollisia jo alle 20 metrin syvyydessä



Sukelluskaasujen aiheuttamat ongelmat

- Hiilidioksidi → hiilidioksidirentio, sukeltaessa ei aina stimuloi hengitysrefleksiä joten pCO_2 nousee edelleen
 - Altistavia tekijöitä raskaat ja syvät sukellukset, joilla sukeltaja hengästyy. Paleleminen kasvattaa hiilidioksidirentiota (turvapsähdys!)
 - Hengenahdistus, pns, tajunnan häiriöt
 - Hiilidioksidirentio lisää DCS oireiden ilmenemistä
- Hengityskaasun epäpuhtaudet → CO, pienikin määrä korostuu ympäröivän paineen noustessa → hypoksia
- Hoitona aina O₂ ja oireenmukainen hoito, vaikka kyseessä happimyrkytys
- Sukellussyvyys ja käytetty hengityskaasu voivat antaa vinkkiä mahdollisen tajuttomuuden syystä, usein vakavin oire johtuu hallitsemattomasta noususta tai tajunnan menetyksestä



Hypo- ja hypertermia

- Hypotermian synnä mahdollinen pukurikko, muuten harvinainen jos käytetään asianmukaista pukua
- Hypertermian synnä pitkäkestoinen ja rasittava sukellus lämpimässä vedessä (lauhevesiallas?)
 - Hypotermisen hoito hoito-ohjeen mukaan
 - Hypertermisen hoito hoito-ohjeen mukaan → oirekuvan tunnistaminen DCS oireista voi olla vaikeaa
 - Lämmitys / jäähdytys, nesteytys...



Hukkuminen

- Yleensä seurausta jostain odottamattomasta ongelmasta...
- Hoito-ohjeen mukainen hoito, kiinnittäen erityistä huomiota mahdolliseen paineilmarintaan
- Elvytystilanteessa cuffin täyttäminen NaCl, mahdollisen ylipaineekammion varalta
- Tiedot sukellukselta mukaan



Laitesukellusonnettomuuspotilas -kohtaaminen ja hoito

- Sukeltajan elimistö reagoi yleensä veden alle menoon sukellusrefleksillä → bradykardia, ventilaation ja autonomisen säätelyn muutokset, verivolyymien uudelleen jakautuminen
- Anamneesi ja tiedot sukelluksesta sekä aiemmista DCI tärkeitä selvittää ja toimittaa mukana hoitopaikkaan (sukellustietokone, sukellusparilta saatavat tiedot?)
- Muistettava myös muut lääketieteelliset syyt mahdollisena onnettomuuden aiheuttajana
- Neurologisen tilan selvittäminen tärkeää → ensihoidossa kuitenkin GCS
- Neurologisessa statuksessa tapahtuvat muutokset tärkeitä → seurattava myös kuljetuksen aikana ja muutoksista raportoitava HBOT
- Tärkeimpänä tehtävänä tunnistaa DCS ja tilan vakavuus



Laitesukellusonnettomuuspotilas -kohtaaminen ja hoito

- Hoito perustuu aina oireenmukaiseen hoitoon
- Ensiapuna aina O₂, jota jatketaan HBOT asti (kuitenkin enintään 6h)
- Nesteytys tärkeää, virtsamäärät ja virtsaamisvaikeudet kirjattava muistiin
 - Ringer 10 ml/kg ad. 30 min
- ABCDE
- HBOT ensisijainen hoitomuoto DCS ja AGE



Laitesukellusonnettomuuspotilas -kohtaaminen ja hoito

- Tehohoitoa vaativat potilaat TYKS
- Medioxigen lähin, ns. "pois kävelevät" potilaat
- DCI potilailla kuljetus vaakatasossa ja selinmakuulla, kuitenkin hv tapauksissa puoli-istuva asento
- Vakavissa DCS tapauksissa helikopterikuljetus, jos mahdollista, maakuljetuksen kestäessä yli 2 tuntia
- Hoito-ohje konsultaatiokäytännön mukaan
- Lieväoireisissa DCS tapauksissa hoito suunnitellaan rauhassa KOKS EA (→ pleuran dreenaus?), kuitenkin nivel- tai lihaskiivoihin oireileva potilas olisi pyrittävä kuljettamaan suoraan kentältä HBOT (hoito-ohje?)
- HBOT sitä tehokkaampaa, mitä nopeammin se on päästy aloittamaan
- Yli 70% toipuu täysin tai lähes täysin, pysyviä oireita jää n. 7%



Märkärekompresio

- SSLY suosittaa luopumaan nykyisestä käytännöstä
 - keskeytyneen tai laiminlyödyn dekompressiopysähdyksen tai liian nopean nousun jälkeen normobaarinen O₂ (60 / 20-30 min), vettä po (0,5 l ad. 30 min), lämmin tila (ei aktiivista lämmitystä tai saunaa) ja lepo selinmakuulla + oireiden seuranta
 - vältettävä fyysisistä rasitusta ja sukeltamista seuraavat 23 tuntia
- Syntyneet mikrokuplat jatkavat kasvuaan 1-2 tunnin ajan ja huippu saavutetaan n. 25 min sukelluksen jälkeen
- Yleismaailmallinen hoitosuositus on aina mahdollisimman suurella pitoisuudella tapahtuva O₂-hoito, myös ennaltaehkäisyssä
- Jos viivästyneet oireet ilmenevä märkärekompresion aikana, on tilanne aina vakavampi kuin ennen märkärekompresiota



Märkärekompresio

- Nykyistä rekompresioikäytäntöä ei suositella (märkärekompresio)
- Ainoat märkärekompresioikäytännöt tilanteissa, joissa kuljetus painekammioon yli 12 tuntia
- Silloinkin hengityskaasuna tulee käyttää happea
- Kuplat jatkavat kasvamistaan tuntien ajan, jolloin sukeltaja altistuu viivästyneille sukeltajataudin oireille
- Monissa tapauksissa, joissa märkärekompresiota on yritetty, on toimenpide jouduttu keskeyttämään komplikaatioiden takia, käytettäessä hengityskaasuna paineilmaa

(Denoble, P. 2011. Alert Diver-Winter 2011. In-Water Recompression)



Märkärekompresio

"Havaittaessa puuttuva dekompressiopysähdys tai liian nopea nousu sukelluksen jälkeen (keskeytyneet dekompressio), tulee sukeltaja riisua sukellusvarusteistaan, tutkia mahdollisten sukellussairauksien oireiden varalta, siirtää lämpimään tilaan ja asettaa lepoon makuuasentoon. Selkäasennossa sydämen minuuttivirtaus jakautuu tasaisemmin kudoksiin ja inerttikaasun poistuminen nopeutuu. Sukeltajalle annostellaan 100% happea 60 minuutin ajan ja hänelle annetaan suun kautta vettä tai urheilujuomaa 0,5 litraa 30 minuutissa, mikäli tajunta on normaali eikä esiinny pahoinvointia. 60 minuutin happihengityksen jälkeen sukeltaja tutkitaan uudelleen sukeltajansairauden oireiden varalta." (SSLY)



Märkärekompresio

"Sukeltajan tauti voi kehittyä vaikka hetimiten pintaan tulon jälkeen ei tyypioireita olisiakaan. Tästä syystä selkeästi liian nopeasti tapahtuneeseen pintaantumiseen tulisi reagoida antamalla happea tunnin ajan taudin ennaltaehkäisevänä hoitona ja toteuttamalla aktiivinen oireiden seuranta. Käytännössä happihoito aloitetaan paikanpäällä ja potilas kuljetetaan päivystykseen, jossa happihoito voidaan jatkaa riittävän pitkään ja jossa myös voidaan toteuttaa tarkka oireiden seuranta." (Loikas)



Hyperbaric Oxygen Treatment Center
(http://www.hyperbaricoxygenchamber.com/site/decompression_sickness)